

**TITIK KESETIMBANGAN MODEL MATEMATIKA PADA  
MEKANISME RESPON IMUN TERHADAP INFEKSI  
MIKOBACTERIUM TUBERKULOSIS DI PARU-PARU**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**ARIESTA DESIANA FITHRI**  
**NIM. 07610006**



**JURUSAN MATEMATIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN) MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2011**

**TITIK KESETIMBANGAN MODEL MATEMATIKA PADA  
MEKANISME RESPON IMUN TERHADAP INFEKSI  
MIKOBACTERIUM TUBERKULOSIS DI PARU-PARU**

**SKRIPSI**

Diajukan Kepada:  
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang  
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

Oleh:  
**ARIESTA DESIANA FITHRI**  
NIM. 07610006

**JURUSAN MATEMATIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN) MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2011**

**TITIK KESETIMBANGAN MODEL MATEMATIKA PADA  
MEKANISME RESPON IMUN TERHADAP INFEKSI  
MIKOBACTERIUM TUBERKULOSIS DI PARU-PARU**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**ARIESTA DESIANA FITHRI**  
NIM : 07610006

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji  
Tanggal: 10 Januari 2011

**Pembimbing I,**

**Pembimbing II,**

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

**Abdussakir, M.Pd**  
NIP. 19751006 200312 1 001

Mengetahui,  
**Ketua Jurusan Matematika**

**Abdussakir, M.Pd**  
NIP. 19751006 200312 1 001

**TITIK KESETIMBANGAN MODEL MATEMATIKA PADA  
MEKANISME RESPON IMUN TERHADAP INFEKSI  
MIKOBACTERIUM TUBERKULOSIS DI PARU-PARU**

**SKRIPSI**

**Oleh:**  
**ARIESTA DESIANA FITHRI**  
**NIM : 07610006**

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan  
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Tanggal: 25 Januari 2011

**Penguji Utama :** Abdul Aziz, M.Si ( )  
**NIP. 19760318 200604 1 002**

**Ketua Penguji:** Drs.H.Turmudi,M.Si ( )  
**NIP. 19571005198203 1 006**

**Sekretaris Penguji:** Usman Pagalay, M.Si ( )  
**NIP. 19650414 200312 1 001**

**Anggota Penguji:** Abdussakir, M.Pd ( )  
**NIP. 19751006 200312 1 001**

**Mengesahkan,**  
**Ketua Jurusan Matematika**

Abdussakir, M.Pd  
**NIP. 19751006 200312 1 001**

**PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Ariesta Desiana Fithri

NIM : 07610006

Jurusan : Matematika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Penelitian : Titik Keseimbangan Model Matematika pada Mekanisme Respon Imun Terhadap Infeksi Mikobakterium Tuberkulosis di Paru-paru

Menyatakan dengan sebenar – benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur – unsur penjiplakan atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur – unsur jiplakan, maka saya bersedia untuk mempertanggung jawabkan, serta diproses sesuai peraturan yang berlaku.

Malang, 15 Januari 2011

Yang membuat pernyataan

Ariesta Desiana Fithri  
NIM. 07610006

## MOTTO

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۖ إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۖ

Karena Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada  
kemudahan,  
Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.

**....Jadikanlah Sholat dan Sabar Sebagai Penolongmu.....**

**HALAMAN PERSEMBAHAN**

***Ayahanda Tercinta (Sholeh Waqif)***

***Ibunda Tercinta (Sustiari)***





## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Assalamu'alaikum Wr.Wb.*

Syukur alhamdulillah penulis haturkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan Rahmat, Taufik dan Hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Sains dalam bidang Matematika di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.

Penulis menyadari bahwa banyak pihak yang telah berpartisipasi dan membantu dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini. Oleh sebab itu, iringan do'a dan ucapan terima kasih yang sebesar - besarnya penulis sampaikan, terutama kepada:

1. Prof. Dr. H. Imam Suprayogo, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah banyak memberikan pengetahuan dan pengalaman yang berharga.
2. Prof. Drs. Sutiman B. Sumitro, SU., DSc, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
3. Abdussakir, M.Pd, selaku Ketua Jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang sekaligus sebagai dosen pembimbing agama yang telah banyak memberikan bimbingan dan pengarahan selama penulisan skripsi.



4. Usman Pagalay, M.Si selaku dosen pembimbing skripsi, yang telah bersedia meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan selama penulisan skripsi..
5. Segenap dosen pengajar, terima kasih atas ilmu yang telah diberikan kepada penulis.
6. Ayah, Ibu dan seluruh keluarga yang senantiasa memberikan do'a dan dukungan yang terbaik bagi penulis.
7. Sahabat-sahabat senasib seperjuangan mahasiswa Matematika, terutama angkatan 2007, terima kasih atas segala pengalaman berharga dan kenangan terindah saat menuntut ilmu bersama.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan, dan penulis berharap semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat kepada para pembaca khususnya bagi penulis secara pribadi. Amin Ya Rabbal Alamin.

*Wassalamu'alaikum Wr.Wb.*

Malang, 10 Januari 2011

Penyusun

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>HALAMAN PENGAJUAN</b>	
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b>	
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	
<b>HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN</b>	
<b>HALAMAN MOTTO</b>	
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b>	
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>i</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>iii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR SIMBOL.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRAK.....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Batasan Masalah.....	5
1.4 Tujuan Penelitian.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
1.6 Metode Penelitian.....	6
1.7 Sistematika Penulisan.....	7
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA</b>	
2.1 Persamaan Differensial.....	9
2.2 Persamaan Diferensial Linier dan Persamaan Diferensial Tak Linier.....	10

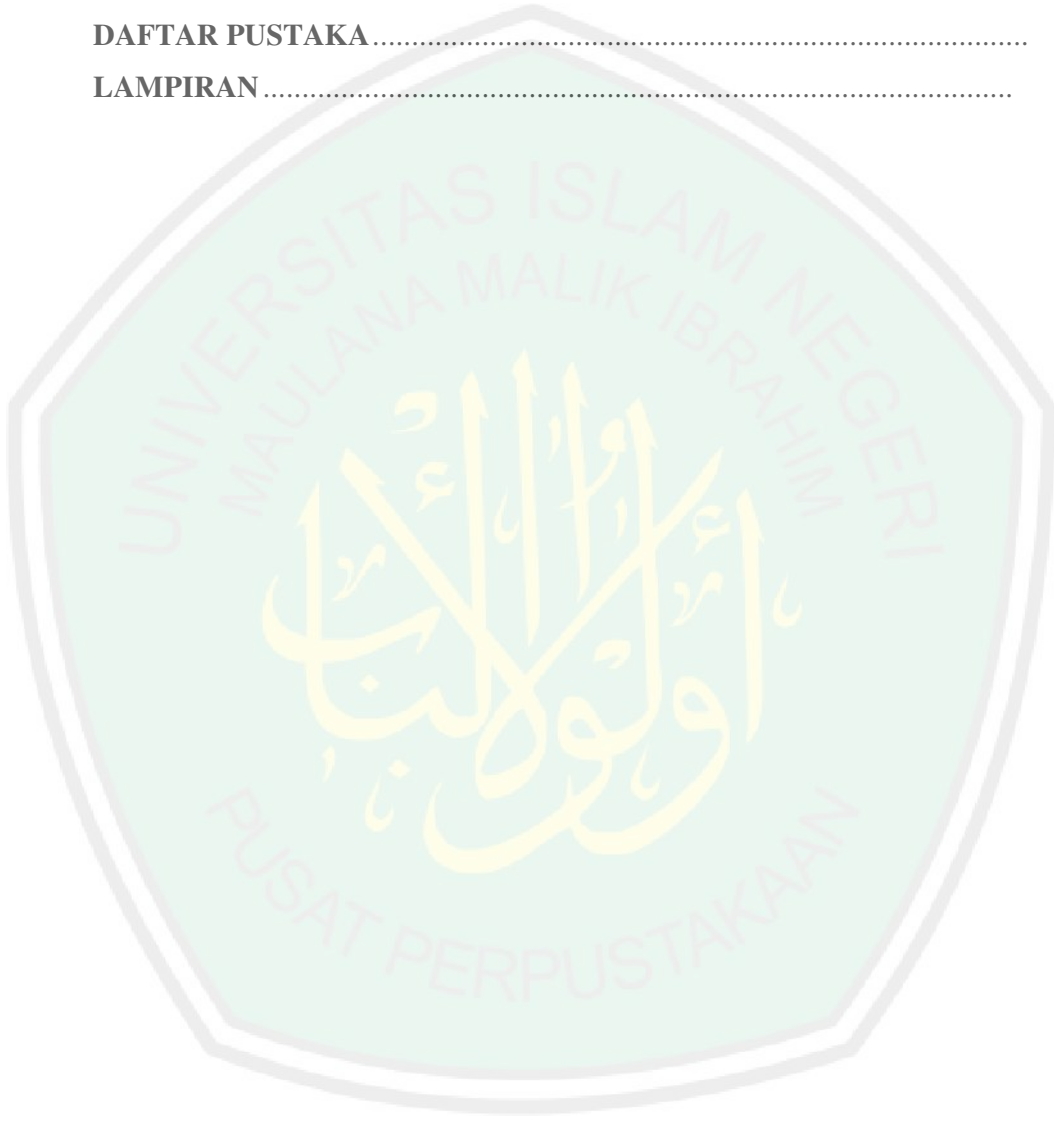
2.3 Sistem Persamaan Diferensial .....	11
2.4 Sistem Otonomus .....	12
2.5 Definisi Titik Tetap (Titik Keseimbangan) .....	14
2.6 Nilai Eigen dan Vektor Eigen .....	15
2.7 Model Matematika .....	15
2.8 Tuberkulosis Paru .....	18
2.9 Sistem Imun dan Respon Imun .....	19
2.9.1 Respon Imun Terhadap Infeksi secara Umum .....	19
2.9.2 Makrofag .....	20
2.9.3 Immunologi Bakteri Ekstraselular .....	21
2.9.4 Immunologi Bakteri Intraselular .....	22
2.9.5 Sel T dan Perkembangan Sel T .....	23
2.9.6 Aktivasi Sel T .....	23
2.9.7 Sel CD4+ dan Perkembangan Th1 dan Th2 .....	24
2.9.8 Sel T CD8+ (Cytotoxic T/CTL) .....	24
2.9.9 Interaksi CD4+ dan CD8+ .....	25
2.9.10 Mekanisme Respon Imun Terhadap Mtb .....	26
2.10 Konsep Keseimbangan Immunologik dalam Perspektif Islam .....	28
 <b>BAB III PEMBAHASAN</b>	
3.1 Variabel dan Parameter yang Digunakan pada Model .....	32
3.2 Interpretasi Model Matematika .....	39
3.3 Titik Keseimbangan dari Sistem Persamaan .....	43
3.4 Kestabilan Titik Keseimbangan .....	50
3.5 Simulasi Numerik dan Analisa Perilaku Grafik dari Model .....	59
3.6 Interpretasi Titik Keseimbangan dan Kestabilan pada Mekanisme Respon Imun Terhadap Infeksi Mikobakterium Tuberkulosis .....	68
3.7 Model Matematika pada Mekanisme Respon Imun Terhadap Infeksi Mikobakterium Tuberkulosis dalam Perspektif Islam .....	70

**BAB IV PENUTUP**

4.1 Kesimpulan..... 75  
4.2 Saran..... 76

**DAFTAR PUSTAKA**..... 77

**LAMPIRAN**..... 79



## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
Gambar 2.1 Langkah-langkah Pemodelan .....	16
Gambar 3.1 Alur Perubahan Setiap Populasi Sel .....	35
Gambar 3.2 Grafik Populasi Makrofag Resting ( $M_R$ ) terhadap Waktu $t$ .....	60
Gambar 3.3 Grafik Populasi Makrofag Terinfeksi ( $M_I$ ) terhadap Waktu $t$ .....	61
Gambar 3.4 Grafik Populasi Makrofag Teraktivasi ( $M_A$ ) terhadap Waktu $t$ .....	62
Gambar 3.5 Grafik Populasi Bakteri Ekstraselular ( $T_{BE}$ ) terhadap Waktu $t$ .....	63
Gambar 3.6 Grafik Populasi Bakteri Intraselular ( $T_{BI}$ ) terhadap Waktu $t$ .....	64
Gambar 3.7 Grafik Populasi Sel T CD4+ ( $T$ ) terhadap Waktu $t$ .....	65
Gambar 3.8 Grafik Populasi Sel T CD8+/CTLs ( $C$ ) terhadap Waktu $t$ .....	66
Gambar 3.9 Grafik Kecepatan Berlangsungnya Infeksi Bakteri Ekstraselular ..	67

## DAFTAR TABEL

### Halaman

Tabel 3.1. Tabel Nilai Parameter yang Digunakan pada Model .....	33
--	----





## DAFTAR SIMBOL

$\beta_m$	= Laju sumber makrofag resting
$\alpha_r$	= Laju rekrutmen makrofag resting oleh makrofag teraktivasi
$\omega_r$	= Laju rekrutmen makrofag resting oleh makrofag terinfeksi
$\sigma$	= Proliferasi dari makrofag teraktivasi
$S_R$	= Konstanta saturasi pada bakteri
$\beta_i$	= Laju terinfeksi makrofag resting
$\alpha$	= Laju kematian makrofag resting
$\omega$	= Aktivasi maksimum makrofag resting
$S_A$	= Konstanta saturasi dari aktivasi makrofag resting
$k_2$	= Laju meledaknya makrofag terinfeksi
$\mu_{MI}$	= Laju kematian makrofag terinfeksi secara alami
$\mu_a$	= Laju kematian makrofag teraktivasi secara alami
$N$	= Banyaknya bakteri intraseluler dalam makrofag terinfeksi
$N_1$	= Banyaknya bakteri intraseluler yang menyebabkan infeksi kronik
$\gamma_1$	= Laju pembunuhan bakteri ekstraseluler oleh makrofag teraktivasi
$\gamma_2$	= Laju pembunuhan bakteri ekstraseluler oleh makrofag resting
$\gamma_4$	= Laju perkembangbiakan bakteri ekstraseluler
$\varphi$	= Laju perkembangbiakan bakteri intraseluler
$S_1$	= Laju sumber sel T
$S_E$	= Konstanta saturasi bakteri ekstraseluler
$\mu_d$	= Laju makrofag teraktivasi yang dinonaktifkan
$k_3$	= Laju pembunuhan bakteri intraseluler oleh CTL
$N_T$	= Banyaknya bakteri ekstraseluler yang dibunuh oleh sel T CD4+
$N_C$	= Besarnya bakteri ekstraseluler yang dibunuh oleh CTL
$N_2$	= Banyaknya bakteri intraseluler yang dibunuh oleh CTL
$k_4$	= Laju kematian makrofag terinfeksi secara apoptosis
$b_0$	= Faktor penghambat apoptosis makrofag terinfeksi
$k_5$	= Laju kematian makrofag terinfeksi secara lisis
$\gamma_5$	= Laju bakteri ekstraseluler dibunuh oleh CTL
$S_2$	= Laju sumber CTL
$S_T$	= Konstanta saturasi sel T
$A_T$	= Setengah konstanta saturasi sel T untuk apoptosis
$\alpha_T$	= Laju rekrutmen oleh makrofag terinfeksi
$p_1$	= Proliferasi sel T CD4+
$p_2$	= Proliferasi sel T CD8+ / CTL
$\mu_T$	= Laju kematian sel T CD4+
$\mu_C$	= Laju kematian sel T CD8+ / CTL
$E$	= Konstanta fungsi Hill
$G_n$	= Konstanta saturasi CTL
$\mu_g$	= Laju kematian bakteri intraseluler oleh makrofag teraktivasi
$S_C$	= Konstanta saturasi CTL
$h$	= Koefisien Hill



## DAFTAR LAMPIRAN

	<b>Halaman</b>
Lampiran 1. Daftar Istilah.....	79
Lampiran 2. Perhitungan Secara Analitik (Manual) untuk Mencari Titik Tetap Kedua.....	80
Lampiran 3. Perhitungan Secara Manual Matriks Jacobian pada Sistem Persamaan .....	91
Lampiran 4. Program Pencarian Titik Tetap pada Model dengan Menggunakan Metode Newton Berbantuan Program Matlab .....	96
Lampiran 5. Output Hasil Iterasi Titik Keseimbangan Kedua dengan Menggunakan Simulasi Numerik ODE 45 .....	100
Lampiran 6. Perhitungan Nilai Eigen pada Titik Tetap yang Pertama.....	132
Lampiran 7. Perhitungan Nilai Eigen pada Titik Tetap yang Pertama Setelah Mensubstitusikan Nilai Parameter pada Tabel 3.1.....	133
Lampiran 8. Perhitungan Nilai Eigen pada Titik Tetap yang Kedua .....	134
Lampiran 9. Simulasi Numerik untuk Menampilkan Grafik dengan Menggunakan ODE 45 Berbantuan Program Matlab.....	135
Lampiran 10. Simulasi Numerik untuk Menampilkan Grafik TBE-1 TBE-2, TBE-3 dengan Masing-Masing Nilai Awal 20, 2000, dan 20000.....	137

## ABSTRAK

Fithri, Ariesta Desiana. 2011. **Titik Kesetimbangan Model Matematika pada Mekanisme Respon Imun Terhadap Infeksi Mikobakterium Tuberkulosis di Paru-paru**. Skripsi. Program S1 Jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Pembimbing: Usman Pagalay, M.Si  
Abdussakir, M.Pd

**Kata Kunci:** Sistem Persamaan Differensial, *Basic Reproduction Number*, Titik Kesetimbangan.

Model mekanisme respon imun terhadap infeksi mikobakterium tuberkulosis di paru-paru merupakan model yang menyatakan pengaruh limfosit sitotoksik (CTL) dan kombinasi pengaruh dari sel T helper CD4+ (Th1 dan Th2) dalam menentukan apakah seorang individu yang terinfeksi TB (Tuberkulosis) akan menyebarkan TB laten atau aktif. Terjadinya infeksi aktif atau laten bergantung pada sejumlah faktor yang meliputi fungsi efektor dan tingkat CTL. Penyakit aktif disebabkan kemampuan patogen Mtb (Mikobakterium tuberkulosis) yang bertahan diluar lingkungan intraselular dan tingkat ketinggian CTL pada TB laten. Ketika tingkat CTL rendah (menurun) maka terjadilah TB aktif. Hal ini dikarenakan kemampuan CTL dalam membunuh secara langsung makrofag terinfeksi dan bakteri yang ada didalam makrofag terinfeksi.

Penelitian ini menggunakan penelitian kepustakaan, dengan menampilkan argumentasi penalaran keilmuan yang memaparkan hasil kajian literatur dan hasil olah pikir peneliti mengenai permasalahan model mekanisme respon imun terhadap infeksi TB. Dalam pembahasan ini, diperoleh model yang berbentuk sistem persamaan differensial biasa non linier orde 1 yang terdiri dari 7 persamaan differensial, yaitu persamaan yang menyatakan masing-masing perubahan jumlah populasi makrofag resting, makrofag terinfeksi, makrofag aktif, bakteri ekstraselular, bakteri intraselular, sel T CD4+ (sel T Helper) , dan sel T CD8+ (CTL). Untuk memperoleh solusi sistem model matematika menggunakan metode ODE 45 dengan bantuan program matlab untuk mencari nilai numerik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada titik kesetimbangan yang pertama bersifat tidak stabil, oleh karena itu dilakukan analisis *basic reproduction number* ( $R_0$ ) untuk menstabilkan titik kesetimbangan pertama. Sedangkan untuk titik kesetimbangan yang kedua sudah bersifat stabil.

## ABSTRACT

Fithri, Ariesta Desiana. 2011. **Fixed Point of Mathematics Model on the Immune Response Mechanism to Mycobacterium Tuberculosis Infection in the Lungs**. Thesis. Mathematics Departement, Faculty of Science and Technology State Islamic University Maulana Malik Ibrahim of Malang.

Advisor : Usman Pagalay, M.Si  
Abdussakir, M.Pd

**Keywords:** Differential Equation System, Basic Reproduction Number, Fixed Point.

Respon immune mechanism model to mycobacterium tuberculosis infection in the lungs elaborates on the effects of cytotoxic lymphocytes (CTLs) and the combine effect of CD4+ helper T cells (Th1 and Th2) in determining whether a TB-infected individual will develop active or latent TB. The occurrence of active or latent depend on a number of factors that include effector function and levels of CTLs. Active disease is much attributed to the Mtb pathogen ability to persist outside the intracellular environment and that high levels of CTLs result in latent TB, while low levels of CTLs result in active TB. This is attributed to the CTLs ability to directly kill infected macrophages and the bacteria inside the infected macrophage.

This research uses library research, presenting scientific reasoning argumentation which presents the results of the study of literature and the results of the researchers thought related to problems respone immune mechanism model to TB infection. In discussion, this model is a form of non linier system of ordinary differential equation which include 1 until 7 differential equations which gives rate of change of the macrophage resting, infected macrophage, activated macrophage, intracellular bacteria, extracellular bacteria, CD4+ T cell, CD8+ T cell population. To get solusion on the mathematics model system use ODE 45 methods with helping matlab program to get numerical value. Result of this research show that on the first fixed point is not stable, so that uses basic reproduction number ( $R_0$ ) to make stability of the first fixed point. Whereas on the second fixed point is stable.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Matematika merupakan salah satu cabang ilmu yang mendasari berbagai macam ilmu yang lain dan selalu menghadapi berbagai macam fenomena yang semakin kompleks sehingga penting untuk dipelajari. Dalam kehidupan sehari-hari banyak permasalahan yang memerlukan pemecahan. Sering dengan bantuan matematika permasalahan tersebut lebih mudah difahami, lebih mudah dipecahkan, atau bahkan dapat ditunjukkan bahwa suatu persoalan tidak mempunyai penyelesaian. Untuk keperluan tersebut, perlu dicari pokok permasalahannya dan kemudian dibuat rumusan atau model matematikanya (Jamalia, 2008:3).

Salah satu cabang matematika yang penting dan banyak manfaatnya adalah pemodelan matematika. Penggunaan model matematika telah banyak membantu menyelesaikan masalah-masalah di berbagai bidang. Karenanya, diharapkan akan didapat solusi akhir yang tepat, valid, dan diterima secara ilmiah oleh dunia ilmu pengetahuan.

Oleh karena itu dalam skripsi ini, di bahas tentang model matematika pada mekanisme respon imun terhadap infeksi mikobakterium tuberkulosis. Model ini digambarkan dalam suatu sistem persamaan matematika. Dengan adanya model ini, dapat digambarkan suatu fenomena sehingga menjadi lebih jelas dalam memahaminya.

Tuberkulosis (sering dikenal sebagai “TB”) adalah penyakit yang disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis* dan masih menjadi masalah kesehatan dunia. Umumnya menginfeksi paru-paru, walaupun dapat pula menginfeksi organ tubuh lainnya. Survei kesehatan tahun 2001 menunjukkan bahwa TB adalah salah satu penyakit sebagai penyebab utama kematian di Indonesia.

WHO memperkirakan terjadi kasus TBC sebanyak 9 juta per tahun di seluruh dunia pada tahun 1999, dengan jumlah kematian sebanyak 3 juta orang pertahun. Dari seluruh kematian tersebut, 25% terjadi di negara berkembang. Sebanyak 75% dari penderita berusia 15-50 tahun (usia produktif). WHO menduga kasus TBC di Indonesia merupakan nomor 3 terbesar di dunia setelah Cina dan India (Widoyono,2005:15).

Dengan adanya kasus ini, tentunya menjadi hal yang menakutkan bagi kebanyakan orang. Bagaimana tidak, penyakit yang dapat menyerang semua golongan umur dan jenis kelamin ini dapat menular melalui udara saat seorang penyakit TBC batuk dan percikan ludah yang mengandung bakteri tersebut terhirup oleh orang lain saat bernapas.

Tetapi Allah menciptakan manusia dengan bentuk yang sangat sempurna dengan diletakkannya sistem imun pada tubuh agar dapat terhindar dari berbagai penyakit. Seperti dalam firman Allah dalam surat Al-furqaan [25] ayat 2.

وَحَلَقَ كُلَّ شَيْءٍ فَقَدَرَهُ تَقْدِيرًا ﴿٢﴾

Artinya:”Dia telah menciptakan segala sesuatu, dan Dia menetapkan ukuran-ukurannya dengan serapi-rapinya”.



Saat ini telah diketahui bahwa respon imun yang berperan dalam mengontrol perkembangan kuman Mtb adalah Makrofag, Limfosit T dan Sitokin sebagai mediator. Kontrol imunologik pada Infeksi Mtb didasarkan pada respon Th1. IL-12 diinduksi mengikuti fagositosis pada Mtb, yang mana mendorong pengembangan respon Th1. Mtb merupakan penginduksi IL-12 yang kuat, sehingga infeksi Mtb dapat membelokkan respon terhadap antigen sekunder menuju sebuah fenotip TH1. IFN- $\gamma$  merupakan pusat sitokin yang lain dalam mengontrol Mtb. Sitokin ini diproduksi oleh sel T CD4+ dan sel T CD8+ dan penting dalam aktivasi makrofag.

Sel T bertanggung jawab dalam membunuh makrofag yang terinfeksi yang tidak dapat menghancurkan bakteri. Hal ini dicapai melalui sebuah jalur ligan Fas-Fas apoptosis oleh sel T CD4+ dan melalui mekanisme sitotoksik yang lain, seperti granula dan perforin yang diproduksi oleh sel T CD8+ dan mungkin sel T CD4+ . Sel T CD4+ terlibat dalam pengenalan antigen yang telah diproses dalam fagosom dan dipresentasikan sebagai fragmen peptide kecil dalam konteks molekul MHC kelas II pada permukaan APC seperti monosit, makrofag atau sel-sel dendritik. Sel T CD8+, di sisi lain, mengenal antigen yang diproses di sitosol dan dipresentasikan dalam konteks molekul MHC kelas I pada permukaan sel. Secara umum sel T CD4+ membantu memperkuat respon imun manusia dengan mengaktivasi sel efektor dan merekrut sel-sel imun tambahan ke tempat penyakit, dimana sel T CD8+ mungkin menjadi sitotoksik secara langsung terhadap sel target (Magombedze dkk, 2006:663).

Allah SWT menjauhkan beban ini dari manusia, menciptakan sistem tak bercacat untuk bekerja dengan cara yang sangat rapi dan independen dari yang pernah terbayangkan. Sama seperti hal lain di alam semesta, sistem pertahanan tubuh juga telah mematuhi tujuan penciptannya untuk menjadi elemen kehidupan yang kritis dan sangat diperlukan (Yahya, 2002:78). Seperti dalam firman Allah yang berbunyi

وَأَذِنَتْ لِرَبِّهَا وَحُقَّتْ ﴿٢﴾

Artinya: “Dan patuh kepada Tuhannya, dan sudah semestinya langit itu patuh”.  
(Q.S Al-Insyiqaaq: 2)

Oleh karena itu, peranan makrofag, limfosit T dan sitokin sangat berjasa dalam melawan masuknya infeksi mikobakterium tuberkulosis. Penyebab penyakit tuberkulosis antara lain adanya kontak dengan penderita, tempat yang kumuh, tempat yang sempit dan tertutup atau dengan ventilasi yang kurang, malnutrisi, konsumsi alkohol, penyakit keganasan, diabetes, AIDS, gagal ginjal, dan orang tua.

Apabila manusia telah mengetahui sedikit penyebab dari datangnya suatu penyakit, alangkah baiknya kalau manusia melakukan pencegahan terhadap adanya suatu penyakit sebelum datangnya penyakit tersebut pada diri manusia. Karena kesehatan merupakan harta yang paling berharga dalam kehidupan yang tidak mampu dibayar oleh sesuatu apapun.

Sayangnya kebanyakan orang tidak menghargai kesehatannya, tidak memikirkan singkatnya hidup di dunia ini. Hanya jika jatuh sakit saja mereka berdo'a kepada Allah. Namun saat mereka kembali sehat dan kembali kepada kehidupan sehari-harinya, mereka melupakan segalanya (Yahya, 2002:83).



Dalam Al Qur'an, Allah menyinggung karakteristik manusia seperti ini

وَإِذَا مَسَّ الْإِنْسَانَ الضُّرُّ دَعَانَا لِجَنبِهِ أَوْ قَاعِدًا أَوْ قَائِمًا فَلَمَّا كَشَفْنَا عَنْهُ ضُرَّهُ مَرَّ كَأَن لَّمْ يَدْعُنَا إِلَى ضُرِّ مَسَّهُ كَذَلِكَ زُيِّنَ لِلْمُسْرِفِينَ مَا كَانُوا يَعْمَلُونَ ﴿١٢﴾

Artinya: “Dan apabila manusia ditimpa bahaya dia berdoa kepada Kami dalam keadaan berbaring, duduk atau berdiri, tetapi setelah Kami hilangkan bahaya itu daripadanya, dia (kembali) melalui (jalannya yang sesat), seolah-olah dia tidak pernah berdoa kepada Kami untuk (menghilangkan) bahaya yang telah menimpanya. Begitulah orang-orang yang melampaui batas itu memandang baik apa yang selalu mereka kerjakan”. (Q.S Yunus:12)

Berdasarkan uraian tersebut, penulis tertarik untuk membahas dan mengkaji tentang respon imun pada infeksi tuberkulosis. Dimana penulis mengangkat tema tulisan ini dengan judul **“Titik Keseimbangan Model Matematika pada Mekanisme Respon Imun Terhadap Infeksi Mikobakterium Tuberkulosis di Paru-paru”**.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka permasalahan dalam penelitian ini adalah: bagaimana titik keseimbangan model matematika pada mekanisme respon imun terhadap infeksi mikobakterium tuberkulosis di paru-paru?.

## 1.3 Batasan Masalah

Model matematika yang digunakan dalam skripsi ini berbentuk sistem persamaan diferensial non-linier yang dirumuskan oleh Gesham Magombedze, Winston Garira, Eddie Mwenje dalam karya tulis yang berjudul *Modelling The*

*Human Immune Response Mechanisms to Mycobacterium Tuberculosis Infection in the Lungs.*

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan penulisan skripsi adalah: untuk mengetahui titik kesetimbangan model matematika pada mekanisme respon imun terhadap infeksi mikobakterium tuberkulosis di paru-paru.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari pembahasan dalam penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi penulis, untuk memperdalam pengetahuan titik kesetimbangan dari persamaan diferensial dan aplikasinya pada bidang kesehatan.
2. Bagi pembaca, sebagai tambahan wawasan dan informasi mengenai aplikasi titik kesetimbangan pada persamaan diferensial.
3. Bagi lembaga, sebagai bahan informasi tentang pembelajaran mata kuliah persamaan diferensial dan sebagai tambahan bahan kepustakaan.

#### **1.6 Metode Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah “*kajian kepustakaan*” atau “*library research*”, yakni melakukan penelitian untuk memperoleh data-data dan informasi-informasi serta objek yang digunakan dalam pembahasan masalah tersebut. Penelitian kepustakaan ini dilakukan dengan cara

mendalami, mencermati, menelaah, dan mengidentifikasi pengetahuan yang ada dalam kepustakaan yaitu dengan mempelajari buku teks penunjang, karya ilmiah yang berbentuk jurnal, sumber bacaan, internet, dan diskusi-diskusi ilmiah.

Adapun langkah-langkah yang dilakukan penulis dalam membahas penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan variabel dan parameter yang digunakan pada model.
2. Interpretasi model matematika
3. Menentukan titik tetap, matriks Jacobian dan nilai eigen dengan cara manual maupun dengan bantuan program matlab
4. Simulasi numerik untuk menampilkan grafik dengan bantuan program matlab
5. Analisa perilaku grafik
6. Interpretasi titik kesetimbangan dan kestabilan pada mekanisme respon imun terhadap infeksi mikobakterium tuberculosis

### **1.7 Sistematika Penulisan**

Untuk mempermudah dalam memahami skripsi ini, penulis menggunakan sistematika pembahasan empat bab, masing-masing bab akan dijelaskan sebagai berikut:

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Pada bab pendahuluan berisi: latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, metode penelitian, dan sistematika pembahasan.

## BAB II KAJIAN PUSTAKA

Bab dua ini, memberikan kajian-kajian yang menjadi landasan masalah yang dibahas, yaitu persamaan diferensial, persamaan diferensial linier dan persamaan diferensial nonlinier, sistem persamaan diferensial, sistem otonomus, definisi titik tetap (titik kesetimbangan), nilai eigen dan vektor eigen, model matematika, tuberkulosis paru, sistem imun dan respon imun, dan konsep keseimbangan imunologik dalam perspektif islam.

## BAB III PEMBAHASAN

Pada bab ini dibahas menentukan variabel dan parameter yang digunakan pada model, interpretasi persamaan model matematika, titik tetap, matriks Jacobian, nilai eigen, simulasi numerik, interpretasi titik kesetimbangan dan kestabilan pada mekanisme respon imun terhadap infeksi mikobakterium tuberkulosis, dan model matematika pada mekanisme respon imun terhadap infeksi mikobakterium tuberkulosis dalam perspektif islam.

## BAB IV PENUTUP

Bab empat berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan saran bagi pembaca yang akan melanjutkan penelitian dalam skripsi ini.

## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Persamaan Diferensial

##### Definisi 1:

Suatu persamaan yang memuat satu atau beberapa turunan dari suatu fungsi yang tidak diketahui (Purcell dan Varberg, 1987:433).

Contoh 1: Persamaan diferensial dengan variabel bebas  $x$

$$y' + 2 \sin x = 0$$

Berdasarkan jumlah variabel bebas, persamaan diferensial dibagi menjadi dua yaitu persamaan diferensial biasa dan persamaan diferensial parsial (sebagian).

##### Definisi 2:

Persamaan diferensial biasa adalah sebuah persamaan diferensial yang terdiri dari satu atau lebih variabel terikat dengan satu variabel bebas (Ross, 1984:4).

Contoh 2:

$$\frac{d^2y}{dx^2} + xy \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = 0$$

Persamaan diferensial biasa linier orde  $n$  dalam variabel  $y$  dan variabel bebas  $x$  adalah persamaan yang dapat dinyatakan dalam bentuk

$$a_0(x) \frac{d^n y}{dx^n} + a_1(x) \frac{d^{n-1} y}{dx^{n-1}} + \dots + a_{n-1}(x) \frac{dy}{dx} + a_n(x)y = b(x), a_0(x) \neq 0 \quad (2.1)$$

Pada persamaan diferensial biasa linier, variabel bebas  $y$  turunannya berderajat satu dan tidak ada perkalian antara  $y$  dan turunannya serta tidak terdapat fungsi transenden dari  $y$  atau turunannya (Ross, 1984:5).

Pada Persamaan (2.1), fungsi  $a_0(x), a_1(x), \dots, a_n(x)$  disebut sebagai koefisien persamaan diferensial dan  $b(x)$  disebut bentuk nonhomogen. Jika koefisiennya merupakan fungsi konstan, maka persamaan (2.1) dikatakan sebagai persamaan diferensial dengan konstanta. Di lain pihak, diasumsikan bahwa koefisien sebagai fungsi kontinu dengan  $a_0(x) \neq 0$  pada suatu interval yang didefinisikan pada persamaan tersebut. Persamaan diferensial itu dikatakan homogen jika  $b(x)$  sama dengan nol dan nonhomogen jika  $b(x)$  tidak sama dengan nol (Aliyah, 2007:9).

**Definisi 3:**

Persamaan diferensial parsial ialah persamaan-persamaan yang memuat satu atau lebih turunan-turunan parsial (Ayres, 1992:1).

Contoh 3:

$$\frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 z}{\partial y^2} = 0 \text{ dengan } x \text{ dan } y \text{ sebagai variabel bebas}$$

## 2.2 Persamaan Diferensial Linier dan Persamaan Diferensial Tak Linier

**Definisi 4:**

Persamaan diferensial linier adalah persamaan diferensial yang berpangkat satu dalam peubah bebas dan turunan-turunannya, yaitu persamaan diferensial yang berbentuk:



$$a_0(x) \frac{d^n y}{dx^n} + a_{n-1}(x) \frac{d^{n-1} y}{dx^{n-1}} + \cdots + a_1(x) \frac{dy}{dx} + a_0(x)y = f(x) \quad (2.2)$$

Diasumsikan bahwa  $a_0, a_1, \dots, a_n$  dan fungsi-fungsi  $f(x)$  merupakan fungsi-fungsi yang kontinu pada suatu selang  $I$  dan koefisien pertama  $a_n(x) \neq 0$  untuk setiap  $x \in I$  (Pamuntjak, 1990:1).

**Definisi 5:**

Persamaan diferensial nonlinier adalah persamaan diferensial yang bukan persamaan diferensial linier (Ross, 1984:5).

Contoh 4:

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + 5 \frac{dy}{dx} + 6y^2 = 0 \quad (2.3)$$

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + 5y \frac{dy}{dx} + 6y = 0 \quad (2.4)$$

Persamaan (2.3) dan (2.4) adalah persamaan diferensial nonlinier karena ada variabel bergantung  $y$  berderajat dua pada bentuk  $6y^2$  dan bentuk  $5y \frac{dy}{dx}$  merupakan perkalian antara variabel bergantung dan turunannya.

### 2.3 Sistem Persamaan Diferensial

Secara bahasa “sistem” artinya sejumlah tertentu sedangkan yang dimaksud dengan sistem persamaan diferensial adalah sebuah sistem yang di dalamnya memuat  $n$  buah persamaan diferensial, dengan  $n$  buah fungsi yang tidak diketahui, dimana  $n$  merupakan bilangan bulat positif lebih besar sama dengan 2 (Finizio dan Ladas, 1982:132). Antara persamaan diferensial yang satu dengan yang lain saling keterkaitan dan konsisten.



Bentuk umum dari suatu sistem persamaan diferensial orde pertama mempunyai bentuk sebagai berikut:

$$\frac{dx_1}{dt} = g_1(t, x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$$\frac{dx_2}{dt} = g_2(t, x_1, x_2, \dots, x_n)$$

⋮

$$\frac{dx_n}{dt} = g_n(t, x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Dengan  $x_1, x_2, \dots, x_n$  adalah variabel terikat dan  $t$  adalah variabel bebas, sehingga  $x_1 = x_1(t), x_2 = x_2(t), x_n = x_n(t)$  dimana  $\frac{dx_n}{dt}$  merupakan derivatif fungsi  $x_n$  terhadap  $t$  dan  $g_n$  adalah fungsi yang tergantung pada variabel  $x_1, x_2, \dots, x_n$  dan  $t$  (Sulistianaini, 2010:10).

#### 2.4 Sistem Otonomus

Suatu sistem persamaan diferensial yang berbentuk

$$\dot{x} = f(x, y), \quad \dot{y} = g(x, y) \tag{1.1}$$

Dimana fungsi-fungsi  $f$  dan  $g$  bebas dari waktu, disebut *sistem otonomus* (Finizio dan Ladas, 1982:287).

Bila sistem otonomus (1.1) linier dengan koefisien konstanta, yaitu, bila

$$\dot{x} = ax + by, \quad \dot{y} = cx + dy,$$

dengan  $a, b, c$ , dan  $d$  konstanta-konstanta. Jika dimisalkan bahwa  $ad - bc \neq 0$ .

Maka titik  $(0,0)$  adalah satu-satunya titik kritis dari Persamaan (1.1) dan persamaan karakteristiknya berbentuk

$$\lambda^2 - (a + d)\lambda + (ad - bc) = 0 \quad (1.2)$$

Dengan  $\lambda_1$  dan  $\lambda_2$  adalah akar-akar dari Persamaan (1.2). Sehingga terdapat teorema berikut:

### Teorema 1

- Titik kritis (0,0) dari Persamaan (1.1) stabil, jika dan hanya jika, kedua akar dari Persamaan (1.2) adalah riil dan negatif atau mempunyai bagian riil tak positif.
- Titik kritis (0,0) dari Persamaan (1.1) stabil asimtotis, jika dan hanya jika, kedua akar dari Persamaan (1.2) adalah riil dan negatif atau mempunyai bagian riil negatif.
- Titik kritis (0,0) dari Persamaan (1.1) tak stabil, jika salah satu (atau kedua akar) akar dari Persamaan (1.2) adalah riil dan positif atau jika paling sedikit satu akar mempunyai bagian riil positif (Finizio dan Ladas, 1982:293).

Andaikan bahwa Persamaan (1.1) berbentuk

$$\begin{aligned} \dot{x} &= ax + by + F(x, y) \\ \dot{y} &= cx + dy + G(x, y), \end{aligned} \quad (1.3)$$

dengan  $ad - bc \neq 0$  dan  $F(0,0) = G(0,0) = 0$  [jadi, (0,0) merupakan titik kritis dari Persamaan 1.3.] selanjutnya, andaikan bahwa fungsi-fungsi F dan G kontinu dan mempunyai turunan parsial pertama yang kontinu, di sekitar titik asal (0,0), dan bahwa

$$\lim_{\substack{x \rightarrow 0 \\ y \rightarrow 0}} \frac{F(x, y)}{\sqrt{x^2 + y^2}} = \lim_{\substack{x \rightarrow 0 \\ y \rightarrow 0}} \frac{G(x, y)}{\sqrt{x^2 + y^2}} = 0 \quad (1.4)$$

Secara kasar dikatakan, syarat Persamaan (1.4) berarti bahwa Persamaan (1.1) merupakan hampiran yang baik dari Persamaan (1.3). maka hasil berikut berlaku.

### Teorema 2

- Titik kritis (0,0) dari Persamaan (1.3) adalah stabil asimtotis jika titik kritis (0,0) dari sistem yang “diliniarkan” Persamaan (1.1) adalah stabil asimtotis.
- Titik kritis (0,0) dari Persamaan (1.3) adalah tak stabil jika titik kritis (0,0) dari Persamaan (1.1) adalah tak stabil.

Teorema ini tidak memberikan kesimpulan mengenai Persamaan (1.3) bila (0,0) hanya merupakan titik stabil dari Persamaan (1.1) (Finizio dan Ladas, 1982:293-294).

### 2.5 Definisi Titik Tetap (Titik Kesetimbangan)

#### Definisi 6:

Titik tetap dari suatu pemetaan  $T : M \rightarrow M$ , dengan  $M$  merupakan suatu himpunan sebarang, dan  $m \in M$  yang dipetakan pada dirinya sendiri oleh pemetaan tersebut. Dengan kata lain dibuat titik tetap oleh pemetaan tersebut  $T$  dan dinotasikan sebagai berikut :  $T(m) = m$  (Musta’adah, 2004:7).

#### Definisi 7:

Misalkan diberikan sistem otonomus

$$\left. \begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= X(x, y, z) \\ \frac{dy}{dt} &= Y(x, y, z) \\ \frac{dz}{dt} &= Z(x, y, z) \end{aligned} \right\} 1.5$$

Titik  $(x^*, y^*, z^*)$  dengan  $X(x^*, y^*, z^*) = 0$ ,  $Y(x^*, y^*, z^*) = 0$ ,  $Z(x^*, y^*, z^*) = 0$  disebut titik kritis Persamaan (1.5). titik kritis  $E =$

$(x_1^*, x_2^*, x_3^*)$  ini merupakan solusi Persamaan (1.5) yang bernilai konstan sebab  $\frac{dx}{dt} = 0, \frac{dy}{dt} = 0, \frac{dz}{dt} = 0$ . Keadaan yang menyebabkan  $\frac{dx}{dt} = 0, \frac{dy}{dt} = 0, \frac{dz}{dt} = 0$  disebut dengan keadaan setimbang dan titik yang memenuhi disebut **titik kesetimbangan** (Sari, 2010:6).

## 2.6 Nilai Eigen dan Vektor Eigen

### Definisi 8

Jika  $A$  matriks  $n \times n$  maka vektor tak nol  $x$  di dalam  $R^n$  disebut suatu vektor eigen dari  $A$  jika  $Ax$  adalah suatu penggandaan skalar dari  $x$ , yaitu  $Ax = \lambda x$  untuk suatu skalar  $\lambda$ . Skalar  $\lambda$  disebut nilai eigen dari  $A$  dan  $x$  disebut suatu vektor eigen yang berpadanan dengan  $\lambda$  (Anton, 2000:99-100).

Contoh 5:

Cari nilai eigen dari  $A = \begin{bmatrix} 3 & 0 \\ 8 & -1 \end{bmatrix}$

Penyelesaian. Polinom karakteristik dari  $A$  adalah

$$\det(\lambda I - A) = \det \begin{bmatrix} \lambda - 3 & 0 \\ -8 & \lambda + 1 \end{bmatrix} = \lambda^2 - 2\lambda - 3$$

Sehingga persamaan karakteristiknya adalah  $(\lambda - 3)(\lambda + 1) = 0$

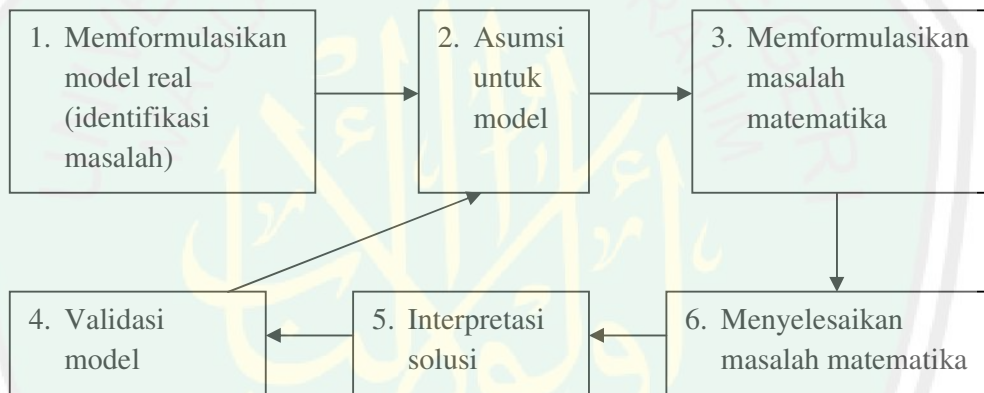
dan nilai-nilai eigennya adalah  $\lambda = 3$  dan  $\lambda = -1$

## 2.7 Model Matematika

Model matematika adalah uraian secara matematika (seringkali menggunakan fungsi atau persamaan) dari fenomena dunia nyata seperti populasi,

permintaan untuk suatu barang, kecepatan benda jatuh, konsentrasi hasil dalam reaksi kimia, harapan hidup seseorang pada waktu lahir, atau biaya reduksi emisi. Tujuan model adalah memahami suatu fenomena dan mungkin membuat prakiraan tentang perilaku di masa depan (Stewart, 2001:26).

Berikut ini adalah proses formulasi fenomena/kelakuan dunia nyata dalam bentuk matematika. Matematika yang digunakan adalah persamaan diferensial. Langkah dalam pemodelan masalah dunia nyata diilustrasikan dalam diagram berikut:



Gambar 2.1. Langkah-langkah Pemodelan (Baiduri, 2002:15).

Selanjutnya langkah-langkah pemodelan dapat dikelaskan sebagai berikut:

#### *Langkah 1: Identifikasi Masalah*

Disini pertanyaan yang timbul, apa yang mesti dilakukan atau apa yang diinginkan. Pemodel harus mempunyai kemampuan yang cukup dalam formulasi verbal agar masalah bisa ditranslansikan ke dalam bahasa matematika. Translasi ini akan terus diselesaikan pada langkah berikutnya.

### *Langkah 2: Membuat Asumsi*

Secara umum, tidak bisa menganggap bahwa semua faktor yang berpengaruh pada peristiwa yang sedang diamati dapat dimodelkan dengan matematika. Hal ini disederhanakan dengan mereduksi banyaknya faktor yang berpengaruh terhadap kejadian yang sedang diamati sehingga kompleksitas persoalan bisa direduksi dengan mengasumsikan hubungan sederhana antara variabel. Asumsi disini dibagi dalam dua kategori utama:

#### a. Klasifikasi variabel

Apa yang mempengaruhi tingkah laku pengamatan pada langkah 1? Hal ini diidentifikasi sebagai variabel, baik berupa variabel bebas maupun variabel terikat. Dalam model akan dijelaskan variabel terikat dan sisanya sebagai variabel bebas dan juga boleh memilih variabel mana yang mesti diabaikan.

#### b. Menentukan interelasi antara variabel yang terseleksi untuk dipelajari

Sebelum dibuat hipotesa tentang relasi antara variabel, secara umum dibuat beberapa penyederhanaan tambahan. Persoalan mungkin cukup kompleks bahwa relasi antara semua variabel tidak bisa dilihat secara permulaan. Dalam kasus ini biasanya membuat sebuah submodel. Di sini satu atau lebih variabel bebas dipelajari secara terpisah. Perlu diperhatikan bahwa submodel ini terintegral terhadap asumsi yang dibuat pada model utama.

### *Langkah 3: Menyelesaikan Atau Menginterpretasi Model*

Sekarang perhatikan semua submodel untuk melihat apakah model yang disusun sudah cukup. Selanjutnya model tersebut akan diselesaikan secara matematika. Dalam hal ini model yang digunakan dan penyelesaiannya



menggunakan persamaan diferensial. Sering kali di sini mengalami kesulitan untuk menyelesaikan model dan interpretasi model. Dalam kondisi ini kembali ke langkah 2 dan membuat asumsi sederhana tambahan atau kembali ke langkah 1 untuk membuat definisi ulang dari permasalahan. Penyederhanaan atau definisi ulang sebuah model merupakan bagian yang penting dalam matematika model.

#### *Langkah 4: Verifikasi Model*

Sebelum menggunakan model untuk menyimpulkan kejadian dunia nyata, model tersebut mesti diuji. Ada beberapa pertanyaan yang diperlukan yang diajukan sebelum melakukan uji dan mengumpulkan data. Pertama, apakah model menjawab masalah yang diidentifikasi pada langkah 1 atau apakah menyimpang dari isu utama seperti yang dikonstruksi dalam model? Kedua, apakah model membuat pemikiran yang sehat? Ketiga, bisakah mengumpulkan data untuk menguji dan mengoperasikan model dan apakah model memenuhi syarat bila diuji? Dalam mendesain sebuah tes untuk model yang dibuat, sebaiknya menggunakan data aktual yang diperoleh dari observasi empirik (Baiduri, 2002:15).

## **2.8 Tuberkulosis Paru**

Tuberkulosis paru adalah suatu penyakit menular yang disebabkan oleh basil Mikobakterium tuberkulosis. Tuberkulosis paru merupakan salah satu penyakit saluran pernapasan bagian bawah. Di Indonesia, penyakit ini merupakan penyakit infeksi terpenting setelah eradikasi penyakit malaria (Alsagaff dan Abdul Mukti, 2006:73).

Kuman tersebut mempunyai ukuran 0,5-4 mikron  $\times$  0,3 – 0,6 mikron dengan bentuk batang tipis, lurus atau agak bengkok, bergranular atau tidak mempunyai selubung, tetapi mempunyai lapisan luar tebal yang terdiri dari lipoid (terutama asam mikolat) (Widoyono, 2005:17).

## **2.9 Sistem Imun dan Respon Imun**

Sistem imun merupakan gabungan sel, molekul dan jaringan yang berperan dalam resistensi terhadap infeksi. Reaksi yang dikoordinasi sel-sel, molekul-molekul dan bahan lainnya terhadap mikroba disebut respon imun. Sistem imun diperlukan tubuh untuk mempertahankan keutuhannya terhadap bahaya yang dapat ditimbulkan berbagai bahan dalam lingkungan hidup (Baratawidjaja dan Rengganis, 2009:29).

### **2.9.1 Respon Imun Terhadap Infeksi secara Umum**

Ada beberapa gambaran umum respon imun terhadap mikroba yang dapat dirangkum sebagai berikut: 1) Pertahanan terhadap mikroba diperantarai oleh mekanisme efektor imunitas bawa'an (non spesifik) maupun imunitas didapat (spesifik). Berbagai jenis mikroba dapat melawan respons imun non spesifik, dan dalam keadaan demikian proteksi terhadap mikroba tersebut sangat bergantung pada respons imun spesifik, dalam arti bahwa sistem imun spesifik meningkatkan fungsi sistem imun non spesifik. 2) respon imun non-spesifik terhadap mikroba memegang peranan penting dalam menentukan respon imun spesifik yang akan berlangsung. 3) dalam upaya melawan mikroba secara efektif, sistem imun memberikan respon yang spesialistik dan berbeda terhadap berbagai jenis

mikroba. 4) survival dan patogenisitas mikroba sangat dipengaruhi oleh kemampuan mikroba itu untuk menghindar dari sistem imun pejamu. 5) kerusakan jaringan dan penyakit sebagai konsekuensi infeksi pada umumnya disebabkan oleh respon pejamu terhadap mikroba serta produknya dan bukan disebabkan oleh mikroba bersangkutan (Kresno, 2003:162-163).

Respon imun proteksi utama terhadap bakteri intraseluler adalah melalui *Cell Mediated Immunity* (CMI) atau imunitas seluler. Imunitas seluler terdiri atas dua tipe reaksi yaitu fagositosis oleh makrofag yang teraktivasi dan lisis sel terinfeksi oleh limfosit T sitolitik. Kuman yang masuk ke alveoli akan ditelan dan sering dihancurkan oleh makrofag alveolar (Pagalay, 2009:121).

### **2.9.2 Makrofag**

Makrofag merupakan fagosit profesional yang terpenting. Sel ini diproduksi di sumsum tulang dari sel induk myeloid melalui stadium promonosit. Sel yang belum berkembang sempurna ini kemudian masuk ke dalam aliran darah sebagai monosit dan apabila sel itu meninggalkan sirkulasi dan sampai di jaringan ia mengalami berbagai perubahan tambahan dan menjadi sel matang kemudian menetap di jaringan sebagai makrofag. Sel-sel yang terdapat diparu-paru sebagai makrofag alveolar. Beberapa diantaranya berdiferensiasi menjadi sel lain misalnya sel dendritik (Kresno, 2003:33).

Makrofag mempunyai peran penting dalam respon imun. Fungsi utama makrofag dalam imunitas bawa'an adalah:1) Makrofag memfagositosis partikel asing seperti mikroorganisme, makromolekul termasuk antigen bahkan sel atau jaringan sendiri yang mengalami kerusakan atau mati. Pengenalan makrofag

terhadap substansi asing dimungkinkan oleh adanya reseptor untuk fosfolipid sedangkan fungsi untuk sel efektor yaitu menghancurkan mikroorganisme serta sel-sel ganas dan benda-benda asing. Makrofag juga mengekspresikan MHC kelas II pada permukaannya, dan ekspresi MHC II meningkat bila makrofag diaktivasi (Kresno, 2003:34).

Mtb dalam makrofag akan dipresentasikan ke sel Th1 melalui MHC (Major Histocompatibility Complex) kelas II. Sel Th1 selanjutnya akan mensekresi  $IFN - \gamma$  yang akan mengaktifkan makrofag sehingga dapat menghancurkan kuman yang telah difagosit. Sitokin  $IFN - \gamma$  yang disekresi oleh Th1 tidak hanya berguna untuk meningkatkan kemampuan makrofag melisis kuman tetapi juga mempunyai efek penting lainnya yaitu merangsang sekresi *tumor necrosis factor (TNF) $\alpha$*  oleh sel makrofag (Pagalay, 2009:123-124).

### **2.9.3 Imunologi Bakteri Ekstraselular**

Bakteri ekstraselular dapat hidup dan berkembangbiak diluar sel pejamu misalnya dalam sirkulasi, jaringan ikat dan rongga-rongga jaringan seperti lumen saluran napas dan saluran cerna. Penyakit yang ditimbulkan bakteri ekstraselular berupa inflamasi yang menimbulkan destruksi jaringan ditempat infeksi dengan membentuk nanah/infeksi supuratif (Baratawidjaya dan Rengganis, 2009:405).

Respon utama terhadap infeksi bakteri ekstraselular pada umumnya diperankan antibodi. Antibodi dapat menghancurkan bakteri dengan bantuan komplemen, menetralkan toksin dan berperan sebagai opsonin untuk meningkatkan fagositosis (Baratawidjaya dan Rengganis, 2009:448). Komponen

imunitas nonspesifik utama terhadap bakteri ekstraselular adalah komplemen, fagositosis dan respon inflamasi (Baratawidjaya dan Rengganis, 2009:407).

#### **2.9.4 Imunologi Bakteri Intraselular**

Ciri utama bakteri intraselular adalah kemampuannya untuk hidup bahkan berkembangbiak dalam fagosit. Mikroba tersebut mendapat tempat tersembunyi yang tidak dapat ditemukan oleh antibodi dalam sirkulasi, sehingga untuk eliminasinya memerlukan mekanisme imun selular (Baratawidjaya dan Rengganis, 2009:407).

Efektor imunitas nonspesifik utama terhadap bakteri intraselular adalah fagosit dan NK. Fagosit menelan dan mencoba menghancurkan mikroba tersebut, namun mikroba dapat resisten terhadap efek degradasi fagosit. Bakteri intraselular dapat mengaktifkan sel NK secara direk atau melalui aktivasi makrofag yang memproduksi IL-12, sitokin poten yang mengaktifkan sel NK. Sel NK memproduksi *IFN* –  $\gamma$  yang kembali mengaktifkan makrofag dan meningkatkan daya membunuh bakteri dan memakan bakteri (Baratawidjaya dan Rengganis, 2009:408).

Proteksi utama respon imun spesifik terhadap bakteri intraselular berupa imunitas selular. Makrofag yang diaktifkan sebagai respons terhadap mikroba intraselular dapat pula membentuk granuloma dan menimbulkan kerusakan jaringan seperti yang terjadi pada DTH terhadap protein PPD *M.tuberculosis*. sel CD4+ dan CD8+ bekerjasama dalam pertahanan terhadap mikroba. Berbagai mikroba intraselular seperti *M.tuberculosis* dapat mengembangkan berbagai



strategi untuk menghindari eliminasi oleh fagosit (Baratawidjaya dan Rengganis, 2009:409-410).

### **2.9.5 Sel T dan Perkembangan Sel T**

Sel T adalah suatu sel yang diturunkan dari timus yang ikut serta dalam berbagai reaksi imun berperantara perantara sel (Aliyah, 2007:32). Pre-genitor sel asal sum-sum tulang yang bermigrasi ke timus berdiferensiasi menjadi sel T. Sel T yang non aktif disirkulasikan melalui KGB dan limpa yang dikonsentrasikan dalam folikel dan zona marginal sekitar folikel (Baratawidjaya dan Rengganis, 2009:112).

Sel T umumnya berperan pada inflamasi, aktivasi fagositosis makrofag, aktivasi dan proliferasi sel B dalam produksi antibodi. Sel T juga berperan dalam pengenalan dan penghancuran sel yang terinfeksi virus. Sel T terdiri atas Th yang mengaktifkan makrofag untuk membunuh mikroba dan sel CTL/Tc yang membunuh sel terinfeksi mikroba/virus dan menyingkirkan sumber infeksi (Baratawidjaya dan Rengganis, 2009:116).

### **2.9.6 Aktivasi Sel T**

Proliferasi sel T bergantung pada bermacam-macam peristiwa. Sel T istirahat harus menerima dua tanda untuk terjadinya aktivasi. Suatu tanda berasal reseptor sel T yang berinteraksi dengan antigen MHC yang tersaji pada sel lain. Pengenalan antigen memicu serangkaian jalur biokimia pada sel yang menimbulkan peristiwa sintesis dan mitosis DNA. Bentuk kritis peristiwa penandaan adalah protein kompleks CD3 yang berhubungan dengan rantai reseptor



sel T. CD3 menstanduksi tanda untuk sitoplasma yang mengakibatkan peristiwa biokimiawi seperti meningkatnya  $Ca^{2+}$  sitoplasma, peningkatan aktivasi protein kinase C, fosforilasi protein untuk mengaktifkan faktor transkripsi dan peristiwa transkripsi, sebagai contoh gen reseptor IL-1 dan IL-2. Pelepasan IL-2 menimbulkan aktivasi sel T yang berhubungan dengan reseptor IL-2. Tanda pemisahan yang lain diperlukan untuk aktivasi sel T yang datang dari interaksi antara molekul yang dikenal sebagai B7 yang ditemukan pada sel B dan makrofag dan pasangan reseptornya, CD8 pada sel T. Tanpa tanda yang kedua, pemaparan sel T terhadap antigen menyebabkan anaktivasi fungsinya atau kematian (Kresno, 2003:127).

#### **2.9.7 Sel CD4+ dan Perkembangan Th1 dan Th2**

Sel Th disebut juga sel T inducer merupakan subset sel T yang diperlukan dalam induksi respon imun terhadap antigen asing. Antigen yang ditangkap, diproses dan dipresentasikan makrofag dalam konteks MHC-II ke sel CD4+. Selanjutnya sel CD4+ diaktifkan dan mengekspresikan IL-2R disamping memproduksi IL-2 yang autokrin (melalui ikatan dengan IL-R) dan merangsang sel CD4+ untuk berproliferasi. Sel CD4+ yang berproliferasi dan berdiferensiasi, berkembang menjadi subset sel Th1 atau sel Th2, mensintesis sitokin yang mengaktifkan fungsi sel imun lain seperti CD8+, sel B, makrofag dan sel NK (Baratawidjaja dan Rengganis, 2009:122).

#### **2.9.8 Sel T CD8+ (Cytotoxic T/ CTL)**

Sel T CD8+ naif yang keluar dari timus disebut juga CTL/Tc. CD8+ mengenal kompleks antigen MHC-I yang dipresentasikan Apc. Molekul MHC-I

ditemukan pada semua sel tubuh yang bernukleus. Fungsi utama sel CD8<sup>+</sup> adalah menyingkirkan sel terinfeksi virus, menghancurkan sel ganas dan sel histoinkompatibel yang menimbulkan penolakan transplantasi. Dalam keadaan tertentu, CTL/Tc dapat juga menghancurkan sel yang terinfeksi bakteri intraseluler. Sel Tc menimbulkan sitolisis melalui perforin/enzim, FasL/Fas (apoptosis), TNF- $\alpha$  dan memacu produksi sitokin Th1 dan Th2 (Baratawidjaja dan Rengganis, 2009:125).

Istilah sel T inducer digunakan untuk menunjukkan aktivitas sel Th dalam mengaktifkan sel subset T lainnya. Sel CTL/Tc mengekspresikan koreseptor CD8<sup>+</sup> dan menghancurkan sel terinfeksi secara antigen spesifik yang MHC-1 dependen. CTL/Tc dapat membunuh sel secara direk dan melalui induksi apoptosis (Baratawidjaja dan Rengganis, 2009:126).

### **2.9.9 Interaksi Antara Sel CD4<sup>+</sup> dan CD8<sup>+</sup>**

Mikroba yang menginfeksi dan berkembang biak dalam sitoplasma berbagai jenis sel, termasuk non fagositik, kadang tidak dapat disingkirkan oleh fagosit yang diaktifkan sel T melalui DTH. Satu-satunya jalan untuk menyingkirkan infeksi mikroba yang sudah menetap atau virus yang berkembangbiak dalam sitoplasma berbagai sel adalah dengan jalan membunuh sel itu sendiri. Hal itu merupakan fungsi CD8<sup>+</sup>.

Makrofag mencerna mikroba yang dimakannya dalam vesikel (fagosom), namun beberapa mikroba dapat terlepas dan masuk ke dalam sitoplasma. Sel CD4<sup>+</sup> akan mengenal antigen yang berasal dari mikroba vesikular dan mengaktifkan makrofag untuk membunuh mikroba dalam vesikel. Sel CD8<sup>+</sup>

mengenal antigen yang berasal dari sitoplasma dan menyingkirkan mikroba dengan membunuh sel terinfeksi (Baratawidjaya dan Rengganis, 2009:137-140).

### **2.9.10 Mekanisme Respon Imun Terhadap Mtb**

#### a) Imunitas non spesifik

Pada imunitas non spesifik terhadap bakteri intraseluler, sel efektor utamanya adalah fagosit dan sel NK (Natural Killer). Sel fagosit memakan dan mencoba menghancurkan bakteri Mtb, namun kuman ini dapat resisten terhadap efek degradasi fagosit. Strategi bakteri ini dapat menghindari dari efek eliminasi oleh fagosit antara lain dengan cara mencegah pembentukan fagosom. Sel NK dapat teraktivasi secara langsung oleh bakteri ini atau melalui aktivasi makrofag oleh bakteri Mtb yang memproduksi sitokin Interleukin-12 (IL-12) yang merupakan sitokin poten untuk mengaktifkan sel NK. Sel NK yang teraktivasi akan memproduksi sitokin interferon gamma ( $IFN - \gamma$ ) dan kembali mengaktifkan makrofag serta meningkatkan daya fagositosis makrofag (Pagalay, 2009:119).

#### b) Imunitas spesifik

Pada infeksi TB terjadi respon imunologi berupa imunitas seluler dan reaksi hipersensitivitas tipe lambat. Imunitas seluler menyebabkan proliferasi limfosit T CD4+ dan memproduksi sitokin lokal. Sebagai respon terhadap antigen yang dikeluarkan Mtb limfosit-T CD4+ mempengaruhi limfosit-T Th1 untuk mengaktifkan makrofag dan limfosit-T Th2 untuk memproduksi sitokin lokal TNF- $\alpha$  dan  $IFN - \gamma$ . Sitokin ini akan menarik monosit darah ke lesi TB dan mengaktifkannya. Monosit aktif atau makrofag dan limfosit-T CD4+

memproduksi enzim lisosom, oksigen radikal, nitrogen intermediate khususnya nitrogen oksida dan interleukin-2. Nitrogen oksida ini selanjutnya diaktifkan oleh  $TNF-\alpha$  dan  $IFN-\gamma$  untuk menghambat pertumbuhan dan membunuh Mtb yang virulen. Peran imunitas seluler mengaktifkan makrofag dan menghancurkan basil terutama pada jumlah basil yang sedikit. Kemampuan membunuh Mtb juga bergantung pada jumlah makrofag setempat aktif (Pagalay, 2009: 120).

Hipersensitifitas tipe lambat merupakan bagian dari respon imun seluler, yaitu terjadinya peningkatan aktifitas limfosit-T CD4+ dan limfosit-T CD8+ sitotoksik serta sel pembunuh yang memusnahkan makrofag setempat, jaringan sekitar dan perkijuan. Hipersensitifitas tipe lambat dapat mengisolasi lesi aktif, menyebabkan Mtb menjadi dorman, kerusakan jaringan, fibrosis dan jaringan perut. Proses ini dapat merugikan tubuh, dimana Mtb dapat keluar dari bagian pinggir daerah nekrosis dan membentuk hipersensitifitas tipe lambat kemudian difagositosis oleh makrofag setempat. Apabila makrofag belum diaktifkan oleh imunitas seluler, maka Mtb dapat tumbuh dalam makrofag sampai hipersensitifitas tipe lambat merusak makrofag dan menambah daerah nekrosis. Saat itu imunitas seluler menstimulasi makrofag setempat untuk membunuh basil dan mencegah perkembangan penyakit. Hipersensitifitas tipe lambat lebih berperan pada jumlah basil yang banyak dan menyebabkan nekrosis jaringan (Pagalay, 2009:120-121).

Apabila Mtb masuk ke dalam aliran limfe atau darah biasanya akan dihancurkan di tempat yang baru dengan terbentuknya tuberkel. Adanya reseptor spesifik terhadap antigen yang dihasilkan Mtb pada limfosit-T di darah dan

jaringan limfe, menyebabkan pengumpulan dan aktivasi makrofag lebih cepat dan destruksi Mtb. Tuberkel yang terjadi tetap kecil dengan pengkijuan yang minimal, cepat sembuh dan tidak diikuti oleh terjadinya penyebaran hematogen atau limfogen ke jaringan lain (Pagalay, 2009: 121) .

## 2.10 Konsep Keseimbangan Immunologik dalam Perspektif Islam

Sejak mulai ada kehidupan, di alam ini selalu terus-menerus ada dua pasangan yaitu perkembangan dan kestabilan (stabilitas). Kehidupan ini berkembang kemudian stabil, lalu berkembang lagi kemudian stabil lagi. Hal ini terus menerus sampai hari kiamat (Allam, 2005:48).

Di dalam kajian islam Allah juga mengatur dengan indah keseimbangan tersebut. Bahkan berabad-abad yang lalu Allah juga menyebutkan firman-Nya dalam Al-Qur'an surat Al Mulk ayat 3-4:

الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمَوَاتٍ طِبَاقًا ۗ مَا تَرَىٰ فِي خَلْقِ الرَّحْمَنِ مِن تَفَوتٍ ۗ فَأَرِجْ  
الْبَصَرَ هَلْ تَرَىٰ مِن فُطُورٍ ﴿٣﴾ ثُمَّ أَرْجِعْ الْبَصَرَ كَرَّتَيْنِ يَنقَلِبْ إِلَيْكَ الْبَصَرُ خَاسِئًا  
وَهُوَ حَسِيرٌ ﴿٤﴾

Artinya: "Yang telah menciptakan tujuh langit berlapis-lapis. kamu sekali-kali tidak melihat pada ciptaan Tuhan yang Maha Pemurah sesuatu yang tidak seimbang. Maka lihatlah berulang-ulang, Adakah kamu Lihat sesuatu yang tidak seimbang?. Kemudian pandanglah sekali lagi niscaya penglihatanmu akan kembali kepadamu dengan tidak menemukan sesuatu cacat dan penglihatanmu itupun dalam Keadaan payah"(Al-Mulk 67: 3-4).

Dalam tafsir Jalalain al Mahalli dan Jalahudin as Suyuthi secara jelas mengatakan bahwa tidak ada satupun makhluk ciptaan Allah SWT yang tidak



seimbang. Bahkan Abil Fida' Ismail bin Katsir dalam tafsir Ibnu Katsir mengatakan bahwa pada dasarnya manusia dan seluruh makhluk ciptaan Allah SWT layaknya sahabat yang tidak pernah berselisih karena merasa saling membutuhkan (Vivi Aida, 2009: 41).

Salah satu bentuk penyempurnaan oleh Allah SWT terhadap bentuk fisik (kejadian) manusia adalah adanya sistem kekebalan tubuh/sistem imun. Sistem imun dikaruniakan oleh Allah kepada manusia sebagai kekebalan alami dari berbagai zat yang menyerang tubuh. Sistem imun tersebut diciptakan oleh Allah sebagai penyeimbang dalam tubuh. Mekanisme makhluk berjalan dengan sempurna dengan keseimbangan yang terjaga.

Keseimbangan atau homeostatis ini diatur oleh sistem yang saling bekerja sama. Dalam surat al-infithaar ayat 7-8 mengatakan

الَّذِي خَلَقَكَ فَسَوَّنَكَ فَعَدَلَكَ ﴿٧﴾ فِي أَيِّ صُورَةٍ مَّا شَاءَ رَكَّبَكَ ﴿٨﴾

Artinya: “Yang telah menciptakan kamu lalu menyempurnakan kejadianmu dan menjadikan (susunan tubuh)mu seimbang. Dalam bentuk apa saja yang Dia kehendaki, Dia menyusun tubuhmu” (Al-Infithaar 7-8).

Kata *fa'adalaka* terambil dari kata '*adl*' yang antara lain seimbang. Kata ini disamping dapat berarti menjadikan anggota tubuh manusia seimbang, serasi, sehingga tampak harmonis, dapat juga berarti menjadikanmu memiliki kecenderungan untuk bersikap adil. Sayyid Quthub menukil beberapa keistimewaan jasmani manusia. Tetapi organ-organ tubuh manusia yang demikian hebat itu boleh jadi dimiliki pula oleh binatang dalam salah satu bentuk, namun manusia memiliki kekhususannya yaitu akal dan jiwanya yang merupakan keistimewaan yang ditekankan sebagai anugerah-Nya (Shihab, 2003:108).



Mekanisme sistem imun yang ada di dalam tubuh manusia bekerja sedemikian rapi dan sempurna sehingga terciptalah suatu keseimbangan mekanisme yang luar biasa, dimana terjadi interaksi antara sistem imun benda asing yang ada di dalam tubuh.

Namun dalam imunologik, konfrontasi antara hospes dan benda asing ada kalanya terjadi suatu periode ketidakseimbangan (disequilibrium). Keseimbangan imunologik dinormalkan kembali oleh respon imunologik yang tepat. Gangguan dapat terjadi bila rangsang dan respons tidak sesuai satu sama lain. Suatu kekacauan pada homeostatis berakibat terjadinya sekuele yang tidak diinginkan yang diberi nama penyakit.

Penyebab utama dari ketidakseimbangan imunologik, dikaitkan dengan penyimpangan kebiasaan dari sel sel sistem imunologik misalnya pada penyakit defisiensi imun. Disini ada kemungkinan ada kegagalan dalam menghasilkan sejumlah sel efektor atau mungkin secara fungsional sel sel tersebut merupakan jenis yang cacat (Sulistianaini, 2010:32-33).

Penyembuhan berbagai penyakit selalu dilakukan dengan cara menjaga dan mengembalikan fungsi tubuh ini serta menghilangkan pengaruh dan efek samping yang ditimbulkan oleh penyakit tersebut, untuk kemudian berusaha mengembalikan keseimbangan itu pada keadaan alamiahnya. Ketika tubuh melakukan perlawanan terhadap berbagai macam penyakit, maka tubuh akan kehilangan beberapa zat penting yang menjadi alat perlawanan tersebut. Dan zat-zat itu harus dikembalikan lagi secara normal dan alami, saat melakukan penyembuhan (Basith, 2006:10).

Dimungkinkan juga bagi tumbuh-tumbuhan untuk menguatkan tubuh dengan cara memakan zat-zat penting itu saat menjalani proses penyembuhan. Tentunya hal ini bisa berfungsi baik, jika yang dikonsumsi adalah tumbuhan yang mengandung zat-zat yang hilang dari tubuh (Basith, 2006:10).

Allah Ta'ala berfirman:

وَهُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ نَبَاتَ كُلِّ شَيْءٍ فَأَخْرَجْنَا مِنْهُ خَضِرًا نُخْرَجُ مِنْهُ حَبًّا مُتَرَاكِبًا وَمِنَ النَّخْلِ مِنَ طَلْعِهَا قِنْوَانٌ دَانِيَةٌ وَجَنَّاتٍ مِّنْ أَعْنَابٍ وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَّانَ مُشْتَبِهًا وَغَيْرَ مُتَشَبِهٍ ۗ انظُرُوا إِلَى ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَيَنْعِهِ ۗ إِنَّ فِي ذَٰلِكُمْ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ ﴿٩٩﴾

Artinya: “ Dan Dialah yang menurunkan air hujan dari langit, lalu Kami tumbuhkan dengan air itu segala macam tumbuh-tumbuhan Maka Kami keluarkan dari tumbuh-tumbuhan itu tanaman yang menghijau. Kami keluarkan dari tanaman yang menghijau itu butir yang banyak; dan dari mayang korma mengurai tangkai-tangkai yang menjulai, dan kebun-kebun anggur, dan (kami keluarkan pula) zaitun dan delima yang serupa dan yang tidak serupa. perhatikanlah buahnya di waktu pohonnya berbuah dan (perhatikan pulalah) kematangannya. Sesungguhnya pada yang demikian itu ada tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi orang-orang yang beriman.” ( Al-An’am:99).

## BAB III

### PEMBAHASAN

#### 3.1 Variabel dan Parameter yang Berperan pada Model Mekanisme Respon Imun Terhadap Infeksi Mikobakterium Tuberkulosis

Respon imun merupakan serangkaian proses yang saling berkaitan dan diatur oleh suatu sistem yang saling menunjang. Ketika partikel yang berisi bakteri dihirup dan masuk ke paru-paru, bakteri dicerna oleh makrofag dan mulai melakukan penggandaan. Ketika penggandaan terjadi melewati batas ambang, makrofag meledak dan melepaskan bakteri. Penghancuran bakteri oleh makrofag bergantung pada limfosit yang mengalami aktivasi oleh  $IFN - \gamma$ , dilepaskan oleh sel T tipe 1 (Th1) dan respon imun lain yang bermigrasi ke tempat terjadinya infeksi dalam merespon sinyal kemotaksis yang dibangun oleh makrofag terinfeksi. Jika makrofag gagal menerima stimulasi dan tidak mampu menghilangkan bakteri maka makrofag yang terinfeksi oleh bakteri akan dihancurkan oleh CTL.

Oleh karena itu, pada bagian ini akan dibahas model matematika mekanisme respon imun pada infeksi mikobakterium tuberkulosis di paru-paru. Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Gesham Magombedze dkk (2006).

Variabel-variabel yang digunakan adalah:

- Populasi makrofag resting pada saat  $t$  ( $M_R(t)$ )
- Populasi makrofag terinfeksi pada saat  $t$  ( $M_I(t)$ )
- Populasi makrofag teraktivasi pada saat  $t$  ( $M_A(t)$ )

- Populasi bakteri ekstraselular pada saat  $t$  ( $T_{BE}(t)$ )
- Populasi bakteri intraselular pada saat  $t$  ( $T_{BI}(t)$ )
- Populasi Sel T CD4+ pada saat  $t$  ( $T(t)$ )
- Populasi Sel T CD8+ pada saat  $t$  ( $C(t)$ )

Sedangkan parameter-parameter yang digunakan pada sistem persamaan tersebut adalah berdasarkan tulisan Gesham Magombedze dkk (2006):

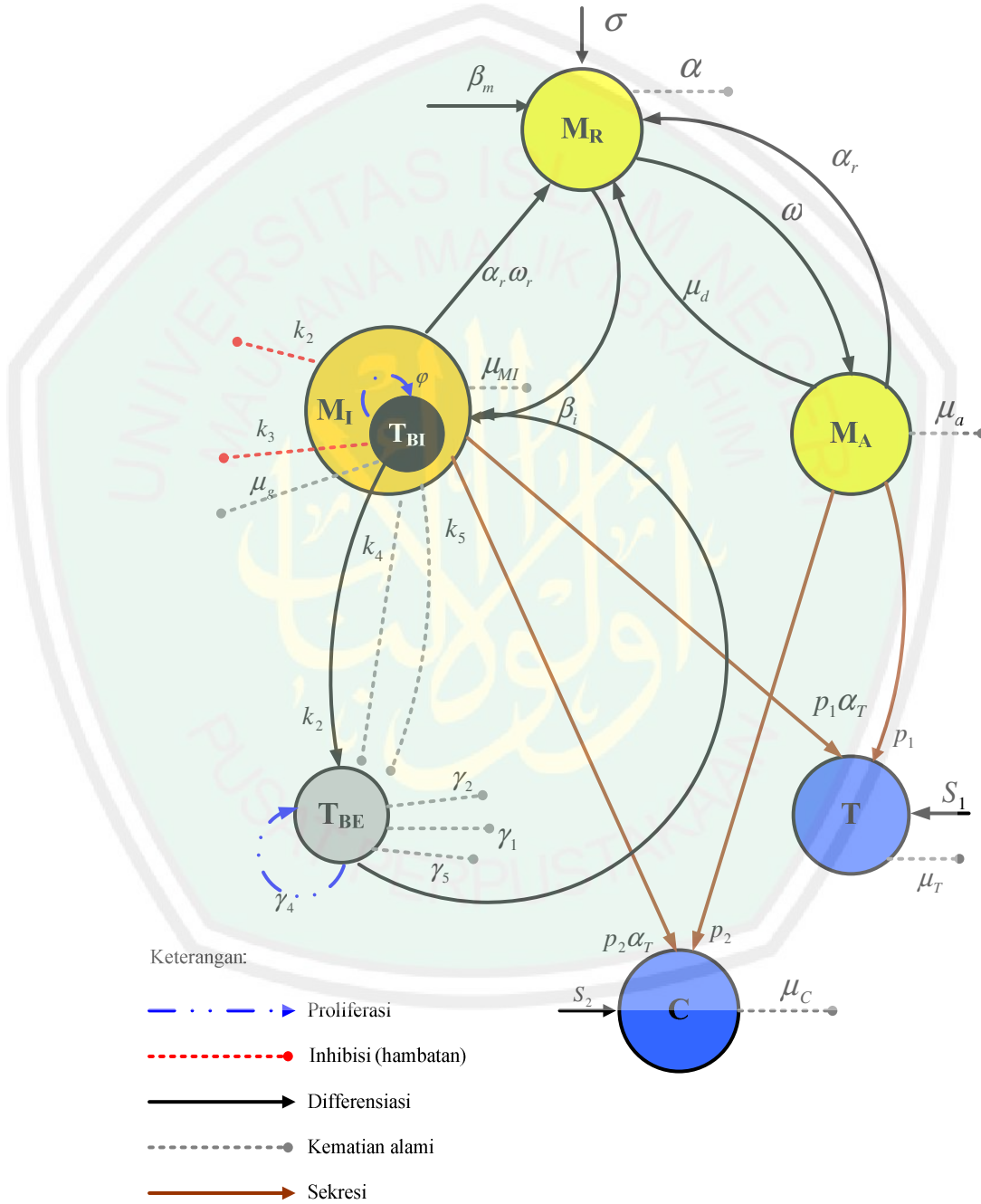
Tabel 3.1. Tabel Nilai Parameter yang Digunakan pada Model

Nama	Nilai	Deskripsi Parameter	Satuan
$\beta_m$	5000	Laju sumber makrofag resting	$M_R cm^{-3}$ perhari
$\alpha_r$	0.05	Laju rekrutmen makrofag resting oleh makrofag teraktivasi	Perhari
$\omega_r$	0.4	Laju rekrutmen makrofag resting oleh makrofag terinfeksi	Skalar
$\sigma$	0.01	Proliferasi dari makrofag teraktivasi	Perhari
$S_R$	1000000	Konstanta saturasi pada bakteri	$T_B cm^{-3}$
$\beta_i$	0.4	Laju terinfeksi makrofag resting	Perhari
$\alpha$	0.011	Laju kematian makrofag resting	Perhari
$\omega$	0.03	Aktivasi maksimum makrofag resting	Perhari
$S_A$	500000	Konstanta saturasi dari aktivasi makrofag resting	$T_B cm^{-3}$
$k_2$	0.4	Laju meledaknya makrofag terinfeksi	Perhari
$\mu_{MI}$	0.011	Laju kematian makrofag terinfeksi secara alami	Perhari
$\mu_a$	0.011	Laju kematian makrofag teraktivasi secara alami	Perhari
$N$	50	Banyaknya bakteri intraseluler dalam makrofag terinfeksi	$T_{BI} M_I^{-1}$
$N_1$	25	Banyaknya bakteri intraseluler yang menyebabkan infeksi kronik	$T_{BI} M_I^{-1}$
$\gamma_1$	0.000000 125	Laju pembunuhan bakteri ekstraseluler oleh makrofag teraktivasi	$cm^3 M_I^{-1}$ perhari
$\gamma_2$	0.000000 0125	Laju pembunuhan bakteri ekstraseluler oleh makrofag resting	$cm^3 M_I^{-1}$ perhari
$\gamma_4$	0.1	Laju perkembangbiakan bakteri ekstraseluler	Perhari
$\varphi$	0.49	Laju perkembangbiakan bakteri intraseluler	Perhari
$S_1$	100	Laju sumber sel T	Perhari
$S_E$	1000000	Konstanta saturasi bakteri ekstraseluler	$T_B cm^{-3}$

$\mu_d$	0.3	Laju makrofag teraktivasi yang dinonaktifkan	Perhari
$k_3$	0.000000 125	Laju pembunuhan bakteri intraseluler oleh CTL	Perhari
$N_T$	40	Banyaknya bakteri ekstraseluler yang dibunuh oleh sel T CD4+	$T_{BI}M_I^{-1}$
$N_C$	40	Besarnya bakteri ekstraseluler yang dibunuh oleh CTL	$T_{BI}M_I^{-1}$
$N_2$	30	Banyaknya bakteri intraseluler yang dibunuh oleh CTL	$T_{BI}M_I^{-1}$
$k_4$	0.000000 125	Laju kematian makrofag terinfeksi secara apoptosis	Perhari
$b_0$	500000	Faktor penghambat apoptosis makrofag terinfeksi	Skalar
$k_5$	0.000001 85	Laju kematian makrofag terinfeksi secara lisis	Perhari
$\gamma_5$	0.85	Laju bakteri ekstraseluler dibunuh oleh CTL	Perhari
$S_2$	100	Laju sumber CTL	$Ccm^{-3}$ perhari
$S_T$	1500000	Konstanta saturasi sel T	$Tcm^{-3}$ perhari
$A_T$	1000	Setengah konstanta saturasi sel T untuk apoptosis	$cm^3T^{-1}$ perhari
$\alpha_T$	0.3	Laju rekrutmen oleh makrofag terinfeksi	Perhari
$p_1$	0.03	Proliferasi sel T CD4+	Perhari
$p_2$	0.01	Proliferasi sel T CD8+ / CTL	Perhari
$\mu_T$	0.01	Laju kematian sel T CD4+	Perhari
$\mu_C$	0.68	Laju kematian sel T CD8+ / CTL	Perhari
$E$	10	Konstanta fungsi Hill	Skalar
$G_n$	1000	Konstanta saturasi CTL	$cm^3T^{-1}$ perhari
$\mu_g$	0.011	Laju kematian bakteri intraseluler oleh makrofag teraktivasi	Perhari
$S_C$	1500000	Konstanta saturasi CTL	$Ccm^3$ perhari
$h$	2	Koefisien Hill	



Di bawah ini diberikan gambar alur model matematika pada mekanisme respon imun terhadap infeksi mikobakterium tuberkulosis di paru-paru



Gambar 3.1 Alur Perubahan Setiap Populasi Sel pada Model



Penjelasan gambar alur pada setiap perubahan populasi seperti di bawah ini:

- 1) Populasi makrofag resting ( $M_R$ ) berasal dari monosit sebesar  $\beta_m$ , perekrutan makrofag resting sebagai respon terhadap kemokin yang dilepaskan oleh makrofag teraktivasi dan makrofag terinfeksi pada laju sebesar  $\alpha_r$  dan  $\alpha_r \omega_r$ , dengan jumlah kepadatan bakteri  $\frac{T_B(t)}{T_B(t)+S_R}$  dan dengan laju  $\sigma$ , kemudian dihambat oleh makrofag resting yang terinfeksi oleh bakteri dengan proporsi bakteri  $\frac{T_{BE}(t)}{T_{BE}(t)+S_E}$  dan dengan laju sebesar  $\beta_i$ . Kemudian adanya kematian makrofag secara alami dengan laju  $\alpha$  dan hilangnya aktivasi makrofag resting dengan proporsi bakteri  $\frac{T_B(t)}{T_B(t)+S_A}$  yang memiliki laju sebesar  $\omega$ , dan juga dipengaruhi oleh makrofag teraktivasi yang deaktivasi oleh IL-10 pada tingkat  $\mu_d$ .
- 2) populasi makrofag terinfeksi ( $M_I$ ) berasal dari banyaknya makrofag resting yang terinfeksi oleh bakteri dengan jumlah kepadatan bakteri  $\frac{T_{BE}(t)}{T_{BE}(t)+S_E}$  dan dengan laju  $\beta_i$ . Ketika jumlah bakteri mencapai batas ambang kemudian makrofag terinfeksi akan meledak sebesar laju  $k_2$ . Makrofag yang terinfeksi ini mengakibatkan CTL datang di tempat yang terinfeksi. CTL ini akan membunuh bakteri dengan proporsi CTL  $\frac{C(t)}{C(t)+G_n}$  dengan laju  $k_3$ , sel T CD4+ juga akan langsung berperan ketika makrofag terinfeksi bakteri dengan proporsi  $\frac{T(t)}{T(t)+A_T}$  dan bakteri intraseluler ini akan berusaha menghambat terjadinya apoptosis dengan proporsi  $\frac{1}{1+b_0 T_{BI}(t)}$  hal ini dengan laju  $k_4$ .

makrofag terinfeksi kronis mengalami kematian alami akibat tindakan CTL pada laju  $k_5$  dan kematian makrofag terinfeksi secara alami pada laju  $\mu_{MI}$ .

- 3) Sumber makrofag teraktivasi adalah makrofag resting yang teraktivasi oleh sitokin. Sitokin ini memicu aktivasi makrofag resting. Terjadinya aktivasi makrofag resting ini juga tergantung pada kepadatan jumlah bakteri ( $T_B = T_{BE} + T_{BI}$ ) dengan proporsi  $\frac{T_B(t)}{T_B(t)+S_A}$  sebesar laju  $\omega$ . Aktivasi makrofag akan mengalami perlambatan akibat dari IL-4 dan deaktivasi karena IL-10 sebesar laju  $\mu_a$  dan mengalami kematian secara alami sebesar laju  $\mu_a$ .
- 4) Bakteri Mtb berkembang dengan kapasitas N, dan ketika makrofag terinfeksi meledak melepaskan bakteri dengan laju  $k_2$ . Kematian makrofag terinfeksi yang disebabkan oleh sel T CD4+ dengan proporsi  $\frac{T(t)}{T(t)+A_T}$  mengakibatkan adanya pertukaran bakteri dari lingkungan intraseluler ke ekstraseluler dengan perkembangan  $\frac{1}{1+b_0T_{BI}(t)}$  dan memiliki laju  $k_4$ . Selain itu diakibatkan kematian makrofag terinfeksi yang disebabkan oleh CTL dengan laju  $k_5$  dengan jumlah  $N_C$ . Bakteri ekstraseluler yang berada dalam makrofag berkembangbiak secara terus menerus dengan laju  $\gamma_4$ . Bakteri yang ditelan oleh makrofag inilah yang menyebabkan makrofag terinfeksi kronis dengan jumlah  $N_1$  dan proporsi  $\frac{T_{BE}(t)}{T_{BE}(t)+S_E}$  dan sebesar laju  $\beta_i$ . CTL akan langsung bergerak cepat untuk membunuh bakteri ekstraseluler dengan proporsi  $\frac{C(t)}{C(t)+G_n}$  dengan laju  $\gamma_5$ . kemudian bakteri ekstraseluler oleh makrofag teraktivasi dengan laju  $\gamma_1$ .

Sedangkan kematian bakteri ekstraseluler oleh makrofag resting dengan laju  $\gamma_2$ .

- 5) Dinamika bakteri intraseluler tumbuh menurut persamaan Hill  $\left(1 - \frac{T_{BI}^2(t)}{T_{BI}^2(t) + (NM_I(t))^2 + E}\right)$  dengan koefisien 2 dan  $N$  merupakan jumlah bakteri intraseluler dalam makrofag terinfeksi dengan laju  $\varphi$ . Bakteri intraseluler ini akan dilepaskan ke lingkungan ekstraseluler dengan laju  $k_2$ . Bakteri intraseluler dengan jumlah  $N_2$  dalam makrofag terinfeksi kronis dibunuh oleh CTL dengan proporsi  $\frac{C(t)}{C(t) + G_n}$  dengan laju  $k_3$ . Jumlah bakteri yang ditambahkan ke lingkungan intraseluler tergantung pada populasi bakteri ekstraseluler yang berinteraksi dengan makrofag resting dengan proporsi  $\frac{T_{BE}(t)}{T_{BE}(t) + S_E}$  sebesar laju  $\beta_i$ . Kematian makrofag terinfeksi karena sel T CD4+ dan CTL dengan proporsi  $\frac{T(t)}{T(t) + A_T}$  dapat melepaskan bakteri ekstraseluler dengan jumlah  $N_T$  yang menghambat terjadinya apoptosis dengan proporsi  $\frac{1}{1 + b_0 T_{BI}(t)}$  dimana sebesar laju  $k_4$ . Hilangnya bakteri sebesar  $N_C$  dengan laju  $k_5$  oleh CTL. Kemudian hilangnya bakteri oleh aktivasi makrofag dengan laju  $\mu_g$ .
- 6) Dinamika populasi sel T CD4+ tergantung pada banyaknya sel T CD4+ yang dihasilkan timus. Sitokin yang dilepaskan makrofag terinfeksi dan teraktivasi berdiferensiasi ke dalam respon Th1 atau respon Th2. Selain itu dinamika populasi sel T CD4+ juga tergantung pada poliferasi dan rekrutmen sel T CD4+ dengan laju  $p_1$ . Dinamika populasi sel T CD4+ juga dihambat oleh kematian sel T CD4+ sendiri secara alami dengan laju  $\mu_T$ .

7) Dinamika populasi CTL tergantung pada banyaknya sel T CD4+ yang dihasilkan timus ( $S_2$ ). Selain itu juga karena adanya poliferasi yang tergantung pada jumlah makrofag terinfeksi dan teraktivasi yang mengeluarkan sitokin yang memicu sel respon yang dimediasi. Dinamika populasi CTL juga dihambat oleh kematian CTL sendiri secara alami dengan laju  $\mu_C$ .

### 3.2 Interpretasi Model Matematika

Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Gesham Magombedze dkk (2006) diperoleh persamaan model matematikanya berupa sistem persamaan differensial biasa nonlinier orde 1 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{dM_R(t)}{dt} = & \beta_m + \alpha_r(M_A(t) + \omega_r M_I(t)) + \sigma M_R(t) \left( \frac{T_B(t)}{T_B(t) + S_R} \right) \\ & - \beta_i \left( \frac{T_{BE}(t) M_R(t)}{T_{BE} + S_E} \right) - \alpha M_R(t) - \omega M_R(t) \left( \frac{T_B(t)}{T_B(t) + S_A} \right) \\ & + \mu_d M_A(t) \end{aligned} \quad (3.1)$$

Perubahan populasi makrofag resting dari waktu ke waktu dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain sumber makrofag yang berasal dari diferensiasi monosit dengan laju  $\beta_m$ , ditambah perekrutan makrofag resting ketempat yang terinfeksi di paru-paru sebagai respon terhadap kemokin yang dilepaskan oleh makrofag teraktivasi dan makrofag terinfeksi dengan laju  $\alpha_r$  dan  $\alpha_r \omega_r$ , ditambah perekrutan makrofag resting yang bergantung pada kepadatan bakteri dengan laju  $\sigma$ , dikurangi makrofag resting yang terinfeksi dengan laju sebesar  $\beta_i$ , dikurangi laju kematian alami makrofag resting dengan laju  $\alpha$ , dikurangi laju hilangnya

populasi makrofag yang resting ketika teraktivasi dengan laju  $\omega$ , ditambah makrofag yang teraktivasi dengan laju  $\mu_d$ .

$$\begin{aligned} \frac{dM_I(t)}{dt} = & \beta_i \left( \frac{T_{BE}(t)M_R(t)}{T_{BE}(t)+S_E} \right) - k_2M_I(t) - k_3M_I(t) \left( \frac{C(t)}{C(t)+G_n} \right) \\ & - k_4 \left( \frac{M_I(t)}{1+b_0T_{BI}(t)} \right) \left( \frac{T(t)}{T(t)+A_T} \right) - k_5M_I(t)C(t) \\ & - \mu_{MI}M_I(t) \end{aligned} \quad (3.2)$$

Perubahan populasi makrofag terinfeksi dari waktu ke waktu dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain banyaknya makrofag yang terinfeksi oleh bakteri  $T_B$  dengan laju  $\beta_i$ , kemudian dihambat oleh peledakan makrofag terinfeksi sebagai akibat dari peningkatan bakteri dengan laju  $k_2$ , dikurangi antimikroba yang dihasilkan CTL untuk membunuh bakteri intraseluler pada laju  $k_3$ , dikurangi laju kematian secara apoptosis makrofag terinfeksi kronis yang diinduksi oleh sel T penolong CD4+ dengan laju  $k_4$ , dikurangi laju kematian lisis makrofag terinfeksi secara kronis akibat CTL dengan laju  $k_5$ , dikurangi laju kematian makrofag terinfeksi secara alami dengan laju  $\mu_{MI}$ .

$$\frac{dM_A(t)}{dt} = \omega M_R(t) \left( \frac{T_B(t)}{T_B(t)+S_A} \right) - \mu_a M_A(t) - \mu_d M_A(t) \quad (3.3)$$

Perubahan populasi makrofag terinfeksi dari waktu ke waktu dipengaruhi oleh jumlah makrofag resting yang teraktivasi oleh sitokin dan banyaknya jumlah bakteri  $T_B$  pada laju  $\omega$ , dikurangi laju kematian alami makrofag yang teraktivasi dengan laju  $\mu_a$ , dikurangi makrofag teraktivasi yang mengalami perlambatan aktivasi akibat dari IL-4 serta deaktivasi karena IL-10 pada laju sebesar  $\mu_d$ .



$$\begin{aligned}
\frac{dT_{BE}(t)}{dt} = & Nk_2M_I(t) + k_4N_T \left( \frac{M_I(t)}{1 + b_0T_{BI}(t)} \right) \left( \frac{T(t)}{T(t) + A_T} \right) \\
& + k_5N_C M_I(t)C(t) + \gamma_4 T_{BE}(t) - \beta_i N_1 M_R(t) \left( \frac{T_{BE}(t)}{T_{BE}(t) + S_E} \right) \\
& - \gamma_5 T_{BE}(t) \left( \frac{C(t)}{C(t) + G_n} \right) - \gamma_1 T_{BE}(t) M_A(t) \\
& - \gamma_2 T_{BE}(t) M_R(t)
\end{aligned} \tag{3.4}$$

Perubahan populasi bakteri ekstraseluler dari waktu ke waktu dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain terjadinya peledakan makrofag terinfeksi sehingga melepaskan bakteri sebesar  $NM_I$  dengan laju  $k_2$ , ditambah pembunuhan makrofag terinfeksi oleh sel T CD4+ dengan laju  $k_4$  yang dapat melepaskan bakteri sebesar  $N_T$ , ditambah kematian makrofag terinfeksi karena pengaruh CTL sehingga melepaskan bakteri sebesar  $N_C$ , ditambah perkembangbiakan bakteri ekstraseluler pada laju  $\gamma_4$  dikurangi makrofag resting yang terinfeksi oleh bakteri  $T_{BE}$  pada laju  $\beta_i$ , dikurangi bakteri  $T_{BE}$  yang dibunuh oleh CTL dengan laju  $\gamma_5$ , dikurangi pembunuhan bakteri  $T_{BE}$  oleh makrofag teraktivasi dan makrofag resting dengan laju masing-masing  $\gamma_1$  dan  $\gamma_2$ .

$$\begin{aligned}
\frac{dT_{BI}(t)}{dt} = & \varphi N M_I(t) \left( 1 - \frac{T_{BI}^h(t)}{T_{BI}^h(t) + (N M_I(t))^h + E} \right) - k_2 N M_I(t) \\
& - k_3 N_2 M_I(t) \left( \frac{C(t)}{C(t) + G_n} \right) + \beta_i N_1 M_R(t) \left( \frac{T_{BE}(t) M_R(t)}{T_{BE}(t) + S_E} \right) \\
& - k_4 N_T \left( \frac{M_I(t)}{1 + b_0 T_{BI}(t)} \right) \left( \frac{T(t)}{T(t) + A_T} \right) - k_5 N_C M_I(t) C(t) \\
& - \mu_g T_{BI}(t)
\end{aligned} \tag{3.5}$$



Perubahan populasi bakteri intraseluler dari waktu ke waktu dipengaruhi oleh penggandaan dan pertumbuhan bakteri intraseluler menurut persamaan Hill dengan laju  $\varphi$ , dimana  $NM_I$  merupakan jumlah partikel  $T_{BI}$  didalam  $M_I$ . Dihambat oleh pindahnya bakteri intraseluler ke lingkungan ekstraseluler akibat dari peledakan makrofag terinfeksi pada laju  $k_2$ . Dikurangi laju kematian bakteri intraseluler sebanyak  $N_2$  oleh CTL dengan laju  $k_3$  dan tumbuh seiring adanya peningkatan bakteri intraseluler dengan laju maksimal  $\beta_i$  akibat dari interaksi bakteri intraseluler dan makrofag resting, kemudian dihambat lagi oleh hilangnya bakteri intraseluler sebanyak  $N_T$  akibat dari kematian makrofag terinfeksi karena sel T CD4+ dengan laju  $k_4$  dan hilangnya bakteri intraseluler sebanyak  $N_C$  akibat dari kematian makrofag terinfeksi karena CTL dengan laju  $k_5$  serta hilangnya bakteri intraseluler akibat dari aktivasi makrofag dengan laju  $\mu_g$ .

$$\frac{dT(t)}{dt} = S_1 + p_1 \left( \frac{M_A(t) + \alpha_T M_I(t)}{M_A(t) + \alpha_T M_I(t) + S_T} \right) T(t) - \mu_T T(t) \quad (3.6)$$

Perubahan sel T CD4+ dari waktu ke waktu tergantung pada jumlah sel T CD4+ yang berasal dari timus, ditambah proliferasi dan rekrutmen sel T CD4+ karena sitokin yang dilepaskan oleh makrofag terinfeksi dan makrofag teraktivasi pada laju  $p_1$ , dikurangi laju kematian sel T CD4+ dengan laju  $\mu_T$ .

$$\frac{dC(t)}{dt} = S_2 + p_2 \left( \frac{(M_A(t) + \alpha_T M_I(t))T(t)C(t)}{M_A(t) + \alpha_T M_I(t) + S_C} \right) - \mu_C T(t) \quad (3.7)$$

Perubahan populasi sel T CD8+/CTL dari waktu ke waktu tergantung pada banyaknya sel T CD8+ yang dihasilkan oleh timus ( $S_2$ ), ditambah proliferasi CTL dengan laju  $p_2$ , dimana proliferasi ini tergantung pada jumlah makrofag terinfeksi

dan makrofag teraktivasi serta jumlah sel T CD4+, dikurangi laju kematian alami CTL sebesar  $\mu_C$ .

### 3.3 Titik Keseimbangan dari Sistem Persamaan

Titik keseimbangan (titik tetap) dari sistem persamaan diperoleh jika

$$\frac{dM_R(t)}{dt} = 0, \frac{dM_I(t)}{dt} = 0, \frac{dM_A(t)}{dt} = 0, \frac{dT_{BE}(t)}{dt} = 0, \frac{dT_{BI}(t)}{dt} = 0, \frac{dT(t)}{dt} = 0, \frac{dC(t)}{dt} = 0.$$

Pada saat titik tetap diraih maka laju pertumbuhan dari tiap persamaan akan tetap. Dengan kata lain, tidak terdapat perubahan jumlah populasi lagi (keadaan setimbang). Notasi yang akan digunakan untuk titik tetap dari tiap persamaan adalah  $M_R^*, M_I^*, M_A^*, T_{BE}^*, T_{BI}^*, T^*, C^*$ .

#### a) Kasus I (Titik Keseimbangan Bebas Penyakit (*disease-free state*))

Pada kasus ini, merupakan kasus titik keseimbangan (titik tetap) non endemik yang menyatakan bahwa dalam keadaan setimbang pada saat belum ada infeksi. Dengan kata lain, tidak ada bakteri yang disajikan. Akibatnya tidak ada makrofag terinfeksi, makrofag teraktivasi, bakteri intraselular maupun ekstraselular.

Secara analitik untuk mencari titik tetap yang pertama (titik keseimbangan bebas penyakit), dimisalkan

$$M_I^* = 0, M_A^* = 0, T_{BE}^* = 0, T_{BI}^* \rightarrow$$

$$\beta_m + \alpha_r(0 + \omega_r(0)) + \sigma M_R(0) - \beta_i(0) - \alpha M_R - \omega M_R(0) + \mu_d(0) = 0$$

$$\beta_m - \alpha M_R = 0 \rightarrow \alpha M_R = \beta_m$$

$$M_R^* = \frac{\beta_m}{\alpha}$$

$$\rightarrow S_1 + p_1 \left( \frac{0 + \alpha_T(0)}{0 + \alpha_T(0) + S_T} \right) T - \mu_T T = 0$$

$$S_1 + p_1(0)T - \mu_T T = 0$$

$$S_1 - \mu_T T = 0$$

$$T^* = \frac{S_1}{\mu_T}$$

$$\rightarrow S_2 + p_2 \left( \frac{(M_A + \alpha_T M_I)TC}{M_A + \alpha_T M_I + S_C} \right) - \mu_C C = 0$$

$$S_2 + p_2 \left( \frac{(0 + \alpha_T(0))TC}{0 + \alpha_T(0) + S_C} \right) - \mu_C C = 0$$

$$S_2 + p_2(0) - \mu_C C = 0$$

$$S_2 - \mu_C C = 0$$

$$C^* = \frac{S_2}{\mu_C}$$

Pada kesetimbangan bebas penyakit (titik tetap pertama), populasi dari semua spesies yang tercakup pada interaksi sistem imun diperoleh:

$$(M_R^*, M_I^*, M_A^*, T_{BE}^*, T_{BI}^*, T^*, C^*) = \left( \frac{\beta_m}{\alpha}, 0, 0, 0, 0, \frac{S_1}{\mu_T}, \frac{S_1}{\mu_C} \right)$$

Dengan mensubstitusikan nilai parameter-parameter yang telah disajikan pada Tabel 3.1, maka titik kesetimbangan bebas penyakit tersebut menjadi:

$$(M_R^*, M_I^*, M_A^*, T_{BE}^*, T_{BI}^*, T^*, C^*) = (454545.45455, 0, 0, 0, 0, 10000, 147.05882353)$$

### b) Kasus II (Titik Kesetimbangan Endemik)

Pada titik kesetimbangan endemik, makrofag menjadi terinfeksi secara kronik, dan dalam hal ini makrofag resting bergerak/berubah menjadi teraktivasi.

Titik ekuilibrium pada titik kesetimbangan endemik ini mewakili dua

kemungkinan dari penyakit tersebut, yakni penyakit laten dan penyakit primer. Terjadinya infeksi secara laten, bergantung pada parameter-parameternya dan ketika parameter-parameternya bervariasi maka penyakit primerpun terjadi. Makrofag yang terinfeksi secara kronik meledak, melepaskan bakteri intraselular ke lingkungan ekstraselular, sehingga terjadi pengerahan sel T helper CD4+ dan CTL ke tempat yang terjadi infeksi.

Titik kesetimbangan endemik (titik tetap kedua) diberikan sebagai berikut:

$\bar{F} = (M_R^*, M_I^*, M_A^*, T_{BE}^*, T_{BI}^*, T^*, C^*)$ . Dimana perhitungan secara analitik (konstruksi secara detail titik tetap kedua berada di Lampiran 2).

Pada Persamaan 3.1 (Nilai ekuilibrium makrofag resting pada titik kesetimbangan endemik)

$$M_R^* = \frac{(\beta_m + \alpha_r(M_A^* + \omega_r M_I^*)) + \mu_d M_A^*}{\beta_i \left( \frac{T_{BE}^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) + \alpha + \omega \left( \frac{T_{BE}^* + T_{BI}^*}{T_{BE}^* + T_{BI}^* + S_A} \right) - \sigma \left( \frac{T_{BE}^* + T_{BI}^*}{T_{BE}^* + T_{BI}^* + S_R} \right)}$$

Persamaan model tersebut menunjukkan makrofag yang teraktivasi dan terinfeksi mendesak pertambahan dan rekrutmen dari makrofag resting. Pada denominator menunjukkan pertambahan bakteri intraselular dan ekstraselular yang berpengaruh negatif pada bertambahnya populasi makrofag resting. Apabila kedua populasi bakteri mendekati nol, makrofag resting menjadi tetap pada  $\frac{\beta_m}{\alpha}$ .

Pada Persamaan 3.2 (Nilai ekuilibrium makrofag terinfeksi pada titik kesetimbangan endemik)

$$M_I^* =$$

$$\frac{\beta_i T_{BE}^* M_R^*}{(T_{BE}^* + S_E) \left( k_2 + k_3 \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) + k_4 \left( \frac{1}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) + k_5 C^* + \mu_{MI} \right)}$$

Persamaan diatas menunjukkan interaksi makrofag resting dan bakteri intraselular yang mendukung bertambahnya makrofag yang terinfeksi. Kepadatan CTL dan sel T helper CD4+, ledakan dan laju kematian dari makrofag terinfeksi melawan bertambahnya makrofag yang terinfeksi. Meningkatnya ledakan dari makrofag terinfeksi ( $k_2$ ) dan laju kematian ( $\mu_{MI}$ ) pada makrofag yang terinfeksi juga menyebabkan berkurangnya populasi  $M_I$ .

Pada Persamaan 3.3 (Nilai ekuilibrium makrofag teraktivasi pada titik kesetimbangan endemik)

$$M_A^* = \frac{\omega M_R^* T_B^*}{(T_B^* + S_A)(\mu_\alpha + \mu_d)}$$

Pada model persamaan ini, selama infeksi TB adalah secara kronis maka menyebabkan peningkatan populasi pada bakteri intraselular dan ekstraselular yang mengakibatkan makrofag teraktivasi terdesak. Ketika  $T_B^* \rightarrow 0$  maka  $\frac{T_B^*}{T_B^* + S_A} \rightarrow 0$  dan ketika  $T_B^* \rightarrow \infty$  maka  $\frac{T_B^*}{T_B^* + S_A} \rightarrow 1$ .

Pada Persamaan 3.4 (Nilai ekuilibrium bakteri ekstraselular pada titik kesetimbangan endemik)

Nilai ekuilibrium bakteri ekstraselular dievaluasi dari

$$a_2 T_{BE}^{*2} + a_1 T_{BE}^* + a_0$$

dimana

$$a_0 = S_E N k_2 M_I^* + S_E k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) + S_E k_5 N_c M_I^* C^* \quad (i)$$

$$a_1 = \gamma_4 S_E - \gamma_5 S_E \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) - \gamma_1 M_A^* S_E - \gamma_2 M_R^* S_E - \beta_i N_1 M_R^* + N k_2 M_I^* +$$

$$k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) + k_5 N_c M_I^* C^* \quad (ii)$$



$$a_2 = \gamma_4 - \gamma_5 \left( \frac{c^*}{c^* + G_n} \right) - \gamma_1 M_A^* - \gamma_2 M_R^* \quad (iii)$$

sehingga

$$T_{BE}^* = \frac{-a_1 \pm \sqrt{a_1^2 - 4a_2a_0}}{2a_2}$$

dengan kata lain,

$$T_{BE}^*{}_1 = \frac{-a_1 - \sqrt{a_1^2 - 4a_2a_0}}{2a_2}$$

$$T_{BE}^*{}_2 = \frac{-a_1 + \sqrt{a_1^2 - 4a_2a_0}}{2a_2}$$

Nilai bakteri ekstraselular selalu lebih besar atau sama dengan ( $\geq$ ) nol. sehingga nilai yang memenuhi

$$T_{BE}^* = T_{BE}^*{}_2 = \frac{-a_1 + \sqrt{a_1^2 - 4a_2a_0}}{2a_2}$$

Kita dapat menarik kesimpulan pada persamaan (iii) bahwa, nilai bakteri ekstraselular bergantung pada nilai  $\gamma_4$ , karena  $\gamma_4$  merupakan kemampuan penggandaan (*multiplication*) yang berada di luar makrofag. Namun, aksi CTL dan makrofag teraktifasi membunuh secara langsung bakteri tersebut. Makrofag pemakan bakteri, menuju ke tempat yang terinfeksi, sehingga jumlah bakteri ekstraselular menjadi berkurang pada tempat yang terinfeksi tersebut.

Pada Persamaan 3.5 (Nilai ekuilibrium bakteri intraselular pada titik kesetimbangan endemik)

Nilai ekuilibrium dievaluasi dari

$$T_{BI}^{*3} + \lambda_2(T_{BI}^{*2}) + \lambda_1(T_{BI}^*) + \lambda_0 = 0$$

dimana

$$\lambda_0 = \frac{1}{\mu_g} \left( (NM_I^*)^2 + E \right) \left[ -\varphi NM_I^* + k_2 NM_I^* + \left( k_3 N_2 M_I^* \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) \right) \right. \\ \left. - \left( \beta_i NM_R^* \left( \frac{T_{BE}^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) \right) + \left( k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) \right) \right. \\ \left. + k_5 N_c M_I^* C^* \right]$$

$$\lambda_1 = (NM_I^*)^2 + E$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{\mu_g} \left[ (k_2 NM_I^*) + \left( k_3 N_2 M_I^* \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) \right) - \left( \beta_i NM_R^* \left( \frac{T_{BE}^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) \right) \right. \\ \left. + \left( k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) \right) + (k_5 N_c M_I^* C^*) \right]$$

sehingga nilai ekuilibrium dari bakteri intraselular adalah

$$T_{BI \ 1}^* = -\frac{1}{3}(\lambda_2) + (H + O)$$

$$T_{BI \ 2}^* = -\frac{1}{3}(\lambda_2) + (H + O) - \frac{1}{2}\sqrt{3(O - H)}$$

$$T_{BI \ 3}^* = -\frac{1}{3}(\lambda_2) + (H + O) + \frac{1}{2}\sqrt{3(O - H)}$$

dimana

$$H = \sqrt[3]{R + \sqrt{D}}, O = \sqrt[3]{R - \sqrt{D}}, D = Q^3 + R^2$$

$$R = \frac{9\lambda_1\lambda_2 - 27\lambda_0 - 2\lambda_2^3}{54}$$

$$Q = \frac{3\lambda_1 - \lambda_2^2}{9}$$

Secara matematik, benar bahwa tiga nilai tersebut yang mungkin memenuhi nilai dari titik kesetimbangan endemik bakteri intraselular, tetapi secara biologi tidak semua nilai tersebut memenuhi dan hanya mengambil nilai positif saja. Yaitu

$$T_{BI}^* = T_{BI-1}^*$$

Jumlah bakteri di dalam makrofag terinfeksi bergantung pada kemampuan patogen yang bertahan didalam makrofag terinfeksi dari mekanisme respon imun dan dikurangi oleh CTL yang membunuh partikel bakteri intraselular, sebagaimana pembunuhan secara apoptosis oleh sel T helper CD4+.

Pada Persamaan 3.6 (Nilai ekuilibrium sel T CD4+ pada titik kesetimbangan endemik)

$$T^* = \frac{S_1(M_A^* + \alpha_T M_I^*) + S_T S_1}{(\mu_T - p_1)(M_A^* + \alpha_T M_I^*) + \mu_T S_T}$$

Pada persamaan tersebut bahwa jumlah makrofag terinfeksi maupun makrofag teraktivasi bertambah, dan proliferasi dari sel T CD4+ bertambah pada nilai konstanta maksimum  $\frac{S_1}{\mu_T - p_1}$ , yang bergantung pada laju proliferasi  $p_1$  dan laju kematian  $\mu_T$ .

Pada Persamaan 3.7 (Nilai ekuilibrium sel T CD8+ pada titik kesetimbangan endemik)

$$C^* = \frac{S_2(M_A^* + \alpha_T M_I^*) + S_2 S_c}{(\mu_c - p_2 T^*)(M_A^* + \alpha_T M_I^*) + \mu_c S_c}$$

Nilai dari sel T CD8+ bergantung pada jumlah makrofag terinfeksi dan makrofag teraktivasi, yang juga bergantung pada  $M_R$  dan  $T_B$ , karena secara primer sel ini bertanggung jawab untuk mendorong dan menstimulasi semua sitokin secara bersama-sama dalam membentuk respon imun. Sitokin menstimulasi sel T CD8+.

Hal itu juga bergantung pada populasi sel T, yang mendukung pertumbuhan populasi sel T CD8+.

Dengan menggunakan bantuan MATLAB sebagaimana yang terlampir pada Lampiran 5, diperoleh nilai titik kesetimbangan kedua dari sistem persamaan yaitu

$$(M_R^*, M_I^*, M_A^*, T_{BE}^*, T_{BI}^*, T^*, C^*) = (25150, 12662, 1902, 1075400, 738800, 10115, 336.7630)$$

### 3.4 Kestabilan Titik Kesetimbangan

Linierisasi sistem Persamaan (3.1) sampai dengan (3.7) menggunakan matriks Jacobian dimana perhitungan secara analitik matriks Jacobian sebagaimana yang terlampir pada Lampiran 3.

Untuk memeriksa kestabilan titik kesetimbangan pertama dan kedua pada sistem Persamaan (3.1) sampai dengan (3.7) yaitu dengan mensubstitusi titik tetap pertama dan titik tetap kedua pada matriks Jacobian.

#### a) Matriks Jacobian dari titik tetap pertama

$$(M_R^*, M_I^*, M_A^*, T_{BE}^*, T_{BI}^*, T^*, C^*) = (454545.45455, 0, 0, 0, 0, 10000, 147.05882353)$$

$$J_1 = \begin{pmatrix} \alpha_1 & \alpha_2 & \alpha_3 & \alpha_4 & \alpha_5 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_6 & 0 & \alpha_7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \alpha_8 & \alpha_9 & \alpha_{10} & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_{11} & 0 & \alpha_{12} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_{13} & 0 & \alpha_{14} & \alpha_{15} & 0 & 0 \\ 0 & \alpha_{16} & \alpha_{17} & 0 & 0 & \alpha_{18} & 0 \\ 0 & \alpha_{19} & \alpha_{20} & 0 & 0 & 0 & \alpha_{21} \end{pmatrix}$$

dimana

$$\alpha_1 = -0.011$$

$$\alpha_2 = \alpha_r \omega_r = 0.02$$

$$\alpha_3 = \alpha_r + \mu_d = 0.35$$

$$\alpha_4 = \frac{\sigma M_R}{S_R} - \frac{\beta_i M_R}{S_E} - \frac{\omega M_R}{S_A} = -0.2045454545454545$$

$$\alpha_5 = \frac{\sigma M_R}{S_R} - \frac{\omega M_R}{S_A} = -0.02272727272727$$

$$\alpha_6 = -k_2 - \frac{k_3 C}{C + G_n} - \frac{k_4 T}{T + A_T} - k_5 C - \mu_{MI} = -0.41127218848553$$

$$\alpha_7 = \frac{\beta_i M_R}{S_E} = 0.18181818181818$$

$$\alpha_8 = -(\mu_A + \mu_d) = -0.311$$

$$\alpha_9 = \frac{\omega M_R}{S_A} = 0.02727272727273$$

$$\alpha_{10} = \frac{\omega M_R}{S_A} = 0.02727272727273$$

$$\alpha_{11} = Nk_2 + \frac{k_4 N_T T}{T + A_T} + k_5 N_C C = 20.01088689839572$$

$$\alpha_{12} = \gamma_4 - \frac{\beta_i N_1 M_R}{S_E} - \frac{\gamma_5 C}{C + G_n} - \gamma_2 M_R = -4.56011072261072$$

$$\alpha_{13} = \varphi N - Nk_2 - \frac{k_3 N_2 C}{C + G_n} - \frac{k_4 N_T T}{T + A_T} - k_5 N_C C = -4.48911262083505$$

$$\alpha_{14} = \frac{\beta_i N_1 M_R}{S_E} = 4.54545454545455$$

$$\alpha_{15} = -\mu_g = -0.011$$

$$\alpha_{16} = \frac{p_1 \alpha_T T}{S_T} = 0.00006$$

$$\alpha_{17} = \frac{p_1 T}{S_T} = 0.0002$$



$$\alpha_{18} = -\mu_T = -0.01$$

$$\alpha_{19} = \frac{p_2 \alpha_T TC}{S_C} = 0.00294117647059$$

$$\alpha_{20} = \frac{p_2 TC}{S_C} = 0.00980392156863$$

$$\alpha_{21} = -\mu_C = -0.68$$

b) Matriks Jacobian dari titik tetap kedua ( $M_R^*$ ,  $M_I^*$ ,  $M_A^*$ ,  $T_{BE}^*$ ,  $T_{BI}^*$ ,  $T^*$ ,  $C^*$ )

$$= (25150, 12662, 1902, 1075400, 738800, 10115, 336.7630)$$

$$J_2 = \begin{pmatrix} \beta_1 & \beta_2 & \beta_3 & \beta_4 & \beta_5 & 0 & 0 \\ \beta_6 & \beta_7 & 0 & \beta_8 & \beta_9 & \beta_{10} & \beta_{11} \\ \beta_{12} & 0 & \beta_{13} & \beta_{14} & \beta_{15} & 0 & 0 \\ \beta_{16} & \beta_{17} & \beta_{18} & \beta_{19} & \beta_{20} & \beta_{21} & \beta_{22} \\ \beta_{23} & \beta_{24} & 0 & \beta_{25} & \beta_{26} & \beta_{27} & \beta_{28} \\ 0 & \beta_{29} & \beta_{30} & 0 & 0 & \beta_{31} & 0 \\ 0 & \beta_{32} & \beta_{33} & 0 & 0 & \beta_{34} & \beta_{35} \end{pmatrix}$$

dimana

$$\beta_1 = -5212,769711$$

$$\beta_{18} = -0,134425000$$

$$\beta_2 = 0.02$$

$$\beta_{19} = -0,1730771745$$

$$\beta_3 = 0.35$$

$$\beta_{20} = -0,2111081285 \times 10^{-18}$$

$$\beta_4 = -0.002374263043$$

$$\beta_{21} = 0,1387255605 \times 10^{-17}$$

$$\beta_5 = -0.00003868515084$$

$$\beta_{22} = -510,6036317$$

$$\beta_6 = 0.2072660692$$

$$\beta_{23} = 5,181651730$$

$$\beta_7 = -0.4116230430$$

$$\beta_{24} = 30,91548338$$

$$\beta_8 = 0.002335577893$$

$$\beta_{25} = 0,05838944733$$

$$\beta_9 = -0.001440352339$$

$$\beta_{26} = -0,2160214197$$

$$\beta_{10} = -0.1281130552 \times 10^{-7}$$

$$\beta_{27} = -0,1387255605 \times 10^{-17}$$

$$\begin{aligned}
\beta_{11} &= -0.02342558573 & \beta_{28} &= -0,9369614280 \\
\beta_{12} &= 0,02351827845 & \beta_{29} &= 0,00006023132383 \\
\beta_{13} &= -0,289 & \beta_{30} &= 0.0002007710794 \\
\beta_{14} &= 0,00007044131746 & \beta_{31} &= -0,009886419651 \\
\beta_{15} &= 0,00007044131746 & \beta_{32} &= 0,006761227101 \\
\beta_{16} &= 5,168209230 & \beta_{33} &= 0.02253742367 \\
\beta_{17} &= 20,02492046 & \beta_{34} &= 0,01274988639 \\
& & \beta_{35} &= -0,2970449225
\end{aligned}$$

Nilai eigen dari matriks Jacobian dapat ditentukan dengan menyelesaikan persamaan karakteristik  $|\lambda I - J_i| = 0$ ,  $i = 1,2$

**a) Nilai eigen dari matriks Jacobian untuk titik tetap pertama**

$$\begin{aligned}
& (M_R^*, M_I^*, M_A^*, T_{BE}^*, T_{BI}^*, T^*, C^*) = \\
& (454545.45455, 0, 0, 0, 0, 10000, 147.05882353)
\end{aligned}$$

Nilai eigen diperoleh dengan cara menyelesaikan  $|\lambda I - J_1| = 0$ , dimana perhitungannya menggunakan bantuan program maple sebagaimana yang terlampir pada Lampiran 6.

$$(\lambda + \alpha_1)(\lambda + \alpha_{15})(\lambda + \alpha_8)(\lambda + \alpha_{18})(\lambda + \alpha_{21})$$

$$(\lambda^2 - (\alpha_{12} + \alpha_6)\lambda + \alpha_{12}\alpha_6 - \alpha_7\alpha_{11}) = 0$$

sehingga

$$\lambda_1 = -\alpha_1, \lambda_2 = -\alpha_{15}, \lambda_3 = -\alpha_8, \lambda_4 = -\alpha_{18}, \lambda_5 = -\alpha_{21},$$

$$\text{dan } \lambda^2 - (\alpha_{12} + \alpha_6)\lambda + \alpha_{12}\alpha_6 - \alpha_7\alpha_{11}$$

selanjutnya akan lebih mudah menentukan kestabilan dengan mensubstitusikan nilai parameter-parameter yang disajikan pada Tabel 3.1, (sebagaimana yang terlampir pada Lampiran 7) diperoleh,

$$(\lambda + 0,011)(\lambda + 0,011)(\lambda + 0,311)(\lambda + 0,01)(\lambda + 0,68)(\lambda + 5,303768525) \\ (\lambda - 0,3323856135) = 0$$

sehingga

$$\lambda_1 = -0,011, \lambda_2 = -0,011, \lambda_3 = -0,311, \lambda_4 = -0,01, \lambda_5 = -0,68, \\ \lambda_6 = -5,303768525, \lambda_7 = 0,3323856135$$

Dari sini dapat diketahui bahwa titik tetap pertama tidak stabil karena ada nilai eigen yang bernilai positif.

Untuk menstabilkan titik tetap tersebut agar semua nilai eigen bernilai negatif maka menurut kriteria *Routh-Hurwitz* (May, 1973)

Jika  $A$  adalah matriks  $m \times m$ , persamaan nilai eigen  $z$  adalah persamaan polinomial orde- $m$

$$P(z) = z^n + a_1z^{n-1} + a_2z^{n-2} + a_3z^{n-3} + \dots + a_m = 0$$

Dimana koefisien  $a_1, a_2, \dots, a_m$  adalah bilangan real. Diasumsikan bahwa  $a_m \neq 0$  ketika selain  $z = 0$  akan menjadi solusi, dan polinomial dapat difaktorkan dengan memberikan polinomial orde  $m - 1$  dan  $a_m \neq 0$ . Untuk menjamin kestabilan lokal, kondisi dibutuhkan pada koefisien  $a_1, a_2, \dots, a_m$  sedemikian hingga akar dari  $P(z)$  mempunyai bagian real yang negatif. Hal ini benar ketika mengikuti kondisi *Routh-Hurwitz*.

$$D_1 = a_1 > 0$$

$$D_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ 1 & a_2 \end{vmatrix} > 0$$

$$D_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ 1 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} > 0$$

$$D_4 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & a_7 \\ 1 & a_2 & a_4 & a_6 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 \\ 0 & 1 & a_2 & a_4 \end{vmatrix} > 0$$

$$D_4 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & a_7 & a_9 \\ 1 & a_2 & a_4 & a_6 & a_8 \\ 0 & a_2 & a_3 & a_5 & a_7 \\ 0 & 1 & a_2 & a_4 & a_6 \\ 0 & 0 & a_1 & a_3 & a_5 \end{vmatrix} > 0$$

Hal ini juga serupa dengan (Murray, 2002):

$m = 2$	$a_1 > 0; a_2 > 0$
$m = 3$	$a_1 > 0; a_3 > 0; a_1 \cdot a_2 - a_3 > 0$
$m = 4$	$a_1 > 0; a_3 > 0; a_4 > 0; a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 > a_3^2 + a_1^2 \cdot a_4$
$m = 5$	$a_n > 0 [n = 1,2,3,4,5]$ $a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 > a_3^2 + a_1^2 \cdot a_4$ $(a_1 \cdot a_4 - a_5)(a_1 \cdot a_2 \cdot a_3 - a_3^2 - a_1^2 \cdot a_4) > a_5(a_1 \cdot a_2 - a_3)^2 + a_1 a_5^2$

sehingga untuk kasus ini pada

$$\lambda^2 - (\alpha_{12} + \alpha_6)\lambda + \alpha_{12}\alpha_6 - \alpha_7\alpha_{11} = 0 \text{ bernilai negatif jika}$$

$$(i) -(\alpha_{12} + \alpha_6) > 0$$

$$(ii) \alpha_{12}\alpha_6 - \alpha_7\alpha_{11} > 0$$

**Pada kasus (i)**

$$-(\alpha_{12} + \alpha_6) > 0 \text{ maka}$$

$$-(\gamma_4 - \frac{\beta_i N_1 M_R}{S_E} - \frac{\gamma_5 C}{C + G_n} - \gamma_2 M_R - k_2 - \frac{k_3 C}{C + G_n} - \frac{k_4 T}{T + A_T} - k_5 C - \mu_{MI}) > 0$$

$$\text{sehingga } \frac{\beta_i N_1 M_R}{S_E} + \frac{\gamma_5 C}{C + G_n} + \gamma_2 M_R + k_2 \frac{k_3 C}{C + G_n} + \frac{k_4 T}{T + A_T} + k_5 C + \mu_{MI} > \gamma_4,$$

**Pada kasus (ii)**

$$\alpha_{12}\alpha_6 - \alpha_7\alpha_{11} > 0 \text{ maka } \alpha_{12}\alpha_6 > \alpha_7\alpha_{11}$$

Dengan sedikit manipulasi aljabar dari ketaksamaan tersebut, yakni  $\alpha_{12}\alpha_6 >$

$\alpha_7\alpha_{11}$ , pada sisi kanan dan kiri dikalikan  $\frac{1}{\alpha_{12}\alpha_6}$  menjadi

$$\frac{\alpha_{12}\alpha_6}{\alpha_{12}\alpha_6} > \frac{\alpha_7\alpha_{11}}{\alpha_{12}\alpha_6} \text{ akhirnya diperoleh}$$

$$1 > \frac{\alpha_7\alpha_{11}}{\alpha_{12}\alpha_6} \text{ Artinya } \frac{\alpha_7\alpha_{11}}{\alpha_{12}\alpha_6} < 1.$$

Dalam hal ini merupakan *basic reproduction number* atau  $R_0$ . Seperti didefinisikan sebagai berikut:

**Definisi:**

*Basic Reproduction ratio* ( $R_0$ ) pada kasus infeksi TB adalah banyaknya makrofag terinfeksi baru yang muncul akibat satu makrofag terinfeksi masuk dalam makrofag yang tidak terinfeksi (Magombedze dkk,2006).

*Basic Reproduction ratio* merupakan sebuah batas ambang penting dalam epidemiologi. Ambang batas ini menentukan apakah akan terjadi wabah atau tidak apabila dalam populasi virgini terjadi suatu infeksi. Ketika  $R_0 < 1$ , infeksi lenyap (gagal) / epidemi berakhir, dan ketika  $R_0 > 1$ , infeksi terjadi dan dapat menjadi infeksi aktif atau infeksi laten dikarenakan masuknya makrofag terinfeksi tadi ke dalam makrofag yang tidak terinfeksi. Dari sini, mengontrol adanya infeksi sangat dibutuhkan agar infeksi tidak akan berlanjut dengan cara membuat  $R_0$  menjadi kurang dari 1.



Dimana pada kasus ini, diperoleh  $R_0 = \frac{\alpha_7 \alpha_{11}}{\alpha_{12} \alpha_6}$  yang mana  $R_0 < 1$ . Agar

lebih jelas, dengan mengembalikan  $\alpha_6, \alpha_7, \alpha_{11}, \alpha_{12}$  pada permisalan awal. Maka

$$R_0 = \frac{\frac{\beta_i N_1 M_R}{S_E} \left( N k_2 + \frac{k_4 N_T T}{T + A_T} + k_5 N_C C \right)}{\left( k_2 + \frac{k_3 C}{C + G_n} + \frac{k_4 T}{T + A_T} + k_5 C + \mu_{MI} \right) \left( \frac{\beta_i N_1 M_R}{S_E} + \frac{\gamma_5 C}{C + G_n} + \gamma_2 M_R - \gamma_4 \right)}$$

Untuk  $R_0$  positif harus,  $\frac{\beta_i N_1 M_R}{S_E} + \frac{\gamma_5 C}{C + G_n} + \gamma_2 M_R > \gamma_4$

Apabila mensubstitusikan nilai  $R_0$  menggunakan nilai parameter yang telah disajikan pada Tabel 3.1 maka diperoleh  $R_0 = 1,9390379337$  atau  $R_0 > 1$ , yang berarti infeksi dapat berlanjut atau titik kesetimbangan pada titik tetap pertama tidak stabil. Oleh karena itu, diperlukan sedikit analisa dari  $R_0$  tersebut agar titik tetap pertama menjadi stabil sehingga infeksi tidak akan berlanjut. Dimana deskripsi analisa dari  $R_0$  adalah sebagai berikut:

*Reproduction rate* ( $R_0$ ) di atas bergantung pada beberapa faktor ( $\beta_i, \beta_m, \mu_C, S_2, G_n, \mu_T, A_T, \alpha, k_2, k_4, N, N_T, k_5, N_C, \gamma_4, N_1, \gamma_2, \gamma_5$ ). Laju dari penggandaan (*multiplication*) bakteri ( $\gamma_4$ ) di luar makrofag berpengaruh pada semua laju keberlangsungan penyakit. *Semakin kecil nilai  $\gamma_4$  (dengan catatan bernilai (-)), maka  $R_0$  semakin besar.* Nilai dari  $R_0$  secara signifikan tidak hanya bergantung pada nilai  $\gamma_4$  tetapi juga pada kematian alami makrofag terinfeksi dengan laju  $\mu_{MI}$ . Keberadaan bakteri yang secara langsung dibunuh oleh CTL juga berpengaruh secara signifikan pada  $R_0$ . Kemampuan CTL melisis makrofag terinfeksi dan membunuh bakteri intraselular dan ekstraselular mengurangi laju keberlangsungan penyakit yang ditandai dengan laju  $\gamma_2, k_3, \gamma_5$ . Dari sini juga dapat ditarik kesimpulan dari persamaan  $R_0$  tersebut bahwa  $R_0$  dipengaruhi pada

laju makrofag terinfeksi meledak dan mati, sedangkan laju makrofag resting yang terinfeksi dapat mempengaruhi keberlangsungan penyakit.

Dengan mengganti nilai parameter  $\gamma_4$  (laju penggandaan bakteri) menjadi lebih kecil dan nilai  $\mu_{MI}, \gamma_2, k_3, \gamma_5$  menjadi lebih besar agar laju dari kematian makrofag terinfeksi dan bakteri yang dibunuh oleh makrofag resting dan sel T memiliki laju yang lebih besar sehingga infeksi menjadi lenyap, dimisalkan  $\gamma_4 = 0.01, \mu_{MI} = 0.0895, \gamma_2 = 0.00000795, k_3 = 0.00000125, \gamma_5 = 0.9$  dan mensubstitusikannya pada persamaan  $R_0$  maka diperoleh  $R_0 = 0,8988642376$  akibatnya  $R_0 < 1$  sehingga titik tetap yang pertama menjadi stabil lokal.

**b) Nilai eigen dari matriks Jacobian untuk titik tetap kedua**

$$(M_R^*, M_I^*, M_A^*, T_{BE}^*, T_{BI}^*, T^*, C^*) = (25150, 12662, 1902, 1075400, 738800, 10115, 336.7630)$$

Nilai eigen diperoleh dengan cara menyelesaikan  $|\lambda I - J_2| = 0$ , dimana perhitungannya menggunakan bantuan program maple sebagaimana yang terlampir pada Lampiran 8.

Untuk lebih mudah menentukan kestabilan dengan mensubstitusikan semua nilai parameter yang disajikan Tabel 3.1. sehingga diperoleh nilai eigen sebagai berikut.

$$(\lambda + 5212,795773)(\lambda + 0,5161946534)(\lambda + 0,009936305914)$$

$$(\lambda^2 + 0,5167543302\lambda + 0,07473870555)$$

$$(\lambda^2 + 0,2637677072\lambda + 0,03850244649) = 0$$

sehingga

$$\lambda_1 = -5212,795773$$

$$\lambda_2 = -0,5161946534$$

$$\lambda_3 = -0,009936305914$$

$$\lambda_4 = -0,2583771651 + 0,08933054405I$$

$$\lambda_5 = -0,2583771651 - 0,08933054405I$$

$$\lambda_6 = -0,1318838536 + 0,1452896956I,$$

$$\lambda_7 = -0,1318838536 - 0,1452896956I$$

Karena semua nilai eigen sudah bernilai negatif pada bagian riilnya maka titik tetap kedua adalah stabil asimtotik. Ini berarti, dengan nilai awal yang berbeda-

beda akan didapatkan kekonvergenan nilai  $M_R^* = 25150 \frac{\text{sel}}{\text{mililiter}}$ ,  $M_I^* =$

$$12662 \frac{\text{sel}}{\text{mililiter}}, M_A^* = 1902 \frac{\text{sel}}{\text{mililiter}}, T_{BE}^* = 1075400 \frac{\text{sel}}{\text{mililiter}}, T_{BI}^* =$$

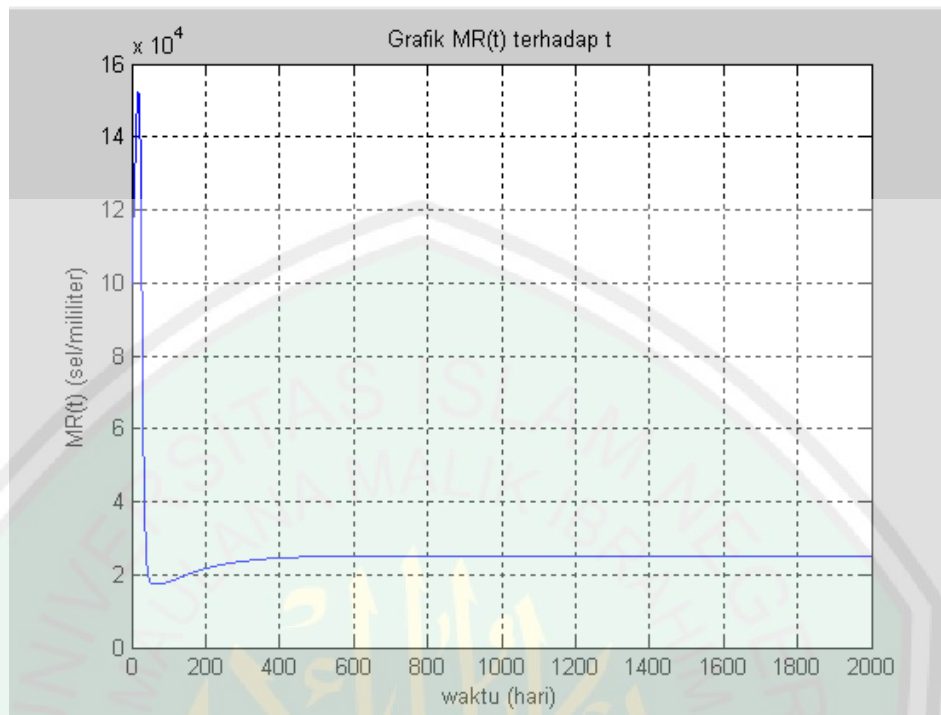
$$738800 \frac{\text{sel}}{\text{mililiter}}, T^* = 10115 \frac{\text{sel}}{\text{mililiter}}, C^* = 336.7630 \frac{\text{sel}}{\text{mililiter}}$$

### 3.5 Simulasi Numerik dan Analisa Perilaku Grafik dari Model

Dengan menggunakan bantuan program MATLAB, dibawah ini dipaparkan grafik solusi dari sistem persamaan diferensial biasa nonlinier orde satu pada sistem Persamaan (3.1) sampai dengan (3.7). Dengan memberikan kondisi awal berdasarkan tulisan Magombedze dkk (2006) yaitu:

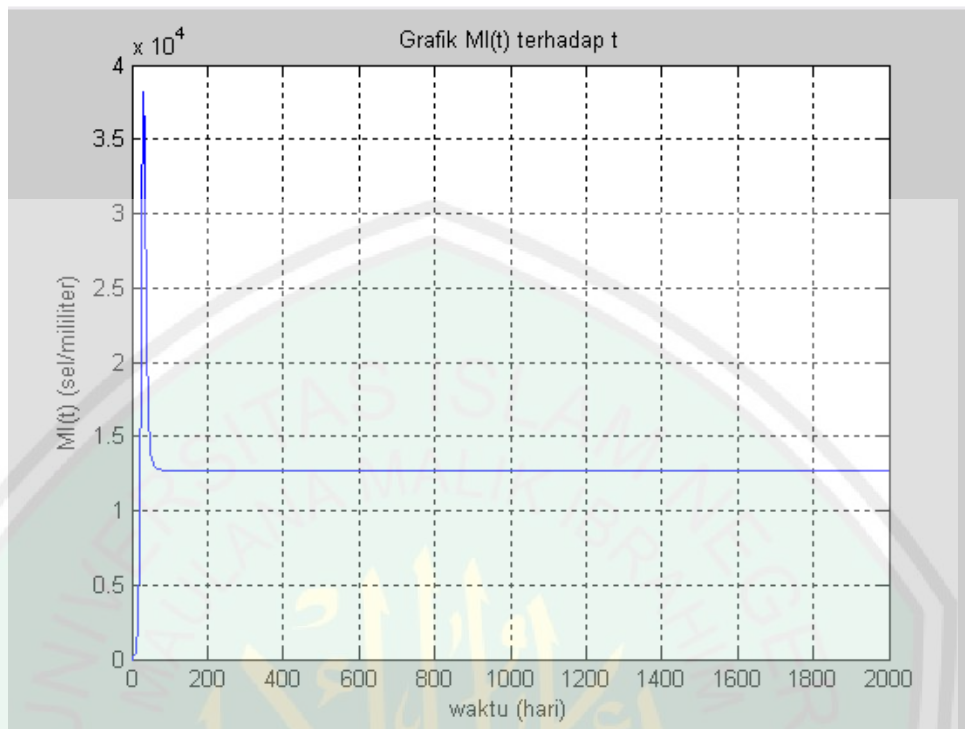
$$M_R(0) = 100000, M_I(0) = 0, M_A(0) = 0, T_{BE}(0) = 2000, T_{BI}(0) = 0, T(0) =$$

500,  $C(0) = 140$ , dimana nilai parameter-parameternya seperti yang disajikan pada Tabel 3.1



**Gambar 3.2. Grafik Populasi Makrofag Resting ( $M_R$ ) Terhadap Waktu  $t$**

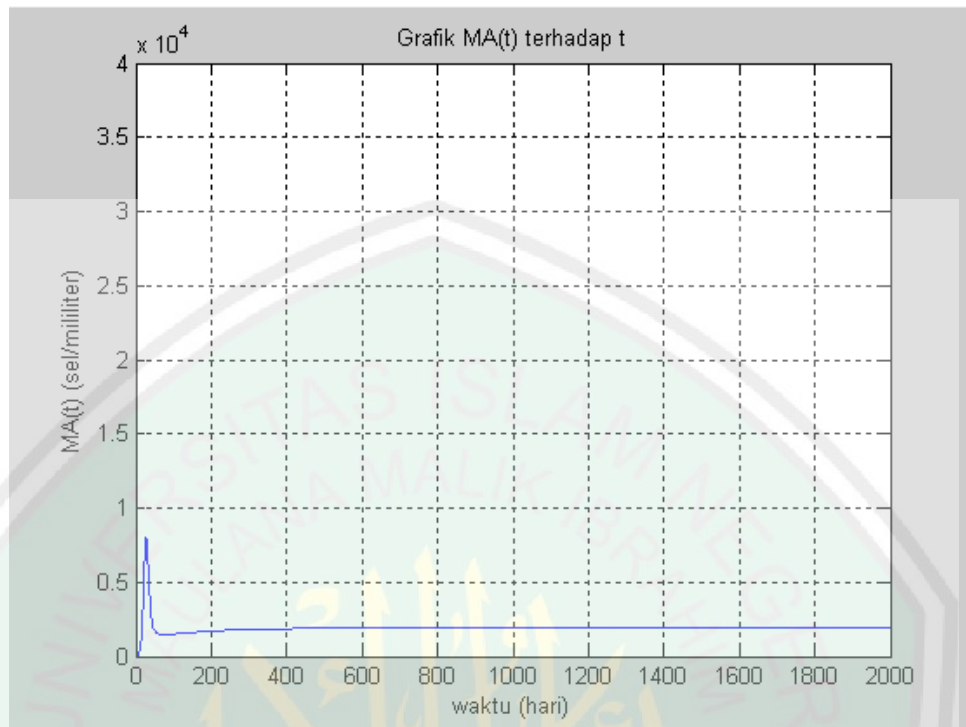
Gambar 3.2 tersebut menggambarkan tentang perubahan jumlah populasi makrofag resting selama 2000 hari dengan nilai parameter yang telah disajikan pada Tabel 3.1. Dengan nilai awal  $M_R(0) = 100000$  sel/mililiter grafik jumlah populasi  $M_R$  bergerak naik sampai mencapai puncak maksimal sebesar 152100 sel/mililiter. Kemudian pada saat setelah 400 hari, grafik berangsur-angsur konstan sampai pada akhirnya mencapai nilai konstan sebanyak 25150 sel/mililiter, yang artinya laju pertumbuhan dari makrofag resting adalah tetap yaitu sebesar 25150 sel/mililiter dan dalam hal ini, sudah tidak terdapat perubahan populasi lagi.



**Gambar 3.3. Grafik Populasi Makrofag Terinfeksi ( $M_I$ ) Terhadap Waktu  $t$**

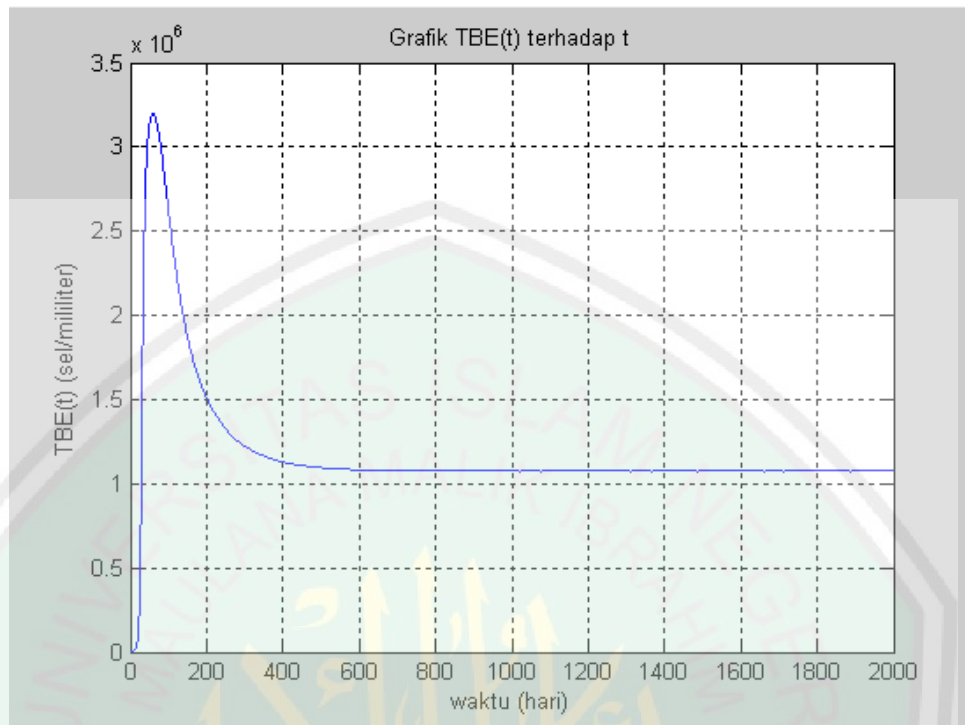
Gambar 3.3 tersebut menggambarkan tentang perubahan jumlah populasi makrofag terinfeksi selama 2000 hari dengan nilai parameter yang telah disajikan pada Tabel 3.1. Dengan nilai awal  $M_R(0) = 0$  sel/mililiter, pada 100 hari pertama grafik jumlah populasi  $M_I$  bergerak naik sampai mencapai puncak maksimal sebesar 38100 sel/mililiter. Kemudian grafik turun drastis sampai pada akhirnya konstan dengan jumlah populasi  $M_I$  sebanyak 12662 sel/mililiter yang berarti laju pertumbuhan dari makrofag terinfeksi adalah tetap sebesar 12662 sel/mililiter dan dalam hal ini sudah tidak terdapat perubahan populasi lagi.





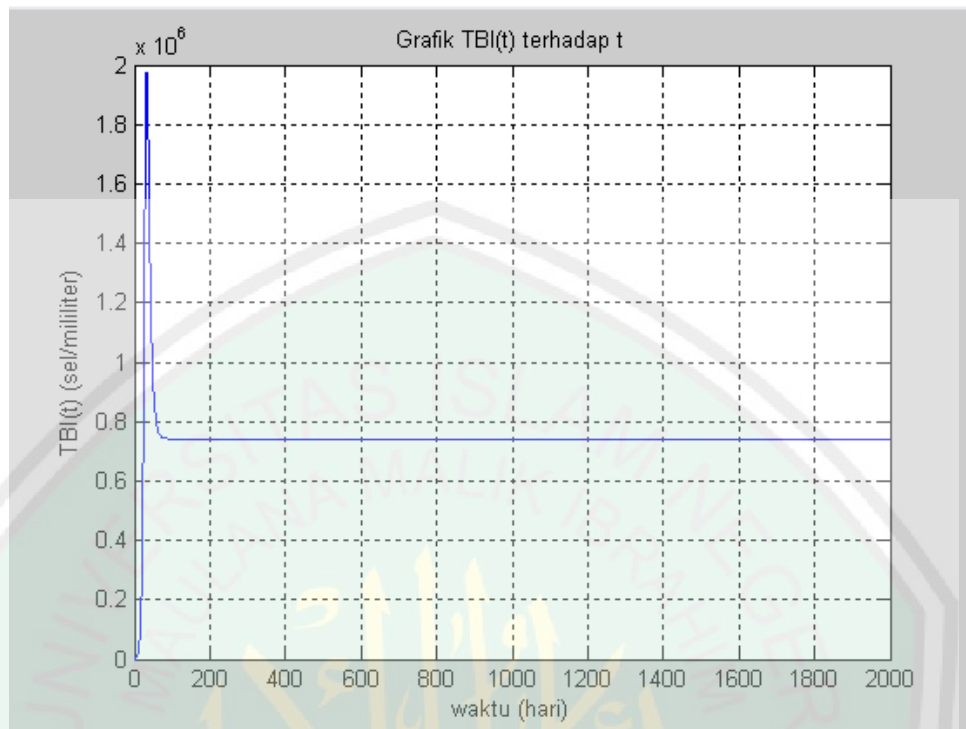
**Gambar 3.4. Grafik Populasi Makrofag Teraktifasi ( $M_A$ ) Terhadap Waktu  $t$**

Gambar 3.4 tersebut menggambarkan tentang perubahan jumlah populasi makrofag teraktifasi selama 2000 hari dengan parameter yang telah disajikan pada Tabel 3.1. Dengan nilai awal  $M_A(0) = 0$  sel/mililiter, pada 100 hari pertama grafik jumlah populasi  $M_A$  bergerak naik sampai mencapai puncak maksimal sebesar 8000 sel/mililiter. Kemudian grafik turun dengan cepat dan berangsur-angsur konstan setelah 200 hari dengan jumlah populasi  $M_A$  sebanyak 1902 sel/mililiter yang berarti laju pertumbuhan dari makrofag teraktivasi adalah tetap sebesar 1902 sel/mililiter dan dalam hal ini sudah tidak terdapat perubahan populasi lagi.



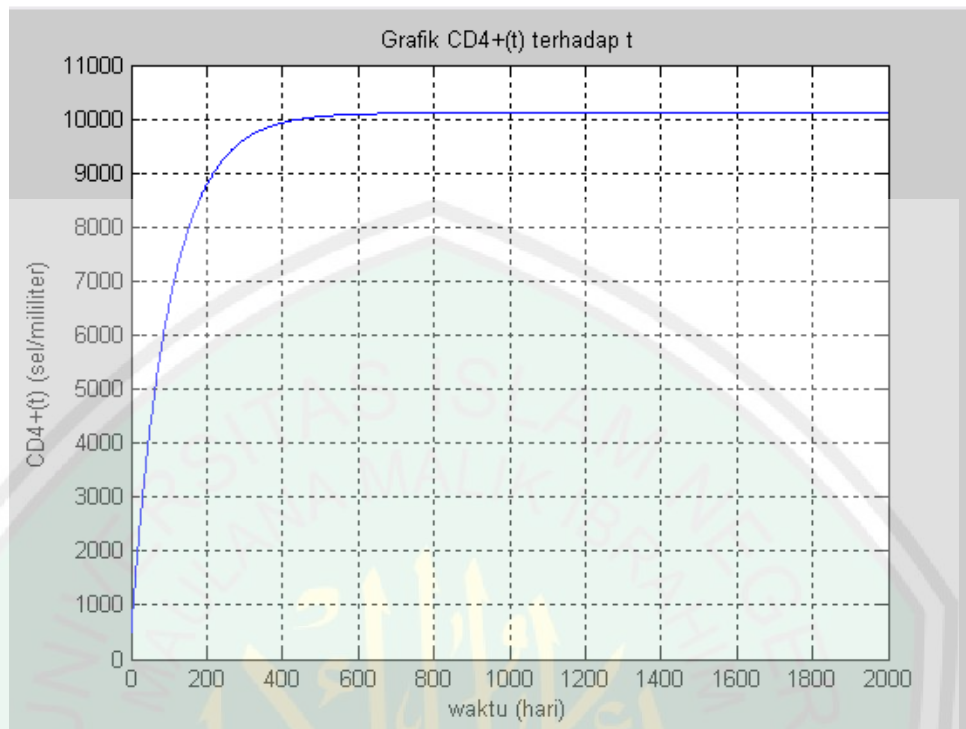
Gambar 3.5. Grafik Populasi Bakteri Ekstraselular ( $T_{BE}$ ) Terhadap Waktu  $t$

Gambar 3.5 tersebut menggambarkan tentang perubahan jumlah populasi bakteri ekstraselular selama 2000 hari dengan parameter yang telah disajikan pada Tabel 3.1. Dengan nilai awal  $T_{BE}(0) = 2000$  sel/mililiter, pada 200 hari pertama jumlah populasi bakteri ekstraselular mengalami perubahan dinamik secara cepat yakni grafik bergerak naik sampai mencapai puncak maksimal sebesar 3195200 sel/mililiter. Kemudian grafik menurun dimana turunya jumlah populasi  $T_{BE}$  dipengaruhi oleh meningkatnya  $M_R$  dan  $M_A$ . Setelah itu grafik berangsur-angsur konstan setelah 400 hari dengan jumlah populasi  $T_{BE}$  sebanyak 1075400 sel/mililiter yang berarti laju pertumbuhan dari bakteri ekstraselular adalah tetap sebesar 1075400 sel/mililiter dan dalam hal ini sudah tidak terdapat perubahan populasi lagi.



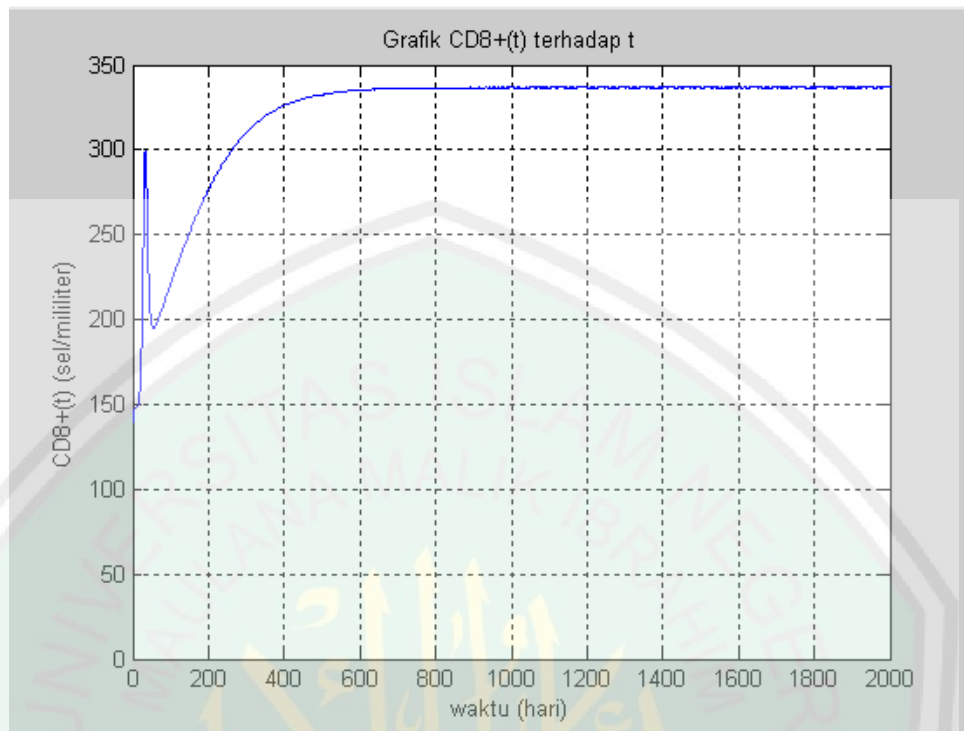
Gambar 3.6. Grafik Populasi Bakteri Intraselular ( $T_{BI}$ ) Terhadap Waktu  $t$

Gambar 3.6 tersebut menggambarkan tentang perubahan jumlah populasi bakteri intraselular selama 2000 hari dengan parameter yang telah disajikan pada Tabel 3.1. Dengan nilai awal  $T_{BI}(0) = 0$  sel/mililiter, pada 200 hari pertama jumlah populasi bakteri intraselular mengalami perubahan dinamik secara cepat yakni grafik bergerak naik sampai mencapai puncak maksimal sebesar 1971100 sel/mililiter. Kemudian grafik menurun secara drastis dimana turunnnya jumlah populasi  $T_{BI}$  dipengaruhi oleh meningkatnya  $M_R$  dan  $M_A$ . Setelah itu, grafik jumlah populasi  $T_{BI}$  berangsur-angsur konstan setelah 100 hari dengan jumlah populasi  $T_{BI}$  sebanyak 738800 sel/mililiter yang berarti laju pertumbuhan dari bakteri intraselular adalah tetap sebesar 738800 sel/mililiter dan dalam hal ini sudah tidak terdapat perubahan populasi lagi.



**Gambar 3.7. Grafik Populasi Sel T CD4+ ( $T$ ) Terhadap Waktu  $t$**

Gambar 3.7 tersebut menggambarkan tentang perubahan jumlah populasi sel T CD4+ selama 2000 hari dengan parameter yang telah disajikan pada Tabel 3.1. Grafik perubahan jumlah populasi sel T CD4+ ini merupakan grafik pada saat terjadi infeksi laten. Dengan nilai awal  $T(0) = 500$  sel/mililiter, grafik bergerak naik sampai menuju konstan yakni setelah 400 hari dengan jumlah populasi sel T CD4+ sebanyak 10115 sel/mililiter yang berarti laju pertumbuhan dari sel T CD4+ adalah tetap sebesar 10115 sel/mililiter dan dalam hal ini sudah tidak terdapat perubahan populasi lagi.

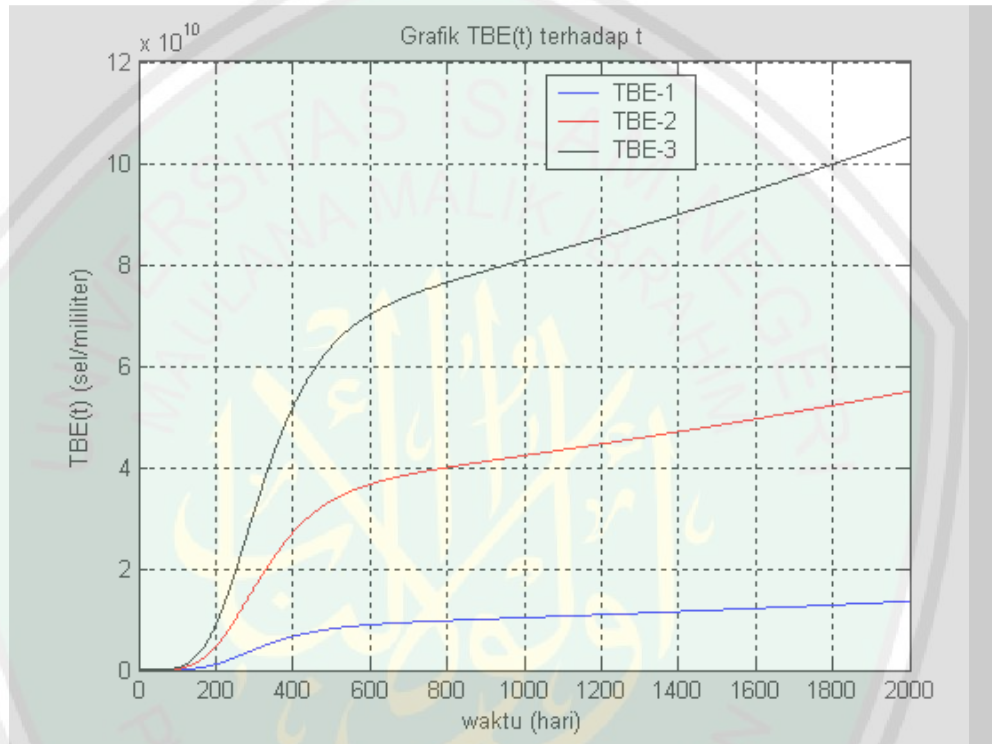


**Gambar 3.8. Grafik Populasi Sel T CD8+/CTLs ( $C$ ) Terhadap Waktu  $t$**

Gambar 3.8 tersebut menggambarkan tentang perubahan jumlah populasi sel T CD8+ selama 2000 hari dengan parameter yang telah disajikan pada Tabel 3.1. Grafik perubahan jumlah populasi sel T CD8+ ini merupakan grafik pada saat terjadi infeksi laten. Dengan nilai awal  $C(0) = 140$  sel/mililiter, pada 200 hari pertama jumlah populasi bakteri grafik CTL mengalami dinamika perubahan yang sangat cepat yakni grafik bergerak naik sampai mencapai puncak maksimal sebesar 300 sel/mililiter. Kemudian grafik menurun dengan jumlah populasi CTL mendekati 200 sel/mililiter, setelah itu grafik naik kembali setelah 200 hari dimana naiknya grafik populasi CTL ini berhubungan dengan turunnya jumlah populasi  $T_{BE}$ . Kemudian grafik menuju konstan setelah 600 hari dengan jumlah populasi CTL sebanyak 336,7630 sel/mililiter yang berarti laju pertumbuhan dari



sel T CD8+ adalah tetap sebesar 336,7630 sel/mililiter dan dalam hal ini sudah tidak terdapat perubahan populasi lagi dimana keadaan konstan jumlah populasi CTL ini seiring dengan konstannya jumlah populasi  $T_{BE}$ .



Gambar 3.9 Grafik Kecepatan Berlangsungnya Infeksi Bakteri Ekstraselular

Gambar 3.9 tersebut menggambarkan *velocity* (kecepatan) dari perubahan berlangsungnya infeksi dengan nilai awal bakteri ekstraselular yang bervariasi (berbeda-beda). Dimana kondisi awal yang diberikan untuk bakteri ekstraselular ( $T_{BE}$ ) adalah  $T_{BE-1} = 20$  sel/mililiter,  $T_{BE-2} = 2000$  sel/mililiter,  $T_{BE-3} = 20000$  sel/mililiter dengan kondisi awal yang digunakan untuk  $M_R(0) = 100000$ ,  $M_I(0) = 0$ ,  $M_A(0) = 0$ ,  $T_{BI}(0) = 0$ ,  $T(0) = 500$ ,  $C(0) = 140$ . Sedangkan untuk nilai parameter dari  $\gamma_4 = 0.195866$  dan untuk semua parameter

yang lain sebagaimana yang disajikan pada Tabel 3.1. Pada TBE-1 menunjukkan kecepatan dari keberlangsungan penyakit menjadi penyakit aktif ketika diberikan nilai awal bakteri ekstraselular sebanyak 20 sel/milliliter. Sedangkan pada TBE-2 dan TBE-3 menunjukkan kecepatan dari keberlangsungan penyakit ketika diberikan nilai awal bakteri ekstraselular masing-masing sebanyak 2000 sel/milliliter dan 20000 sel/milliliter. Dengan semakin meningkatnya nilai awal bakteri yang diberikan, mengakibatkan semakin cepatnya keberlangsungan penyakit TB, baik penyakit laten maupun primer.

### 3.6 Interpretasi Titik Keseimbangan dan Kestabilan pada Mekanisme Respon imun terhadap Infeksi Mikobakterium Tuberkulosis

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa serangkaian proses yang saling bekerja sama untuk melindungi diri dari suatu ancaman dimana tubuh manusia telah mengembangkan reaksi pertahanan seluler yang disebut respon imun. Untuk melindungi dirinya, tubuh memerlukan mekanisme yang dapat membedakan sel-sel itu sendiri (*self*) dan agen-agen penginvansi (*nonself*). Keberadaan respon imun adalah untuk menyalakan benda yang bersifat antigenik dengan cepat, disinilah peranan makrofag dan limfosit T dalam berperang melawan bakteri yang masuk kedalam paru-paru tersebut. Dalam kasus ini yang berperan adalah makrofag, sel T CD4+, dan sel T CD8+. Keseimbangan dari setiap populasi makrofag resting, makrofag terinfeksi, makrofag teraktivasi, bakteri intraselular, dan bakteri ekstraselular diperlukan. Dalam hal ini, pada titik keseimbangan bebas penyakit diperoleh,  $(M_R^*, M_I^*, M_A^*, T_{BE}^*, T_{BI}^*, T^*, C^*) =$

(454545.45455,0,0,0,0,10000,147.05882353) dan titik kesetimbangan endemiknya diperoleh  $(M_R^*, M_I^*, M_A^*, T_{BE}^*, T_{BI}^*, T^*, C^*) = (25150, 12662, 1902, 1075400, 738800, 10115, 336.7630)$ . Saat titik kesetimbangan diraih, maka sudah tidak ada laju perubahan yang terjadi, sehingga jumlah populasinya tetap pada nilai kesetimbangan tersebut. Namun masalahnya, pada saat keadaan setimbang terjadi, apakah nantinya infeksi akan berlanjut atau tidak.

Dalam model ini, pada titik kesetimbangan pertama setelah mensubstitusikan nilai parameter pada Tabel 3.1, titik kesetimbangannya tidak stabil artinya pada saat titik kesetimbangan diraih nantinya akan ada infeksi yang muncul. Oleh karena itu, setelah dilakukan analisis  $R_0$  dengan mengganti nilai parameternya menjadi  $\gamma_4$  (laju perkembangbiakan bakteri ekstraselular) sebesar 0.01 perhari,  $\mu_{MI}$  (laju kematian makrofag) sebesar 0.0895 perhari,  $\gamma_2$  (laju pembunuhan bakteri ekstraselular) sebesar  $0.00000795 \text{ cm}^3 M_I^{-1}$  perhari,  $k_3$  (laju pembunuhan bakteri intraselular) sebesar 0.00000125 perhari,  $\gamma_5$  (laju bakteri ekstraselular dibunuh oleh CTL) sebesar 0.9 perhari. Sehingga titik kesetimbangan yang pertama menjadi stabil dengan parameter tersebut. Artinya, infeksi yang muncul akan hilang.

Pada titik kesetimbangan kedua, titik kesetimbangan yang kedua (titik kesetimbangan endemik) bersifat stabil, artinya pada saat setiap populasi mencapai titik kesetimbangan, infeksi yang ada akan lenyap (hilang) secara perlahan-lahan. Dengan kata lain, seseorang yang terkena penyakit tuberkulosis akan menjadi sembuh karena infeksi yang ada di dalam tubuhnya sudah tidak ada.

### 3.7 Model Matematika pada Mekanisme Respon Imun Terhadap Infeksi Mikobakterium Tuberkulosis dalam Perspektif Islam

Allah menciptakan segala sesuatu yang ada di alam semesta ini dalam keadaan seimbang. Begitu juga dengan tubuh manusia, tubuh manusia dilengkapi Allah SWT dengan sistem imun yang bekerja sedemikian rupa untuk melindungi tubuh terhadap masuknya infeksi, bakteri, virus, parasit, dan atau benda yang di anggap asing (*non-self*) oleh tubuh.

Dalam hal ini, jika di konversikan pada titik ekuilibrium pertama dan kedua pada persamaan model matematika mekanisme respon imun terhadap infeksi TB haruslah stabil. Titik ekuilibrium pertama akan stabil jika  $R_0 < 1$ , sedangkan untuk titik ekuilibrium kedua stabil. Titik ekuilibrium stabil maka jumlah populasi makrofag resting, makrofag terinfeksi, makrofag teraktivasi, bakteri ekstraselular, bakteri intraselular, sel T CD4+, dan sel T CD8+ menjadi seimbang yang menyebabkan keseimbangan tubuh. Hal ini bisa dicapai dengan cara menjaga tubuh agar tetap sehat. Karena sesungguhnya dalam hal upaya tersebut Allah telah berfirman:

إِنَّ اللَّهَ لَا يُغَيِّرُ مَا بِقَوْمٍ حَتَّىٰ يُغَيِّرُوا مَا بِأَنْفُسِهِمْ ۗ

Artinya: “ Sesungguhnya Allah tidak merubah keadaan sesuatu kaum sehingga mereka merubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri”( Ar Ra’d 13: 11).

Dalam hal ini, bakteri yang menyerang sistem imun manusia adalah mikobakterium tuberkulosis. Jika bakteri ini masuk kedalam tubuh manusia maka mengakibatkan manusia tersebut terserang penyakit TBC (Tuberkulosis). Penyebab munculnya penyakit TBC diantaranya adalah kontak dengan penderita,

tempat yang kumuh, tempat yang sempit dan tertutup atau dengan ventilasi yang kurang, malnutrisi, konsumsi alkohol, penyakit keganasan, diabetes, AIDS, gagal ginjal, dan orang tua.

Hal pertama yang menjadi penyebab TBC adalah lingkungan yang kumuh atau ventilasi yang kurang. Tentunya ini berarti berkaitan dengan kebersihan. Agama islam sendiri menganjurkan manusia untuk selalu menjaga dan memelihara kebersihan, baik itu kebersihan badan, pakaian, maupun tempat tinggal agar tidak mudah terserang penyakit. Firman Allah SWT

إِنَّ اللَّهَ سَخِبُ التَّوَابِينَ وَنَحِبُ الْمُتَطَهِّرِينَ

Artinya: “*Sesungguhnya Allah menyukai orang-orang yang bertaubat dan menyukai orang-orang yang mensucikan diri*” (Q.S Al-Baqarah : 222)

Pada ayat di atas tampak bahwa kesucian (kebersihan) yang menjadi pangkal kesehatanlah yang disinggung dalam wahyu yang diturunkan kepada Nabi. Tidak heran kalau kebersihan umumnya merupakan salah satu kewajiban yang selalu diperintahkan Nabi Muhammad SAW dan dijadikan sendi dasar dalam kehidupan sehari-hari.

Kekurangan nutrisi dalam tubuh juga dapat menyebabkan terjadinya penyakit TBC karena tubuh yang kekurangan nutrisi mengakibatkan daya tahan tubuh menjadi lemah. Islam menekankan kepada makanan yang memiliki salah satu dari sifat yang halal dan *thayyib*. *Thayyib* yang sering dimaknai baik dari segi bahasa berarti sesuatu yang telah mencapai puncak di bidangnya dan karena itu “buah-buah” sorga juga dinamakan *thayyibah*. Dalam ilmu kesehatan kata *thayyib* disejajarkan dengan kata bergizi. Firman Allah SWT



يَتَأْتِيهَا النَّاسُ كُلُّوْا مِمَّا فِي الْأَرْضِ حَلَالًا طَيِّبًا وَلَا تَتَّبِعُوا خُطُوَاتِ الشَّيْطَانِ إِنَّهُ  
لَكُمْ عَدُوٌّ مُّبِينٌ ﴿١٦٨﴾

Artinya:” Hai sekalian manusia, makanlah yang halal lagi baik dari apa yang terdapat di bumi, dan janganlah kamu mengikuti langkah-langkah syaitan; karena Sesungguhnya syaitan itu adalah musuh yang nyata bagimu” (Al-Baqarah 2:168).

Pencegahan yang lain juga dapat dilakukan agar terhindar dari penyakit TBC dengan cara mengarangtina orang yang terkena penyakit menular dari pergaulan umum, baik dalam rumah maupun di rumah sakit. Hal ini dilakukan agar penyakit itu tidak meluas kepada orang lain. Keadaan ini sesuai dengan apa yang disabdakan oleh Rosulullah yakni:

“ Janganlah seorang yang sakit mendatangi orang yang sehat” (HR. Muslim).

Artinya seseorang yang menderita suatu penyakit hendaknya tidak memasuki lingkungan orang-orang yang sehat, sehingga tidak menularkan penyakit itu kepada orang lain.

Sebaliknya, orang-orang yang sehat sebaiknya jangan memasuki lingkungan orang-orang yang terkena penyakit menular. Hal ini untuk menghindari meluasnya penyakit tersebut. Sabda Rasulullah SAW:

“Larilah dari orang yang berpenyakit kusta sebagaimana kamu berlari dari singa”. (HR. Bukhari).

Hadits di atas menunjukkan larangan Rasulullah Shollallahu ‘alaihi wa ‘ala alihi wasallam kepada orang yang sehat untuk berbaur dengan orang yang berpenyakit (dengan penyakit yang dianggap menular) jangan sampai dia terjangkau penyakit itu (dengan izin Allah).

Ketika seseorang muslim terserang penyakit yang menular seperti kusta, TBC dan penyakit menular lainnya, maka sebagai seorang muslim hendaknya tidak marah, bimbang atau takut terhadap penyakit yang sedang menimpa dirinya, tetapi justru bersabar dan ridho terhadap qadla dan qadar Allah. Inilah falsafah yang diajarkan Islam dalam menghadapi penyakit. Dengan demikian seseorang yang ditimpa musibah akan menerima realitas ini dengan senang hati, sabar, dan sikap yang demikian akan membantu dalam proses terapi. Tentunya juga harus diiringi dengan berdo'a kepada Allah dengan hati yang ikhlas dan sabar pula. Alangkah lebih baik lagi agar do'a yang dilakukan pada waktu sepertiga malam terakhir yakni se usai salat tahajjud. Kegiatan ini dilakukan sebagai upaya meminta pertolongan kepada Allah sekaligus menjadikan tubuh kita memiliki sistem imun yang kuat.

Hasil penelitian membuktikan bahwa salat tahajjud berpengaruh terhadap peningkatan respon ketahanan tubuh imunologik. Shalat tahajjud yang dijalankan dengan penuh kesungguhan, khusuk, tepat, ikhlas, dan kontinu diduga dapat menumbuhkan persepsi dan motivasi positif dan mengefektikan *coping* dan, respons emosi positif, dapat menghindarkan reaksi stres.

Imam At-Tirmidzi meriwayatkan bahwa Rasulullah SAW bersabda:

*“Kalian harus mengerjakan salat malam sebab itu kebiasaan orang-orang saleh sebelum kalian, juga suatu jalan untuk mendekatkan diri kepada Allah SWT. Juga sebagai penebus dosa dan kejelekanmu, serta dapat menangkal penyakit dari badan, ”*(HR At-Tirmidzi).

Tak ada kekuatan di langit dan di bumi selain Allah yang mampu memberi perintah bahkan hanya kepada satu dari triliunan sel. Hanya dengan kehendak Allah-lah suatu sel dapat melakukan operasi matematis seperti memproduksi

senjata yang paling sesuai untuk menonaktifkan setiap musuh yang menyerang sel. Tentunya hal ini haruslah diiringi dengan upaya dan ikhtiar untuk menjadikan sistem imun manusia menjadi kuat, sehingga tidak mudah terserang penyakit.



## BAB IV

### PENUTUP

#### 4.1 Kesimpulan

Dari pembahasan penelitian ini dapat disimpulkan bahwa model matematika pada mekanisme respon imun terhadap infeksi mikobakterium tuberkulosis di paru-paru berbentuk sistem persamaan diferensial nonlinier dan untuk menyelesaikan sistem persamaan diferensial yang tidak linier digunakan konsep titik kesetimbangan yang disebut juga dengan titik ekuilibrium atau titik kritis dan kestabilan titik kesetimbangan. Titik kesetimbangan (titik tetap) diperoleh jika tidak ada pergerakan pada persamaan tersebut, artinya

$$\frac{dM_R(t)}{dt} = \frac{dM_I(t)}{dt} = \frac{dM_A(t)}{dt} = \frac{dT_{BE}(t)}{dt} = \frac{dT_{BI}(t)}{dt} = \frac{dT(t)}{dt} = \frac{dC(t)}{dt} = 0$$

Sehingga titik kesetimbangan yang pertama (titik kesetimbangan bebas penyakit) diperoleh

$$M_R^* = 454545.45455; M_I^* = 0; M_A^* = 0; T_{BE}^* = 0; T_{BI}^* = 0$$

$$T^* = 147.05882353; C^* = 10000$$

Titik kesetimbangan pertama ini setelah disubstitusikan pada matriks Jacobian dan dicari nilai eigen-nya bersifat tidak stabil karena ada nilai eigen yang bernilai positif pada bagian realnya.

Titik kesetimbangan pertama akan stabil jika mengganti nilai parameter

$$\gamma_4 = 0.01, \quad \mu_{MI} = 0.0895, \quad \gamma_2 = 0.00000795, \quad k_3 = 0.00000125,$$

$\gamma_5 = 0.9$  sehingga diperoleh  $R_0 < 1$

Hal ini merupakan *basic reproduction number* ( $R_0$ ) akibatnya titik kesetimbangan yang pertama menjadi stabil.

Sedangkan untuk titik tetap kedua diperoleh

$$M_R^* = 25150; M_I^* = 12662; M_A^* = 1902; T_{BE}^* = 1075400; T_{BI}^* = 738800$$

$$T^* = 10115; C^* = 336.7630$$

Titik kesetimbangan kedua ini setelah disubstitusikan pada matriks Jacobian dan dicari nilai eigen-nya bersifat stabil.

#### 4.2 Saran

Pada pembahasan selanjutnya, ada beberapa hal yang dapat dikembangkan dari skripsi ini diantaranya, menggunakan metode numerik untuk mencari solusi numerik dari sistem persamaan diferensial non-linier model matematika pada mekanisme respon imun terhadap infeksi mikobakterium tuberkulosis di paru-paru serta membandingkannya dengan hasil pembahasan pada skripsi ini.



## DAFTAR PUSTAKA

- Fitria, Vivi Aida. 2009. *Analisis Sistem Persamaan Diferensial Model Predator Prey Dengan Perlambatan*. Skripsi. Tidak diterbitkan. Malang: UIN Malang.
- Aliyah, Ijazatul. 2007. *Analisis Model Matematika pada Pengaruh Sistem Imun Terhadap Bakteri Tuberkulosis*. Skripsi. Tidak diterbitkan. Malang: UIN Malang.
- Allam, Ahmad Khalid dkk. 2005. *Al-Qur'an dan Keseimbangan Alam dan Kehidupan*. Jakarta: Gema Insani.
- Alsagaff, Hood & Abdul Mukti. 2006. *Dasar-Dasar Ilmu Penyakit Paru*. Surabaya: Airlangga University Press.
- Anton, Howard, 2000. *Aljabar Linear Elementer Edisi Ketujuh Jilid 2*. Batam: Interaksara.
- Ayres, Frank dkk. 1992. *Persamaan Diferensial dalam Satuan SI Metric*. Jakarta : Erlangga.
- Baiduri. 2002. *Persamaan Diferensial dan Matematika Model*. Malang: UMM Press.
- Baratawidjaja, Karnen Garna & Rengganis, Iris. 2009. *Imunologi Dasar edisi ke-8*. Jakarta: Fakultas Kedokteran UI.
- Bashit, Abdul. 2006. *Pola Makan Rasulullah (Makanan Sehat Berkualitas Menurut Al-Qur'an dan As-Sunnah)*. Jakarta: Almahira.
- Finizio, N. dan Ladas, G. 1988. *Persamaan Diferensial Biasa dengan Penerapan Modern Edisi Kedua*. Terjemahan Widiati Santoso. Jakarta : Erlangga.
- Jamilia, Yuli Hikma. 2008. *Cayley Color Graph dari Grup Simetri dan Grup Dehidral*. Skripsi. Tidak diterbitkan. Malang: UIN Malang.
- Kresno, Siti Boedina. 2003. *Imunologi: Diagnosis dan Prosedur Laboratorium*. Jakarta: FKUI.
- Magombedze, G., Garira, W., Mwenje, E. 2006. Modelling the Human Immune Response Mechanism to Micobacterium Tuberculosis Infection in the Lungs. *Mathematical Bioscience and Engineering*. Vol.3. No.4. Hal 661-682.

- Musta'adah, Eli. 2004. *Aplikasi Teorema Titik Tetap pada Penyelesaian Persamaan Diferensial Biasa*. Skripsi. Tidak diterbitkan. Malang: UIN Malang.
- Pagalay, Usman. 2009. *Mathematical Modeling (Aplikasi Pada Kedokteran, Immunologi, Biologi, Ekonomi, dan Perikanan)*. Malang: UIN-Malang Press.
- Purcell, Edwin J. dan Varberg, Dale, 1987. *Kalkulus dan Geometri Analitis Jilid 2, Edisi Kelima*. Jakarta: Erlangga.
- Ross. L. Shepley. 1989. *Differential Equation 3<sup>th</sup>*. New York: University of New Hampshire .
- Sari, Damayekti Intan Permata. 2010. *Model Epidemik SIS dengan Vaksinasi dan Imigrasi*. Skripsi. Tidak diterbitkan. Malang: UNIBRAW Malang.
- Shihab, M Quraish. 2003. *Tafsir Al-Mishbah: Pesan, Kesan, dan Keserasian al-qur'an*. Jakarta: Lentera Hati.
- Stewart, James. 2002. *Kalkulus Jilid 1 Edisi Keempat*. Jakarta: Erlangga.
- Sulistianaini, Erik. 2010. *Analisis Model Matematika pada Kompetisi Dinamik Sel Tumor dan Sistem Imun Akibat Perlambatan Waktu*. Skripsi. Tidak diterbitkan. Malang: UIN Malang.
- Widoyono. 2005. *Penyakit Tropis (Epidemiologi, Penularan, Pencegahan, dan Pemberantasannya)*. Jakarta: Erlangga.
- Yahya, Harun. 2002. *Sistem Kekebalan Tubuh dan Keajaiban di Dalamnya*. Bandung: Dzikra.

## LAMPIRAN 1

## Daftar Istilah

Antibodi	=	Zat yang dibentuk dalam darah untuk memusnahkan bakteri virus atau untuk melawan toksin yang dihasilkan oleh bakteri.
Antigen	=	Zat yang dapat menimbulkan respon imun bila disuntikkan ke dalam tubuh,
Differensiasi	=	Modifikasi struktural dan fungsional suatu sel tidak khusus menjadi sel khusus.
Direk	=	Langsung
Fagosit	=	Suatu sel darah putih yang mampu menelan partikel asing.
Fagositosis	=	Penelanan bakteri / partikel kecil lainnya disekitarnya
Fagosom	=	Partikel sitoplasma yang diselubungi membran
Fosforilasi	=	Suatu proses pembentukan senyawa turunan fosfat dari satu biomolekul, umumnya karena pemindahan enzimatik gugus fosfat dari ATP
Granuloma	=	Tumor jaringan yang menghasilkan granula.
Inflamasi	=	Reaksi jaringan hidup (tubuh) terhadap infeksi, iritasi/cedera
Interferon	=	Protein/kelas protein kecil yang bekerja efektif terhadap beberapa virus, dibentuk oleh sel-sel yang terjangkit virus
Limfosit	=	Leukosit yang berinti satu, tidak bersegmen, pada umumnya tidak bergranula, berperan pada imunitas humoral; semacam sel darah putih kelompok agranulosit.
Lisis	=	Pemecahan/penguraian suatu sel/substansi lain dibawah pengaruh zat yang spesifik.
Monosit	=	Sel darah putih yang berinti satu.
Oponin	=	Antibodi yang menyatu dengan antigen (biasanya merupakan bagian dari sel-sel yang utuh dan membuat sel-sel tersebut lebih rentan)
Patogen	=	Penyebab penyakit (terutama yang hidup, seperti kuman dsb.)
Progenitor	=	Keturunan yang memiliki induk/sumber yang sama
Proliferasi	=	Pergandaan atau perbanyakan; Pembelahan gametogonia beberapa kali secara mitosis menjadi gametosis I
Promonosit	=	Sel muda dari seri monosit dengan pematangan diantara monoblas dan monosit
Sitolitik	=	bersifat menyebabkan sitolitis
Sitolisis	=	Penghancuran membran sel yang menyebabkan isi sel keluar
Timus	=	Suatu jaringan limfoid yang terletak di bagian atas jantung dan pembuluh-pembuluh besar ; menghasilkan sel T untuk tugas imunitas seluler.

## LAMPIRAN 2

**Perhitungan Secara Analitik (Manual) untuk Mencari Titik Tetap Kedua**

Pada Persamaan 3.1 (Nilai ekuilibrium makrofag resting pada titik kesetimbangan endemik)

$$\begin{aligned} \frac{dM_R}{dt} = \beta_m + \alpha_r(M_A^* + \omega_r M_I^*) + \sigma M_R^* \left( \frac{T_{BE}^* + T_{BI}^*}{T_{BE}^* + T_{BI}^* + S_R} \right) - \beta_i \left( \frac{T_{BE}^* M_R^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) \\ - \alpha M_R^* - \omega M_R^* \left( \frac{T_{BE}^* + T_{BI}^*}{T_{BE}^* + T_{BI}^* + S_A} \right) + \mu_d M_A^* = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_m + \alpha_r(M_A^* + \omega_r M_I^*) \\ + M_R^* \left( \sigma \left( \frac{T_{BE}^* + T_{BI}^*}{T_{BE}^* + T_{BI}^* + S_R} \right) - \beta_i \left( \frac{T_{BE}^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) - \alpha \right. \\ \left. - \omega \left( \frac{T_{BE}^* + T_{BI}^*}{T_{BE}^* + T_{BI}^* + S_A} \right) \right) + \mu_d M_A^* = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_R^* \left( \sigma \left( \frac{T_{BE}^* + T_{BI}^*}{T_{BE}^* + T_{BI}^* + S_R} \right) - \beta_i \left( \frac{T_{BE}^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) - \alpha - \omega \left( \frac{T_{BE}^* + T_{BI}^*}{T_{BE}^* + T_{BI}^* + S_A} \right) \right) \\ = -(\beta_m + \alpha_r(M_A^* + \omega_r M_I^*)) - \mu_d M_A^* \end{aligned}$$

$$M_R^* = \frac{-((\beta_m + \alpha_r(M_A^* + \omega_r M_I^*)) + \mu_d M_A^*)}{-\left(-\sigma \left( \frac{T_{BE}^* + T_{BI}^*}{T_{BE}^* + T_{BI}^* + S_R} \right) + \beta_i \left( \frac{T_{BE}^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) + \alpha + \omega \left( \frac{T_{BE}^* + T_{BI}^*}{T_{BE}^* + T_{BI}^* + S_A} \right)\right)}$$

$$M_R^* = \frac{((\beta_m + \alpha_r(M_A^* + \omega_r M_I^*)) + \mu_d M_A^*)}{\left(\beta_i \left( \frac{T_{BE}^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) + \alpha + \omega \left( \frac{T_{BE}^* + T_{BI}^*}{T_{BE}^* + T_{BI}^* + S_A} \right) - \sigma \left( \frac{T_{BE}^* + T_{BI}^*}{T_{BE}^* + T_{BI}^* + S_R} \right)\right)}$$

Pada Persamaan 3.2 (Nilai ekuilibrium makrofag terinfeksi pada titik kesetimbangan endemik)

$$\frac{dM_I}{dt} = \beta_i \left( \frac{T_{BE}^* M_R^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) - k_2 M_I^* - k_3 M_I^* \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) - k_4 \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) - k_5 M_I^* C^* - \mu_{MI} M_I^* = 0$$

$$\begin{aligned} \beta_i \left( \frac{T_{BE}^* M_R^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) &= k_2 M_I^* + k_3 M_I^* \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) + k_4 \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) \\ &+ k_5 M_I^* C^* + \mu_{MI} M_I^* \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_i \left( \frac{T_{BE}^* M_R^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) &= M_I^* \left( k_2 + k_3 \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) + k_4 \left( \frac{1}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) + k_5 C^* \right. \\ &\left. + \mu_{MI} \right) \end{aligned}$$

$$M_I = \frac{\beta_i T_{BE}^* M_R^*}{(T_{BE}^* + S_E) \left( k_2 + k_3 \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) + k_4 \left( \frac{1}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) + k_5 C^* + \mu_{MI} \right)}$$

Pada Persamaan 3.3 (Nilai ekuilibrium makrofag teraktifasi pada titik kesetimbangan endemik)

$$\frac{dM_A}{dt} = \omega M_R^* \left( \frac{T_{BE}^* + T_{BI}^*}{T_{BE}^* + T_{BI}^* + S_A} \right) - \mu_\alpha M_A^* - \mu_d M_A^* = 0$$

$$\omega M_R^* \left( \frac{T_{BE}^* + T_{BI}^*}{T_{BE}^* + T_{BI}^* + S_A} \right) - M_A^* (\mu_\alpha + \mu_d) = 0$$



$$\omega M_R \left( \frac{T_{BE}^* + T_{BI}^*}{T_{BE}^* + T_{BI}^* + S_A} \right) = M_A^* (\mu_\alpha + \mu_d)$$

$$M_A^* = \frac{\omega M_R^* T_B^*}{(T_B^* + S_A)(\mu_\alpha + \mu_d)}$$

Pada Persamaan 3.4 (Nilai ekuilibrium bakteri ekstraselular pada titik kesetimbangan endemik)

$$\begin{aligned} \frac{dT_{BE}^*}{dt} = & Nk_2 M_I^* + k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) + k_5 N_c M_I^* C^* + \gamma_4 T_{BE}^* \\ & - \beta_i N_1 M_R^* \left( \frac{T_{BE}^* M_R^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) - \gamma_5 T_{BE}^* \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) - \gamma_1 T_{BE}^* M_A^* \\ & - \gamma_2 T_{BE}^* M_R^* = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Nk_2 M_I^* + k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) + k_5 N_c M_I^* C^* \\ + T_{BE}^* \left( \gamma_4 - \beta_i N_1 M_R^* \left( \frac{M_R^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) - \gamma_5 \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) - \gamma_1 M_A^* \right. \\ \left. - \gamma_2 M_R^* \right) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{BE}^* \left( \gamma_4 - \beta_i N_1 M_R^* \left( \frac{M_R^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) - \gamma_5 \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) - \gamma_1 M_A^* - \gamma_2 M_R^* \right) + Nk_2 M_I^* \\ + k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) + k_5 N_c M_I^* C^* = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_{BE}^* (T_{BE}^* + S_E) \left( \gamma_4 - \beta_i N_1 M_R^* \left( \frac{M_R^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) - \gamma_5 \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) - \gamma_1 M_A^* - \gamma_2 M_R^* \right) + (T_{BE}^* \\ + S_E) \left( Nk_2 M_I^* + k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) + k_5 N_c M_I^* C^* \right) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (T_{BE}^{*2} + T_{BE}^* S_E) \left( \gamma_4 - \beta_i N_1 M_R^* \left( \frac{M_R^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) - \gamma_5 \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) - \gamma_1 M_A^* - \gamma_2 M_R^* \right) \\
& + T_{BE}^* \left( N k_2 M_I^* + k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) + k_5 N_c M_I^* C^* \right) \\
& + S_E \left( N k_2 M_I^* + k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) + k_5 N_c M_I^* C^* \right) = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (T_{BE}^{*2} + T_{BE}^* S_E) \gamma_4 - T_{BE}^* (\beta_i N_1 M_R^*) - (T_{BE}^{*2} + T_{BE}^* S_E) \gamma_5 \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) \\
& - (T_{BE}^{*2} + T_{BE}^* S_E) \gamma_1 M_A^* - (T_{BE}^{*2} + T_{BE}^* S_E) \gamma_2 M_R^* \\
& + T_{BE}^* \left( N k_2 M_I^* + k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) + k_5 N_c M_I^* C^* \right) \\
& + S_E \left( N k_2 M_I^* + k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) + k_5 N_c M_I^* C^* \right) = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& (T_{BE}^{*2} + T_{BE}^* S_E) \left( \gamma_4 - \gamma_5 \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) - \gamma_1 M_A^* - \gamma_2 M_R^* \right) \\
& + T_{BE}^* \left( -\beta_i N_1 M_R^* + N k_2 M_I^* + k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) \right. \\
& \left. + k_5 N_c M_I^* C^* \right) \\
& + S_E \left( N k_2 M_I^* + k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) + k_5 N_c M_I^* C^* \right) = 0
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & T_{BE}^{*2} \left( \gamma_4 - \gamma_5 \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) - \gamma_1 M_A^* - \gamma_2 M_R^* \right) \\
 & + T_{BE}^* S_E \left( \gamma_4 - \gamma_5 \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) - \gamma_1 M_A^* - \gamma_2 M_R^* \right) \\
 & + T_{BE}^* \left( -\beta_i N_1 M_R^* + N k_2 M_I^* + k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) \right. \\
 & \left. + k_5 N_c M_I^* C^* \right) \\
 & + S_E \left( N k_2 M_I^* + k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) + k_5 N_c M_I^* C^* \right) = 0
 \end{aligned}$$

didefinisikan:

$$a_0 = S_E N k_2 M_I^* + S_E k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) + S_E k_5 N_c M_I^* C^* \quad (1)$$

$$\begin{aligned}
 a_1 = & \gamma_4 S_E - \gamma_5 S_E \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) - \gamma_1 M_A^* S_E - \gamma_2 M_R^* S_E - \beta_i N_1 M_R^* + N k_2 M_I^* + \\
 & k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) + k_5 N_c M_I^* C^* \quad (2)
 \end{aligned}$$

$$a_2 = \gamma_4 - \gamma_5 \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) - \gamma_1 M_A^* - \gamma_2 M_R^* \quad (3)$$

sehingga

$$T_{BE}^* = \frac{-a_1 \pm \sqrt{a_1^2 - 4a_2 a_0}}{2a_2}$$

dengan kata lain,

$$T_{BE}^*_{1} = \frac{-a_1 - \sqrt{a_1^2 - 4a_2 a_0}}{2a_2}$$

$$T_{BE}^*_{2} = \frac{-a_1 + \sqrt{a_1^2 - 4a_2 a_0}}{2a_2}$$

Pada Persamaan 3.5 (Nilai ekuilibrium bakteri intraselular pada titik kesetimbangan endemik)

$$\begin{aligned} \frac{dT_{BI}}{dt} = & \varphi NM_I^* \left( 1 - \frac{T_{BI}^{*2}}{T_{BI}^{*2} + (NM_I^*)^2 + E} \right) - k_2 NM_I^* - k_3 N_2 M_I^* \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) \\ & + \beta_i NM_R^* \left( \frac{T_{BE}^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) - k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) \\ & - k_5 N_c M_I^* C^* - \mu_g T_{BI}^* = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (T_{BI}^{*2} + (NM_I^*)^2 + E) \left( \varphi NM_I^* \left( 1 - \frac{T_{BI}^{*2}}{T_{BI}^{*2} + (NM_I^*)^2 + E} \right) - k_2 NM_I^* - k_3 N_2 M_I^* \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) + \right. \\ & \left. \beta_i NM_R^* \left( \frac{T_{BE}^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) - k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) - k_5 N_c M_I^* C^* - \mu_g T_{BI}^* \right) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (T_{BI}^{*2} + (NM_I^*)^2 + E)(\varphi NM_I^*) - (\varphi NM_I^*) T_{BI}^{*2} - (T_{BI}^{*2} + (NM_I^*)^2 + E)(k_2 NM_I^*) \\ & - (T_{BI}^{*2} + (NM_I^*)^2 + E) \left( k_3 N_2 M_I^* \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) \right) \\ & + (T_{BI}^{*2} + (NM_I^*)^2 + E) \left( \beta_i NM_R^* \left( \frac{T_{BE}^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) \right) \\ & - (T_{BI}^{*2} + (NM_I^*)^2 + E) k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) \\ & - (T_{BI}^{*2} + (NM_I^*)^2 + E) k_5 N_c M_I^* C^* - (T_{BI}^{*2} + (NM_I^*)^2 + E) \mu_g T_{BI}^* \\ & = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & T_{BI}^{*2}(\varphi NM_I^*) + ((NM_I^*)^2 + E)(\varphi NM_I^*) - (\varphi NM_I^*)T_{BI}^{*2} - T_{BI}^{*2}(k_2 NM_I^*) \\
 & - ((NM_I^*)^2 + E)(k_2 NM_I^*) - T_{BI}^{*2} \left( k_3 N_2 M_I^* \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) \right) \\
 & - ((NM_I^*)^2 + E) \left( k_3 N_2 M_I^* \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) \right) + T_{BI}^{*2} \left( \beta_i N M_R^* \left( \frac{T_{BE}^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) \right) \\
 & + ((NM_I^*)^2 + E) \left( \beta_i N M_R^* \left( \frac{T_{BE}^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) \right) \\
 & - T_{BI}^{*2} \left( k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) \right) \\
 & - ((NM_I^*)^2 + E) \left( k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) \right) - T_{BI}^{*2} (k_5 N_c M_I^* C^*) \\
 & + ((NM_I^*)^2 + E)(k_5 N_c M_I^* C^*) - T_{BI}^{*2} (\mu_g T_{BI}^*) - ((NM_I^*)^2 + E)(\mu_g T_{BI}^*) \\
 & = 0
 \end{aligned}$$

dikalikan  $\left(\frac{1}{\mu_g}\right)$

$$\begin{aligned}
 & \frac{1}{\mu_g} \left[ ((NM_I^*)^2 + E)(\varphi NM_I^*) - T_{BI}^{*2}(k_2 NM_I^*) - ((NM_I^*)^2 + E)(k_2 NM_I^*) \right. \\
 & - T_{BI}^{*2} \left( k_3 N_2 M_I^* \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) \right) - ((NM_I^*)^2 + E) \left( k_3 N_2 M_I^* \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) \right) \\
 & + T_{BI}^{*2} \left( \beta_i N M_R^* \left( \frac{T_{BE}^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) \right) + ((NM_I^*)^2 + E) \left( \beta_i N M_R^* \left( \frac{T_{BE}^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) \right) \\
 & - T_{BI}^{*2} \left( k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) \right) \\
 & - ((NM_I^*)^2 + E) \left( k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) \right) - T_{BI}^{*2} (k_5 N_c M_I^* C^*) \\
 & \left. + ((NM_I^*)^2 + E)(k_5 N_c M_I^* C^*) - T_{BI}^{*3} \mu_g - ((NM_I^*)^2 + E)(\mu_g T_{BI}^*) \right] = 0
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
& -T_{BI}^{*3} - (T_{BI}^{*2}) \frac{1}{\mu_g} \left[ (k_2 N M_I^*) + \left( k_3 N_2 M_I^* \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) \right) - \left( \beta_i N M_R^* \left( \frac{T_{BE}^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) \right) \right] + \\
& \left( k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) \right) + (k_5 N_c M_I^* C^*) \Big] - T_{BI}^* ((N M_I^*)^2 + E) - \\
& \frac{1}{\mu_g} ((N M_I^*)^2 + E) \left[ -\varphi N M_I^* + k_2 N M_I^* + \left( k_3 N_2 M_I^* \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) \right) - \right. \\
& \left. \left( \beta_i N M_R^* \left( \frac{T_{BE}^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) \right) + \left( k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) \right) + k_5 N_c M_I^* C^* \right] = 0
\end{aligned}$$

dikalikan (-1)

$$\begin{aligned}
& T_{BI}^{*3} + (T_{BI}^{*2}) \frac{1}{\mu_g} \left[ (k_2 N M_I^*) + \left( k_3 N_2 M_I^* \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) \right) - \left( \beta_i N M_R^* \left( \frac{T_{BE}^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) \right) \right] \\
& + \left( k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) \right) + (k_5 N_c M_I^* C^*) \Big] \\
& + T_{BI}^* ((N M_I^*)^2 + E) \\
& + \frac{1}{\mu_g} ((N M_I^*)^2 + E) \left[ -\varphi N M_I^* + k_2 N M_I^* + \left( k_3 N_2 M_I^* \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) \right) \right. \\
& - \left( \beta_i N M_R^* \left( \frac{T_{BE}^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) \right) + \left( k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) \right) \\
& \left. + k_5 N_c M_I^* C^* \right] = 0
\end{aligned}$$

Menggunakan formula kubik berdasarkan *hand book mathematic* apabila persamaan kubiknya adalah

$$x^3 + a_1 x^2 + a_2 x + a_3 = 0$$

$$\text{Misal } Q = \frac{3a_2 - a_1^2}{9}, R = \frac{9a_1 a_2 - 27a_3 - 2a_1^3}{54}$$

$$S = \sqrt[3]{R + \sqrt{Q^3 + R^2}}, T = \sqrt[3]{R - \sqrt{Q^3 + R^2}}$$

$$\text{Solusinya: } \begin{cases} x_1 = S + T - \frac{1}{3}a_1 \\ x_2 = -\frac{1}{2}(S + T) - \frac{1}{3}a_1 + \frac{1}{2}i\sqrt{3}(S - T) \\ x_3 = -\frac{1}{2}(S + T) - \frac{1}{3}a_1 - \frac{1}{2}i\sqrt{3}(S - T) \end{cases}$$

Jika  $a_1, a_2, a_3$  bilangan real dan jika  $D = Q^3 + R^2$  adalah diskriminan, maka

- (i) Terdapat satu akar bilangan riil dan dua bilangan kompleks konjugat jika  $D > 0$
- (ii) Semua Akar-akarnya adalah bilangan riil dan pada dua terakhir adalah sama jika  $D = 0$
- (iii) Semua Akar-akarnya adalah bilangan riil dan berbeda jika  $D < 0$

Jika  $D < 0$ , perhitungan disederhanakan dengan menggunakan trigonometri.

Dimana dalam hal ini,

$$T_{BI}^{*3} + \lambda_2(T_{BI}^{*2}) + \lambda_1(T_{BI}^{*}) + \lambda_0 = 0$$

dimana

$$\lambda_0 = \frac{1}{\mu_g} ((NM_I^*)^2 + E) \left[ -\varphi NM_I^* + k_2 NM_I^* + \left( k_3 N_2 M_I^* \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) \right) \right. \\ \left. - \left( \beta_i NM_R^* \left( \frac{T_{BE}^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) \right) + \left( k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) \right) \right. \\ \left. + k_5 N_c M_I^* C^* \right]$$

$$\lambda_1 = (NM_I^*)^2 + E$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{\mu_g} \left[ (k_2 N M_I^*) + \left( k_3 N_2 M_I^* \left( \frac{C^*}{C^* + G_n} \right) \right) - \left( \beta_i N M_R^* \left( \frac{T_{BE}^*}{T_{BE}^* + S_E} \right) \right) \right. \\ \left. + \left( k_4 N_T \left( \frac{M_I^*}{1 + b_0 T_{BI}^*} \right) \left( \frac{T^*}{T^* + A_T} \right) \right) + (k_5 N_c M_I^* C^*) \right]$$

Sehingga nilai ekuilibrium dari bakteri intraselular adalah

$$T_{BI}^* = -\frac{1}{3}(\lambda_2) + (H + O)$$

$$T_{BI}^* = -\frac{1}{3}(\lambda_2) + (H + O) - \frac{1}{2}\sqrt{3(O - H)}$$

$$T_{BI}^* = -\frac{1}{3}(\lambda_2) + (H + O) + \frac{1}{2}\sqrt{3(O - H)}$$

dimana

$$H = \sqrt[3]{R + \sqrt{D}}, O = \sqrt[3]{R - \sqrt{D}}, D = Q^3 + R^2$$

$$R = \frac{9\lambda_1\lambda_2 - 27\lambda_0 - 2\lambda_2^3}{54}$$

$$Q = \frac{3\lambda_1 - \lambda_2^2}{9}$$

Pada Persamaan 3.6 (Nilai ekuilibrium sel T CD4+ pada titik kesetimbangan endemik)

$$\frac{dT}{dt} = S_1 + p_1 \left( \frac{M_A^* + \alpha_T M_I^*}{M_A^* + \alpha_T M_I^* + S_T} \right) T^* - \mu_T T^* = 0$$

$$S_1 + T^* \left( p_1 \left( \frac{M_A^* + \alpha_T M_I^*}{M_A^* + \alpha_T M_I^* + S_T} \right) - \mu_T \right) = 0$$

$$T^* = \frac{-S_1}{p_1 \left( \frac{M_A^* + \alpha_T M_I^*}{M_A^* + \alpha_T M_I^* + S_T} \right) - \left( \frac{\mu_T (M_A^* + \alpha_T M_I^* + S_T)}{M_A^* + \alpha_T M_I^* + S_T} \right)}$$

$$T^* = \frac{-S_1 (M_A^* + \alpha_T M_I^* + S_T)}{p_1 (M_A^* + \alpha_T M_I^*) - \mu_T (M_A^* + \alpha_T M_I^* + S_T)}$$

$$T^* = \frac{-S_1(M_A^* + \alpha_T M_I^* + S_T)}{p_1(M_A^* + \alpha_T M_I^*) - \mu_T(M_A^* + \alpha_T M_I^*) - \mu_T S_T}$$

$$T^* = \frac{S_1(M_A^* + \alpha_T M_I^* + S_T)}{-p_1(M_A^* + \alpha_T M_I^*) + \mu_T(M_A^* + \alpha_T M_I^*) + \mu_T S_T}$$

$$T^* = \frac{S_1(M_A^* + \alpha_T M_I^*) + S_T S_1}{(\mu_T - p_1)(M_A^* + \alpha_T M_I^*) + \mu_T S_T}$$

Pada Persamaan 3.7 (Nilai ekuilibrium sel T CD8+ pada titik kesetimbangan endemik)

$$\frac{dC^*}{dt} = S_2 + p_2 \left( \frac{(M_A^* + \alpha_T M_I^*) T^* C^*}{M_A^* + \alpha_T M_I^* + S_c} \right) - \mu_c C^* = 0$$

$$S_2 + C^* \left( \frac{p_2 (M_A^* + \alpha_T M_I^*) T^*}{M_A^* + \alpha_T M_I^* + S_c} - \mu_c \right) = 0$$

$$C^* = \frac{-S_2}{p_2 \left( \frac{(M_A^* + \alpha_T M_I^*) T^*}{M_A^* + \alpha_T M_I^* + S_c} \right) - \mu_c}$$

$$C^* = \frac{-S_2}{p_2 T^* \left( \frac{(M_A^* + \alpha_T M_I^*)}{M_A^* + \alpha_T M_I^* + S_c} \right) - \frac{\mu_c (M_A^* + \alpha_T M_I^* + S_c)}{M_A^* + \alpha_T M_I^* + S_c}}$$

$$C^* = \frac{-S_2 (M_A^* + \alpha_T M_I^* + S_c)}{p_2 T^* (M_A^* + \alpha_T M_I^*) - \mu_c (M_A^* + \alpha_T M_I^* + S_c)}$$

$$C^* = \frac{S_2 (M_A^* + \alpha_T M_I^* + S_c)}{-p_2 T^* (M_A^* + \alpha_T M_I^*) + \mu_c (M_A^* + \alpha_T M_I^*) + \mu_c S_c}$$

$$C^* = \frac{S_2 (M_A^* + \alpha_T M_I^*) + S_2 S_c}{(\mu_c - p_2 T^*) (M_A^* + \alpha_T M_I^*) + \mu_c S_c}$$

## LAMPIRAN 3

**Perhitungan Secara Manual Matriks Jacobian pada Sistem Persamaan****Differensial Biasa Non Linier Orde 1 (Persamaan (1) Sampai dengan (7)).**

misal:

$$\begin{aligned}
 f_1 &= \beta_m + \alpha_r(M_A + \omega_r M_I) + \sigma M_R \left( \frac{T_{BE} + T_{BI}}{T_{BE} + T_{BI} + S_R} \right) - \beta_i \left( \frac{T_{BE} * M_R}{T_{BE} + S_E} \right) - \alpha M_R \\
 &\quad - \omega M_R \left( \frac{T_{BE} + T_{BI}}{T_{BE} + T_{BI} + S_A} \right) + \mu_d M_A \\
 f_2 &= \beta_i \left( \frac{T_{BE} M_R}{T_{BE} + S_E} \right) - k_2 M_I - k_3 M_I \left( \frac{C}{C + G_n} \right) - k_4 \left( \frac{M_I}{1 + b_0 T_{BI}} \right) \left( \frac{T}{T + A_T} \right) - k_5 M_I C \\
 &\quad - \mu_{MI} M_I \\
 f_3 &= \omega M_R \left( \frac{T_{BE} + T_{BI}}{T_{BE} + T_{BI} + S_A} \right) - \mu_\alpha M_A - \mu_d M_A \\
 f_4 &= N k_2 M_I + k_4 N_T \left( \frac{M_I}{1 + b_0 T_{BI}} \right) \left( \frac{T}{T + A_T} \right) + k_5 N_c M_I C + \gamma_4 T_{BE} \\
 &\quad - \beta_i N_1 M_R \left( \frac{T_{BE} M_R}{T_{BE} + S_E} \right) - \gamma_5 T_{BE} \left( \frac{C}{C + G_n} \right) - \gamma_1 T_{BE} M_A - \gamma_2 T_{BE} M_R \\
 f_5 &= \varphi N M_I \left( 1 - \frac{T_{BI}^2}{T_{BI}^2 + (N M_I)^2 + E} \right) - k_2 N M_I - k_3 N_2 M_I \left( \frac{C}{C + G_n} \right) \\
 &\quad + \beta_i N M_R \left( \frac{T_{BE}}{T_{BE} + S_E} \right) - k_4 N_T \left( \frac{M_I}{1 + b_0 T_{BI}} \right) \left( \frac{T}{T + A_T} \right) - k_5 N_c M_I C \\
 &\quad - \mu_g T_{BI} \\
 f_6 &= S_1 + p_1 \left( \frac{M_A + \alpha_T M_I}{M_A + \alpha_T M_I + S_T} \right) T - \mu_T T \\
 f_7 &= S_2 + p_2 \left( \frac{(M_A + \alpha_T M_I) T C}{M_A + \alpha_T * M_I + S_c} \right) - \mu_c C
 \end{aligned}$$

Sehingga

**Matriks Jacobian pada baris pertama**

$$\frac{\partial f_1}{\partial M_R} = \sigma \left( \frac{T_{BE} + T_{BI}}{T_{BE} + T_{BI} + S_R} \right) - \beta_i \left( \frac{T_{BE}}{T_{BE} + S_E} \right) - \alpha - \omega \left( \frac{T_{BE} + T_{BI}}{T_{BE} + T_{BI} + S_A} \right)$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial M_I} = \alpha_r \omega_r$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial M_A} = \alpha_r + \mu_d$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial T_{BE}} = \frac{\sigma M_R}{S_r} - \frac{\beta_i M_R}{S_E} - \frac{\omega M_R}{S_A}$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial T_{BI}} = \frac{\sigma M_R}{S_r} - \frac{\omega M_R}{S_A}$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial T} = 0$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial C} = 0$$

**Matriks Jacobian pada baris kedua**

$$\frac{\partial f_2}{\partial M_R} = \beta_i \left( \frac{T_{BE} M_R}{T_{BE} + S_E} \right)$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial M_I} = -k_2 - k_3 \left( \frac{C}{C + G_n} \right) - k_4 \left( \frac{1}{1 + b_0 T_{BI}} \right) \left( \frac{T}{T + A_T} \right) - k_5 C - \mu_{MI}$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial M_A} = 0$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial T_{BE}} = \beta_i M_R \left( \frac{S_E}{(T_{BE} + S_E)^2} \right)$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial T_{BI}} = -k_4 M_I \left( \frac{-b_0}{(1 + b_0 T_{BI})^2} \right) \left( \frac{T}{T + A_T} \right)$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial T} = -k_4 \left( \frac{M_I}{(1 + b_0 T_{BI})^2} \right) \left( \frac{T}{T + A_T} \right)$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial C} = -k_3 M_I \left( \frac{G_n}{(C + G_n)^2} \right) - k_5 M_I$$



**Matriks Jacobian pada baris ketiga**

$$\frac{\partial f_3}{\partial M_R} = \omega \left( \frac{T_{BE} + T_{BI}}{T_{BE} + T_{BI} + S_A} \right)$$

$$\frac{\partial f_3}{\partial M_I} = 0$$

$$\frac{\partial f_3}{\partial M_A} = \mu_\alpha - \mu_d$$

$$\frac{\partial f_3}{\partial T_{BE}} = \omega M_R \left( \frac{S_A}{(T_{BE} + T_{BI} + S_A)^2} \right)$$

$$\frac{\partial f_3}{\partial T_{BI}} = \omega M_R \left( \frac{S_A}{(T_{BE} + T_{BI} + S_A)^2} \right)$$

$$\frac{\partial f_3}{\partial T} = 0$$

$$\frac{\partial f_3}{\partial C} = 0$$

**Matriks Jacobian pada baris keempat**

$$\frac{\partial f_4}{\partial M_R} = \beta_i N_1 \left( \frac{T_{BE}}{T_{BE} + S_E} \right) - \gamma_2 T_{BE}$$

$$\frac{\partial f_4}{\partial M_I} = N k_2 + k_4 N_T \left( \frac{1}{1 + b_0 T_{BI}} \right) \left( \frac{T}{T + A_T} \right) + k_5 N_c C$$

$$\frac{\partial f_4}{\partial M_A} = \gamma_1 T_{BE}$$

$$\frac{\partial f_4}{\partial T_{BE}} = \gamma_4 - \beta_i N_1 M_R \left( \frac{S_E}{(T_{BE} + S_E)^2} \right) - \gamma_5 \left( \frac{C}{C + G_n} \right) - \gamma_1 M_A - \gamma_2 M_R$$

$$\frac{\partial f_4}{\partial T_{BI}} = k_4 N_T \left( \frac{-b_0 M_I}{(1 + b_0 T_{BI})^2} \right) \left( \frac{T}{T + A_T} \right)$$

$$\frac{\partial f_4}{\partial T} = k_4 N_T \left( \frac{M_I}{1 + b_0 T_{BI}} \right) \left( \frac{A_T}{(T + A_T)^2} \right)$$

$$\frac{\partial f_4}{\partial C} = k_5 N_c M_I - \gamma_5 T_{BE} \left( \frac{G_n}{(C + G_n)^2} \right)$$

**Matriks Jacobian pada baris kelima**

$$\frac{\partial f_5}{\partial M_R} = \beta_i N \left( \frac{T_{BE}}{T_{BE} + S_E} \right)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial f_5}{\partial M_I} = \varphi N \left( \frac{(3N^2 M_I^2 + E)(T_{BI}^2 + (NM_I)^2 + E) - 2T_{BI}^2(N^2 M_I^3 + EM_I)}{(T_{BI}^2 + (NM_I)^2 + E)^2} \right) - k_2 N \\ - k_3 N_2 \left( \frac{C}{C + G_n} \right) - k_4 N_T \left( \frac{1}{1 + b_0 T_{BI}} \right) \left( \frac{T}{T + A_T} \right) - k_5 N_c C \end{aligned}$$

$$\frac{\partial f_5}{\partial M_A} = 0$$

$$\frac{\partial f_5}{\partial T_{BE}} = \beta_i N_1 M_R \left( \frac{S_E}{(T_{BE} + S_E)^2} \right)$$

$$\frac{\partial f_5}{\partial T_{BI}} = \varphi N M_I \left( \frac{-2T_{BI}((NM_I)^2 + E)}{(T_{BI}^2 + (NM_I)^2 + E)^2} \right) - k_4 N_T \left( \frac{-b_0 M_I}{(1 + b_0 T_{BI})^2} \right) \left( \frac{T}{T + A_T} \right) - \mu_g$$

$$\frac{\partial f_5}{\partial T} = -k_4 N_T \left( \frac{M_I}{1 + b_0 T_{BI}} \right) \left( \frac{A_T}{(T + A_T)^2} \right)$$

$$\frac{\partial f_5}{\partial T} = -k_3 N_2 M_I \left( \frac{G_n}{(C + G_n)^2} \right) - k_5 N_c M_I$$

**Matriks Jacobian pada baris keenam**

$$\frac{\partial f_6}{\partial M_R} = 0$$

$$\frac{\partial f_6}{\partial M_I} = p_1 T \left( \frac{\alpha_T S_T}{(M_A + \alpha_T M_I + S_T)^2} \right)$$

$$\frac{\partial f_6}{\partial M_A} = p_1 T \left( \frac{S_T}{(M_A + \alpha_T M_I + S_T)^2} \right)$$

$$\frac{\partial f_6}{\partial T_{BE}} = 0$$

$$\frac{\partial f_6}{\partial T_{BI}} = 0$$

$$\frac{\partial f_6}{\partial T} = p_1 \left( \frac{M_A + \alpha_T M_I}{M_A + \alpha_T M_I + S_T} \right) - \mu_T$$

$$\frac{\partial f_6}{\partial C} = 0$$

**Matriks Jacobian pada baris ketujuh**

$$\frac{\partial f_7}{\partial M_R} = 0$$

$$\frac{\partial f_7}{\partial M_I} = p_2 TC \left( \frac{\alpha_T S_C}{(M_A + \alpha_T M_I + S_C)^2} \right)$$

$$\frac{\partial f_7}{\partial M_A} = p_2 TC \left( \frac{S_C}{(M_A + \alpha_T M_I + S_C)^2} \right)$$

$$\frac{\partial f_7}{\partial T_{BE}} = 0$$

$$\frac{\partial f_7}{\partial T_{BI}} = 0$$

$$\frac{\partial f_7}{\partial T} = p_2 C \left( \frac{M_A + \alpha_T M_I}{M_A + \alpha_T M_I + S_C} \right)$$

$$\frac{\partial f_7}{\partial C} = p_2 T \left( \frac{M_A + \alpha_T M_I}{M_A + \alpha_T M_I + S_C} \right) - \mu_C$$

## LAMPIRAN 4

**Program Pencarian Titik Tetap pada Model dengan Menggunakan Metode  
Newton Berbantuan Program MATLAB**

```

syms x1 x2 x3 x4 x5 x6 x7
format long
f1=5000+0.05*(x3+0.4*x2)+ 0.01*x1*((x4+x5)/(x4+x5+1000000))-
    0.4*((x4*x1)/(x4+1000000))-0.011*x1-
    0.03*x1*((x4+x5)/(x4+x5+500000))+0.3*x3;
f2=0.4*((x4*x1)/(x4+1000000))-0.4*x2-0.000000125*x2*(x7/(x7+1000))-
    0.000000125*(x2/(1+500000*x5))*(x6/(x6+1000))-0.00000185*x2*x7-
    0.011*x2;
f3=0.03*x1*((x4+x5)/(x4+x5+500000))-0.011*x3-0.3*x3;
f4=50*0.4*x2+0.000000125*40*(x2/(1+500000*x5))*(x6/(x6+1000))+0.00000185*
    40*x2*x7+0.1*x4-0.4*25*x1*(x4/(x4+1000000))-0.85*x4*(x7/(x7+1000))-
    0.000000125*x4*x3-0.0000000125*x4*x1;
f5=0.49*50*x2*(1-(x5^2/(x5^2+(50*x2)^2+10)))-0.4*50*x2-
    0.000000125*30*x2*(x7/(x7+1000))+0.4*25*x1*(x4/(x4+1000000))-
    0.000000125*40*(x2/(1+500000*x5))*(x6/(x6+1000))-0.00000185*40*x2*x7-
    0.011*x5;
f6=100+0.03*((x3+0.3*x2)/(x3+0.3*x2+1500000))*x6-0.01*x6;
f7=100+0.01*((x3+0.3*x2)*x6*x7)/(x3+0.3*x2+1500000))-0.68*x7;
X=[x1 x2 x3 x4 x5 x6 x7];
F=[f1,f2,f3,f4,f5,f6,f7];
J=jacobian(F,X)
x=[0.2;0.9;0.5;0.9;0.7;0.1;0.5];

for i=1:100
    x=x-inv(subs(J,X,x))*subs(F,X,x)';
end
x
subs(F,X,x)'
```

Command window

J =

[1/100\*(x4+x5)/(x4+x5+1000000)-2/5\*x4/(x4+1000000)-11/1000-3/100\*(x4+x5)/(x4+x5+500000),

1/50,

7/20,

1/100\*x1/(x4+x5+1000000)-1/100\*x1\*(x4+x5)/(x4+x5+1000000)^2-

2/5\*x1/(x4+1000000)+2/5\*x4\*x1/(x4+1000000)^2-

3/100\*x1/(x4+x5+500000)+3/100\*x1\*(x4+x5)/(x4+x5+500000)^2,

1/100\*x1/(x4+x5+1000000)-1/100\*x1\*(x4+x5)/(x4+x5+1000000)^2-

3/100\*x1/(x4+x5+500000)+3/100\*x1\*(x4+x5)/(x4+x5+500000)^2,

0,

0]

[2/5\*x4/(x4+1000000),

-411/1000-4722366482869645/37778931862957161709568\*x7/(x7+1000)-

4722366482869645/37778931862957161709568/(1+500000\*x5)\*x6/(x6+1000)-

2184094498327211/1180591620717411303424\*x7,

0,

2/5\*x1/(x4+1000000)-2/5\*x4\*x1/(x4+1000000)^2,

73786976294838203125/1180591620717411303424\*x2/(1+500000\*x5)^2\*x6/(x6+1000),

4722366482869645/37778931862957161709568\*x2/(1+500000\*x5)/(x6+1000)+47

22366482869645/37778931862957161709568\*x2/(1+500000\*x5)\*x6/(x6+1000)^2,

-4722366482869645/37778931862957161709568\*x2/(x7+1000)

+4722366482869645/37778931862957161709568\*x2\*x7/(x7+1000)^2-

2184094498327211/1180591620717411303424\*x2]

[3/100\*(x4+x5)/(x4+x5+500000),

0,

-311/1000,

3/100\*x1/(x4+x5+500000)-3/100\*x1\*(x4+x5)/(x4+x5+500000)^2,

3/100\*x1/(x4+x5+500000)-3/100\*x1\*(x4+x5)/(x4+x5+500000)^2,

0,

0]

[-10\*x4/(x4+1000000)-944473296573929/75557863725914323419136\*x4,

20+368934881474191/73786976294838206464/(1+500000\*x5)\*x6/(x6+1000)+136

5059061454507/18446744073709551616\*x7,

-4722366482869645/37778931862957161709568\*x4,

1/10-10\*x1/(x4+1000000)+10\*x4\*x1/(x4+1000000)^2-17/20\*x7/(x7+1000)-

4722366482869645/37778931862957161709568\*x3-

$$\begin{aligned}
 &944473296573929/75557863725914323419136*x1, \\
 &-5764607523034234375/2305843009213693952*x2/(1+500000*x5)^2 \\
 &*x6/(x6+1000), \\
 &368934881474191/73786976294838206464*x2/(1+500000*x5)/(x6+1000)- \\
 &368934881474191/73786976294838206464*x2/(1+500000*x5)*x6/(x6+1000)^2, \\
 &1365059061454507/18446744073709551616*x2- \\
 &17/20*x4/(x7+1000)+17/20*x4*x7/(x7+1000)^2]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &[10*x4/(x4+1000000), \\
 &9/2-49/2*x5^2/(x5^2+2500*x2^2+10) \\
 &+122500*x2^2*x5^2/(x5^2+2500*x2^2+10)^2- \\
 &1106804644422573/295147905179352825856*x7/(x7+1000)- \\
 &368934881474191/73786976294838206464/(1+500000*x5)*x6/(x6+1000)- \\
 &1365059061454507/18446744073709551616*x7, \\
 &0, \\
 &10*x1/(x4+1000000)-10*x4*x1/(x4+1000000)^2, \\
 &49/2*x2*(-2*x5/(x5^2+2500*x2^2+10)+2*x5^3/(x5^2+2500*x2^2+10)^2) \\
 &+5764607523034234375/2305843009213693952*x2/(1+500000*x5)^2*x6/(x6+1000) \\
 &0)-11/1000, \\
 &368934881474191/73786976294838206464*x2/(1+500000*x5)/(x6+1000)+368934 \\
 &881474191/73786976294838206464*x2/(1+500000*x5)*x6/(x6+1000)^2, \\
 &-1106804644422573/295147905179352825856 \\
 &*x2/(x7+1000)+1106804644422573/295147905179352825856*x2*x7/(x7+1000)^2- \\
 &1365059061454507/18446744073709551616*x2]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &[0, \\
 &9/1000/(x3+3/10*x2+1500000)*x6- \\
 &9/1000*(x3+3/10*x2)/(x3+3/10*x2+1500000)^2*x6, \\
 &3/100/(x3+3/10*x2+1500000)*x6- \\
 &3/100*(x3+3/10*x2)/(x3+3/10*x2+1500000)^2*x6, \\
 &0, \\
 &0, \\
 &3/100*(x3+3/10*x2)/(x3+3/10*x2+1500000)-1/100, \\
 &0]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &[0, \\
 &3/1000*x6*x7/(x3+3/10*x2+1500000)- \\
 &3/1000*(x3+3/10*x2)*x6*x7/(x3+3/10*x2+1500000)^2, \\
 &1/100*x6*x7/(x3+3/10*x2+1500000)- \\
 &1/100*(x3+3/10*x2)*x6*x7/(x3+3/10*x2+1500000)^2, \\
 &0, \\
 &0, \\
 &1/100*(x3+3/10*x2)*x7/(x3+3/10*x2+1500000), \\
 &1/100*(x3+3/10*x2)/(x3+3/10*x2+1500000)*x6-17/25]
 \end{aligned}$$



x =

1.0e+005 \*

4.54545454545455  
-0.000000000000000  
0.000000000000000  
-0.000000000000000  
-0.000000000000000  
0.100000000000000  
0.00147058823529

ans =

1.0e-013 \*

0.000000000000000  
-0.000000000000000  
-0.000000000000000  
0.000000000000000  
0.000000000000000  
0  
0.14210854715202



## LAMPIRAN 5

**Output Hasil Iterasi Titik Kesetimbangan Kedua dengan Menggunakan  
Simulasi Numerik ODE 45**

```
>> size(y)
```

```
ans =
```

```
1717      7
```

$M_R$	$M_I$	$M_A$	$T_{BE}$	$T_{BI}$	$T$	$C$
>> y(:,1) ans =	>> y(:,2) ans =	>> y(:,3) ans =	>> y(:,4) ans =	>> y(:,5) ans =	>> y(:,6) ans =	>> y(:,7) ans =
1.0e+005 *	1.0e+004 *	1.0e+003 *	1.0e+006 *	1.0e+006 *	1.0e+004 *	140.0000
1.0000	0	0	0.0020	0	0.0500	140.0000
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0000
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0000
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0000
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0000
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0000
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0000
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0000
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0000
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0000
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0000
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0000
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0000
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0000
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0000
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0000
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0000
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0001
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0001
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0002
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0002
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0003
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0004
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0008
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0011
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0015
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0019
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0038
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0057
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0075
1.0000	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0094
1.0001	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0189
1.0001	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0283
1.0001	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0377
1.0002	0.0000	0.0000	0.0020	0.0000	0.0500	140.0470
1.0003	0.0001	0.0001	0.0020	0.0000	0.0501	140.0938
1.0004	0.0001	0.0001	0.0020	0.0000	0.0501	140.1402
1.0007	0.0002	0.0001	0.0020	0.0000	0.0501	140.1863
1.0011	0.0002	0.0002	0.0019	0.0000	0.0502	140.2321

1.0015	0.0003	0.0004	0.0019	0.0001	0.0503	140.4566
1.0019	0.0004	0.0005	0.0019	0.0001	0.0504	140.6737
1.0037	0.0007	0.0006	0.0018	0.0001	0.0505	140.8838
1.0056	0.0011	0.0012	0.0017	0.0002	0.0509	141.0869
1.0075	0.0014	0.0017	0.0017	0.0003	0.0514	141.4956
1.0094	0.0017	0.0023	0.0016	0.0004	0.0519	141.8765
1.0133	0.0022	0.0029	0.0015	0.0004	0.0523	142.2314
1.0173	0.0027	0.0040	0.0014	0.0006	0.0533	142.5623
1.0213	0.0032	0.0052	0.0013	0.0007	0.0543	142.9292
1.0253	0.0036	0.0064	0.0012	0.0009	0.0553	143.2665
1.0300	0.0040	0.0076	0.0012	0.0010	0.0563	143.5766
1.0348	0.0044	0.0090	0.0011	0.0012	0.0574	143.8616
1.0395	0.0047	0.0104	0.0011	0.0013	0.0586	144.1613
1.0443	0.0050	0.0119	0.0011	0.0014	0.0598	144.4333
1.0497	0.0054	0.0134	0.0011	0.0015	0.0610	144.6804
1.0551	0.0057	0.0152	0.0011	0.0017	0.0623	144.9047
1.0606	0.0060	0.0170	0.0011	0.0018	0.0637	145.1332
1.0660	0.0063	0.0189	0.0011	0.0020	0.0650	145.3383
1.0721	0.0066	0.0208	0.0011	0.0021	0.0663	145.5225
1.0782	0.0069	0.0231	0.0011	0.0022	0.0678	145.6879
1.0842	0.0072	0.0254	0.0011	0.0024	0.0694	145.8669
1.0903	0.0075	0.0278	0.0012	0.0025	0.0709	146.0243
1.0976	0.0080	0.0303	0.0012	0.0027	0.0724	146.1627
1.1050	0.0084	0.0335	0.0013	0.0029	0.0742	146.2848
1.1123	0.0088	0.0368	0.0013	0.0031	0.0760	146.4201
1.1196	0.0093	0.0403	0.0014	0.0033	0.0778	146.5358
1.1288	0.0099	0.0439	0.0015	0.0035	0.0796	146.6351
1.1381	0.0105	0.0488	0.0015	0.0038	0.0819	146.7208
1.1473	0.0112	0.0540	0.0016	0.0041	0.0842	146.8345
1.1564	0.0120	0.0595	0.0017	0.0044	0.0865	146.9271
1.1708	0.0132	0.0653	0.0019	0.0047	0.0888	147.0041
1.1850	0.0146	0.0752	0.0021	0.0053	0.0924	147.0705
1.1992	0.0162	0.0862	0.0023	0.0059	0.0960	147.1228
1.2132	0.0179	0.0982	0.0025	0.0066	0.0996	147.1716
1.2252	0.0196	0.1115	0.0027	0.0073	0.1032	147.2187
1.2371	0.0214	0.1240	0.0029	0.0080	0.1062	147.2653
1.2490	0.0233	0.1377	0.0031	0.0088	0.1093	147.3089
1.2607	0.0255	0.1527	0.0034	0.0096	0.1123	147.3539
1.2714	0.0276	0.1690	0.0037	0.0105	0.1153	147.4012
1.2820	0.0300	0.1852	0.0039	0.0114	0.1181	147.4514
1.2925	0.0325	0.2029	0.0042	0.0124	0.1209	147.5060
1.3029	0.0353	0.2220	0.0046	0.0135	0.1236	147.5650
1.3133	0.0383	0.2427	0.0049	0.0146	0.1263	147.6291
1.3236	0.0416	0.2655	0.0053	0.0159	0.1291	147.6992
1.3337	0.0452	0.2901	0.0057	0.0172	0.1319	147.7767
1.3438	0.0491	0.3169	0.0062	0.0187	0.1346	147.8618
1.3538	0.0534	0.3460	0.0067	0.0204	0.1373	147.9554
1.3636	0.0581	0.3779	0.0072	0.0221	0.1401	148.0585
1.3733	0.0631	0.4124	0.0078	0.0241	0.1428	148.1719
1.3829	0.0687	0.4499	0.0084	0.0262	0.1456	148.2969
1.3922	0.0747	0.4906	0.0091	0.0285	0.1483	148.4346
1.4014	0.0812	0.5345	0.0099	0.0310	0.1510	148.5863
1.4104	0.0883	0.5822	0.0107	0.0337	0.1537	148.7539
1.4192	0.0960	0.6337	0.0116	0.0366	0.1564	148.9385
1.4277	0.1045	0.6895	0.0125	0.0398	0.1591	149.1417

1.4361	0.1136	0.7499	0.0135	0.0433	0.1617	149.3654
1.4441	0.1236	0.8151	0.0147	0.0471	0.1644	149.6146
1.4520	0.1345	0.8855	0.0159	0.0512	0.1671	149.8889
1.4596	0.1465	0.9613	0.0172	0.0557	0.1697	150.1905
1.4669	0.1595	1.0440	0.0187	0.0607	0.1724	150.5219
1.4739	0.1737	1.1329	0.0203	0.0661	0.1751	150.8959
1.4805	0.1891	1.2285	0.0220	0.0720	0.1777	151.3072
1.4868	0.2064	1.3310	0.0240	0.0784	0.1804	151.7592
1.4928	0.2252	1.4437	0.0261	0.0855	0.1831	152.2554
1.4983	0.2457	1.5643	0.0284	0.0933	0.1858	152.8291
1.5032	0.2681	1.6933	0.0310	0.1018	0.1885	153.4606
1.5079	0.2937	1.8308	0.0339	0.1111	0.1912	154.1550
1.5119	0.3217	1.9848	0.0371	0.1217	0.1940	154.9177
1.5152	0.3524	2.1487	0.0407	0.1334	0.1968	155.8604
1.5178	0.3858	2.3226	0.0446	0.1461	0.1996	156.9047
1.5197	0.4269	2.5064	0.0494	0.1600	0.2024	158.0601
1.5206	0.4722	2.7245	0.0548	0.1772	0.2055	159.3353
1.5203	0.5220	2.9547	0.0608	0.1961	0.2086	160.5378
1.5188	0.5767	3.1966	0.0675	0.2169	0.2117	161.8439
1.5163	0.6283	3.4496	0.0739	0.2398	0.2147	163.2614
1.5129	0.6839	3.6759	0.0809	0.2614	0.2174	164.7962
1.5082	0.7439	3.9090	0.0887	0.2847	0.2200	166.4535
1.5024	0.8087	4.1479	0.0972	0.3100	0.2227	168.2441
1.4953	0.8786	4.3917	0.1065	0.3373	0.2253	170.1779
1.4868	0.9536	4.6391	0.1169	0.3669	0.2279	172.2600
1.4770	1.0337	4.8889	0.1283	0.3987	0.2305	174.3971
1.4656	1.1195	5.1397	0.1410	0.4328	0.2331	176.6865
1.4533	1.2073	5.3899	0.1541	0.4695	0.2357	179.1376
1.4394	1.3004	5.6276	0.1687	0.5071	0.2382	181.7539
1.4241	1.3984	5.8619	0.1847	0.5472	0.2406	184.4635
1.4071	1.5018	6.0911	0.2024	0.5897	0.2431	187.3441
1.3890	1.6079	6.3139	0.2211	0.6348	0.2456	190.4039
1.3693	1.7186	6.5232	0.2416	0.6812	0.2479	193.6432
1.3481	1.8334	6.7235	0.2642	0.7300	0.2503	197.1205
1.3253	1.9523	6.9132	0.2889	0.7811	0.2527	200.7921
1.3004	2.0774	7.0910	0.3163	0.8345	0.2550	204.6630
1.2740	2.2054	7.2586	0.3463	0.8911	0.2574	208.7253
1.2460	2.3352	7.4113	0.3791	0.9497	0.2598	213.1751
1.2166	2.4664	7.5479	0.4149	1.0100	0.2622	217.8256
1.1842	2.6048	7.6674	0.4556	1.0718	0.2646	222.6707
1.1505	2.7420	7.7737	0.4999	1.1379	0.2671	227.6831
1.1156	2.8764	7.8594	0.5482	1.2049	0.2696	233.2373
1.0797	3.0068	7.9240	0.6003	1.2721	0.2720	238.9278
1.0400	3.1420	7.9672	0.6606	1.3391	0.2745	244.7209
0.9996	3.2687	7.9900	0.7255	1.4105	0.2772	250.5487
0.9589	3.3848	7.9880	0.7950	1.4802	0.2798	256.9206
0.9182	3.4890	7.9617	0.8686	1.5474	0.2824	263.1799
0.8735	3.5894	7.9120	0.9540	1.6114	0.2851	269.2502
0.8295	3.6720	7.8318	1.0434	1.6775	0.2880	275.0048
0.7865	3.7355	7.7266	1.1364	1.7379	0.2908	280.8383
0.7448	3.7801	7.5983	1.2318	1.7920	0.2937	286.0484
0.7005	3.8082	7.4497	1.3385	1.8393	0.2966	290.5540
0.6584	3.8138	7.2652	1.4458	1.8833	0.2997	294.2156
0.6187	3.7979	7.0627	1.5526	1.9183	0.3028	297.1012
0.5815	3.7629	6.8455	1.6575	1.9443	0.3060	298.8651



0.5437	3.7066	6.6176	1.7678	1.9615	0.3091	299.5391
0.5088	3.6333	6.3608	1.8734	1.9709	0.3124	299.0962
0.4769	3.5456	6.0990	1.9739	1.9711	0.3158	297.3315
0.4478	3.4473	5.8355	2.0681	1.9629	0.3191	294.4593
0.4189	3.3320	5.5737	2.1632	1.9475	0.3225	290.6802
0.3929	3.2108	5.2920	2.2506	1.9234	0.3261	286.1195
0.3696	3.0861	5.0182	2.3307	1.8931	0.3297	280.4496
0.3488	2.9613	4.7541	2.4034	1.8576	0.3333	274.3307
0.3287	2.8292	4.5017	2.4739	1.8182	0.3368	267.9967
0.3109	2.7010	4.2431	2.5373	1.7724	0.3407	261.5977
0.2952	2.5778	4.0002	2.5945	1.7243	0.3445	254.6528
0.2814	2.4613	3.7734	2.6460	1.6750	0.3483	247.9804
0.2680	2.3427	3.5629	2.6963	1.6252	0.3521	241.7029
0.2564	2.2331	3.3508	2.7415	1.5710	0.3562	235.8734
0.2462	2.1321	3.1572	2.7825	1.5176	0.3603	229.8885
0.2374	2.0402	2.9810	2.8196	1.4657	0.3643	224.5430
0.2287	1.9478	2.8214	2.8570	1.4156	0.3684	219.8334
0.2212	1.8655	2.6610	2.8909	1.3620	0.3729	215.7121
0.2148	1.7921	2.5183	2.9219	1.3111	0.3773	211.6083
0.2093	1.7274	2.3917	2.9501	1.2632	0.3818	208.1632
0.2038	1.6627	2.2798	2.9794	1.2183	0.3862	205.3086
0.1991	1.6070	2.1671	3.0060	1.1703	0.3912	202.9501
0.1952	1.5589	2.0698	3.0302	1.1261	0.3962	200.6604
0.1919	1.5177	1.9857	3.0520	1.0857	0.4011	198.8908
0.1885	1.4766	1.9133	3.0753	1.0488	0.4060	197.5576
0.1857	1.4425	1.8400	3.0960	1.0091	0.4119	196.5703
0.1835	1.4140	1.7789	3.1144	0.9739	0.4177	195.7240
0.1816	1.3906	1.7279	3.1305	0.9428	0.4234	195.2346
0.1796	1.3670	1.6855	3.1477	0.9154	0.4290	195.0105
0.1781	1.3485	1.6422	3.1619	0.8858	0.4361	195.0070
0.1769	1.3337	1.6078	3.1734	0.8609	0.4431	195.2930
0.1760	1.3220	1.5806	3.1823	0.8401	0.4500	195.7644
0.1751	1.3111	1.5590	3.1902	0.8228	0.4568	196.3279
0.1744	1.3028	1.5380	3.1944	0.8052	0.4653	197.0151
0.1739	1.2963	1.5223	3.1952	0.7915	0.4736	197.9391
0.1736	1.2914	1.5107	3.1928	0.7808	0.4819	198.9355
0.1733	1.2878	1.5021	3.1867	0.7725	0.4900	199.9918
0.1732	1.2850	1.4951	3.1772	0.7653	0.4990	201.0703
0.1732	1.2822	1.4901	3.1648	0.7600	0.5078	201.9094
0.1732	1.2801	1.4866	3.1493	0.7561	0.5164	202.7995
0.1733	1.2793	1.4843	3.1344	0.7531	0.5250	203.7862
0.1734	1.2784	1.4832	3.1181	0.7512	0.5318	204.7537
0.1735	1.2773	1.4825	3.1007	0.7496	0.5385	205.5937
0.1737	1.2763	1.4820	3.0819	0.7484	0.5451	206.4920
0.1739	1.2760	1.4819	3.0612	0.7473	0.5516	207.5046
0.1741	1.2755	1.4823	3.0396	0.7465	0.5581	208.4901
0.1744	1.2746	1.4828	3.0175	0.7458	0.5644	209.3234
0.1747	1.2738	1.4833	2.9944	0.7452	0.5707	210.2267
0.1750	1.2738	1.4841	2.9694	0.7446	0.5768	211.2723
0.1753	1.2734	1.4853	2.9441	0.7442	0.5830	212.2803
0.1756	1.2726	1.4865	2.9188	0.7438	0.5890	213.0669
0.1760	1.2719	1.4876	2.8927	0.7434	0.5950	213.9293
0.1763	1.2720	1.4889	2.8662	0.7430	0.6009	214.9422
0.1767	1.2718	1.4906	2.8396	0.7428	0.6065	215.9175
0.1771	1.2710	1.4923	2.8136	0.7425	0.6121	216.6716

0.1775	1.2703	1.4938	2.7871	0.7422	0.6176	217.4935
0.1779	1.2705	1.4954	2.7607	0.7419	0.6230	218.4447
0.1783	1.2703	1.4974	2.7344	0.7417	0.6281	219.3661
0.1787	1.2696	1.4993	2.7088	0.7415	0.6331	220.1229
0.1792	1.2691	1.5011	2.6831	0.7413	0.6381	220.9379
0.1796	1.2692	1.5030	2.6568	0.7411	0.6431	221.8654
0.1800	1.2691	1.5052	2.6308	0.7409	0.6479	222.7664
0.1805	1.2685	1.5074	2.6056	0.7408	0.6526	223.5359
0.1810	1.2680	1.5094	2.5803	0.7406	0.6573	224.3647
0.1814	1.2682	1.5115	2.5539	0.7404	0.6620	225.3129
0.1819	1.2681	1.5140	2.5280	0.7403	0.6667	226.2304
0.1824	1.2675	1.5165	2.5029	0.7401	0.6713	226.9885
0.1829	1.2670	1.5187	2.4779	0.7399	0.6759	227.8156
0.1834	1.2673	1.5211	2.4521	0.7398	0.6804	228.7841
0.1839	1.2673	1.5239	2.4269	0.7397	0.6849	229.7148
0.1845	1.2666	1.5265	2.4027	0.7395	0.6893	230.4381
0.1850	1.2661	1.5290	2.3787	0.7394	0.6937	231.2368
0.1855	1.2665	1.5315	2.3545	0.7392	0.6980	232.1860
0.1860	1.2665	1.5344	2.3310	0.7392	0.7022	233.0967
0.1866	1.2659	1.5372	2.3086	0.7391	0.7064	233.7944
0.1871	1.2654	1.5397	2.2864	0.7389	0.7105	234.5631
0.1876	1.2658	1.5423	2.2643	0.7388	0.7145	235.4695
0.1882	1.2659	1.5452	2.2428	0.7387	0.7184	236.3427
0.1887	1.2653	1.5480	2.2223	0.7386	0.7222	237.0377
0.1892	1.2649	1.5506	2.2021	0.7385	0.7260	237.7968
0.1897	1.2653	1.5532	2.1815	0.7384	0.7297	238.6811
0.1903	1.2653	1.5561	2.1616	0.7384	0.7334	239.5348
0.1908	1.2648	1.5590	2.1426	0.7383	0.7370	240.2338
0.1914	1.2645	1.5616	2.1239	0.7382	0.7406	240.9970
0.1919	1.2649	1.5643	2.1045	0.7381	0.7441	241.8891
0.1924	1.2650	1.5673	2.0857	0.7381	0.7476	242.7477
0.1930	1.2645	1.5703	2.0679	0.7380	0.7511	243.4349
0.1935	1.2641	1.5729	2.0503	0.7380	0.7546	244.1933
0.1940	1.2646	1.5757	2.0320	0.7379	0.7580	245.0963
0.1946	1.2647	1.5788	2.0145	0.7379	0.7614	245.9604
0.1951	1.2641	1.5818	1.9979	0.7378	0.7647	246.6189
0.1957	1.2638	1.5845	1.9815	0.7377	0.7680	247.3544
0.1962	1.2643	1.5872	1.9648	0.7377	0.7713	248.2440
0.1967	1.2645	1.5903	1.9488	0.7377	0.7745	249.0930
0.1973	1.2639	1.5933	1.9337	0.7376	0.7776	249.7259
0.1978	1.2635	1.5959	1.9188	0.7376	0.7807	250.4341
0.1983	1.2641	1.5986	1.9036	0.7375	0.7838	251.2900
0.1988	1.2643	1.6017	1.8891	0.7375	0.7868	252.1083
0.1993	1.2637	1.6046	1.8755	0.7375	0.7897	252.7305
0.1998	1.2634	1.6072	1.8620	0.7375	0.7926	253.4230
0.2003	1.2639	1.6098	1.8482	0.7374	0.7955	254.2527
0.2008	1.2641	1.6128	1.8349	0.7374	0.7983	255.0475
0.2013	1.2636	1.6156	1.8224	0.7374	0.8011	255.6652
0.2018	1.2633	1.6181	1.8101	0.7374	0.8038	256.3521
0.2023	1.2639	1.6207	1.7972	0.7373	0.8065	257.1766
0.2028	1.2640	1.6236	1.7848	0.7374	0.8092	257.9645
0.2033	1.2636	1.6264	1.7733	0.7374	0.8118	258.5682
0.2038	1.2633	1.6289	1.7619	0.7373	0.8145	259.2458
0.2043	1.2638	1.6314	1.7498	0.7373	0.8171	260.0729
0.2047	1.2640	1.6344	1.7383	0.7373	0.8196	260.8588



0.2052	1.2635	1.6372	1.7276	0.7373	0.8222	261.4348
0.2057	1.2632	1.6396	1.7170	0.7373	0.8247	262.0906
0.2062	1.2638	1.6421	1.7059	0.7373	0.8272	262.9067
0.2066	1.2641	1.6450	1.6953	0.7373	0.8296	263.6791
0.2071	1.2635	1.6477	1.6855	0.7373	0.8320	264.2266
0.2076	1.2632	1.6500	1.6758	0.7373	0.8344	264.8546
0.2080	1.2638	1.6524	1.6656	0.7372	0.8367	265.6411
0.2085	1.2640	1.6552	1.6559	0.7373	0.8390	266.3858
0.2089	1.2635	1.6578	1.6471	0.7373	0.8413	266.9162
0.2094	1.2632	1.6600	1.6383	0.7373	0.8435	267.5229
0.2098	1.2638	1.6623	1.6289	0.7372	0.8457	268.2786
0.2102	1.2640	1.6650	1.6201	0.7373	0.8478	268.9956
0.2107	1.2636	1.6675	1.6120	0.7373	0.8500	269.5165
0.2111	1.2632	1.6696	1.6039	0.7373	0.8520	270.1103
0.2115	1.2638	1.6718	1.5952	0.7372	0.8541	270.8478
0.2119	1.2641	1.6744	1.5870	0.7373	0.8561	271.5471
0.2123	1.2636	1.6768	1.5795	0.7373	0.8582	272.0556
0.2127	1.2633	1.6789	1.5720	0.7373	0.8601	272.6383
0.2131	1.2639	1.6811	1.5638	0.7373	0.8621	273.3690
0.2135	1.2641	1.6836	1.5561	0.7373	0.8641	274.0592
0.2139	1.2636	1.6860	1.5491	0.7373	0.8660	274.5457
0.2144	1.2633	1.6880	1.5421	0.7373	0.8679	275.1105
0.2147	1.2639	1.6901	1.5345	0.7373	0.8698	275.8321
0.2151	1.2642	1.6926	1.5273	0.7373	0.8716	276.5106
0.2155	1.2637	1.6948	1.5208	0.7374	0.8734	276.9705
0.2159	1.2633	1.6968	1.5143	0.7373	0.8753	277.5109
0.2163	1.2640	1.6988	1.5072	0.7373	0.8770	278.2104
0.2166	1.2642	1.7012	1.5006	0.7374	0.8788	278.8670
0.2170	1.2637	1.7034	1.4946	0.7374	0.8805	279.3067
0.2174	1.2634	1.7053	1.4887	0.7373	0.8822	279.8241
0.2177	1.2640	1.7072	1.4821	0.7373	0.8839	280.4936
0.2181	1.2643	1.7095	1.4760	0.7374	0.8855	281.1231
0.2185	1.2638	1.7116	1.4705	0.7374	0.8871	281.5509
0.2188	1.2635	1.7133	1.4650	0.7374	0.8887	282.0526
0.2192	1.2641	1.7152	1.4589	0.7374	0.8903	282.6988
0.2195	1.2643	1.7174	1.4532	0.7374	0.8919	283.3069
0.2198	1.2638	1.7194	1.4481	0.7374	0.8934	283.7236
0.2202	1.2635	1.7211	1.4430	0.7374	0.8949	284.2138
0.2205	1.2641	1.7229	1.4372	0.7374	0.8964	284.8491
0.2208	1.2644	1.7250	1.4318	0.7374	0.8979	285.4451
0.2212	1.2639	1.7270	1.4271	0.7375	0.8994	285.8434
0.2215	1.2636	1.7286	1.4222	0.7374	0.9008	286.3186
0.2218	1.2642	1.7303	1.4168	0.7374	0.9022	286.9471
0.2221	1.2645	1.7324	1.4117	0.7375	0.9036	287.5334
0.2225	1.2640	1.7343	1.4072	0.7375	0.9050	287.9070
0.2228	1.2636	1.7359	1.4027	0.7375	0.9064	288.3610
0.2231	1.2643	1.7376	1.3976	0.7374	0.9078	288.9740
0.2234	1.2645	1.7396	1.3928	0.7375	0.9091	289.5440
0.2237	1.2640	1.7414	1.3887	0.7375	0.9105	289.8961
0.2240	1.2637	1.7429	1.3846	0.7375	0.9118	290.3276
0.2243	1.2643	1.7445	1.3798	0.7375	0.9130	290.9146
0.2246	1.2646	1.7465	1.3753	0.7375	0.9143	291.4605
0.2249	1.2641	1.7482	1.3715	0.7376	0.9155	291.7997
0.2252	1.2637	1.7496	1.3677	0.7375	0.9168	292.2143
0.2255	1.2644	1.7511	1.3632	0.7375	0.9180	292.7757

0.2257	1.2646	1.7530	1.3591	0.7376	0.9192	293.2988
0.2260	1.2641	1.7547	1.3555	0.7376	0.9203	293.6288
0.2263	1.2638	1.7561	1.3519	0.7375	0.9215	294.0320
0.2266	1.2644	1.7575	1.3477	0.7375	0.9226	294.5788
0.2268	1.2647	1.7593	1.3438	0.7376	0.9238	295.0875
0.2271	1.2642	1.7609	1.3404	0.7376	0.9249	295.4034
0.2274	1.2639	1.7622	1.3370	0.7376	0.9260	295.7947
0.2277	1.2645	1.7636	1.3330	0.7376	0.9271	296.3356
0.2279	1.2647	1.7654	1.3293	0.7376	0.9281	296.8358
0.2282	1.2642	1.7670	1.3261	0.7376	0.9292	297.1301
0.2285	1.2639	1.7682	1.3229	0.7376	0.9303	297.5041
0.2287	1.2646	1.7696	1.3191	0.7376	0.9313	298.0362
0.2289	1.2648	1.7713	1.3156	0.7377	0.9323	298.5254
0.2292	1.2643	1.7728	1.3127	0.7377	0.9334	298.7980
0.2295	1.2640	1.7740	1.3097	0.7376	0.9344	299.1516
0.2297	1.2646	1.7753	1.3060	0.7376	0.9354	299.6636
0.2299	1.2649	1.7769	1.3027	0.7377	0.9363	300.1339
0.2302	1.2644	1.7784	1.3001	0.7377	0.9373	300.3927
0.2304	1.2640	1.7795	1.2973	0.7377	0.9382	300.7291
0.2306	1.2647	1.7807	1.2939	0.7377	0.9391	301.2159
0.2309	1.2649	1.7823	1.2908	0.7377	0.9401	301.6639
0.2311	1.2644	1.7837	1.2883	0.7377	0.9410	301.9152
0.2314	1.2641	1.7848	1.2857	0.7377	0.9418	302.2404
0.2316	1.2647	1.7859	1.2825	0.7377	0.9427	302.7091
0.2318	1.2649	1.7875	1.2796	0.7377	0.9436	303.1405
0.2320	1.2645	1.7888	1.2772	0.7378	0.9444	303.3822
0.2322	1.2642	1.7898	1.2748	0.7377	0.9453	303.6980
0.2324	1.2648	1.7909	1.2717	0.7377	0.9461	304.1598
0.2326	1.2650	1.7924	1.2689	0.7378	0.9469	304.5828
0.2329	1.2645	1.7937	1.2667	0.7378	0.9478	304.8070
0.2331	1.2642	1.7947	1.2644	0.7378	0.9486	305.1096
0.2333	1.2649	1.7958	1.2614	0.7377	0.9494	305.5676
0.2335	1.2651	1.7972	1.2588	0.7378	0.9502	305.9837
0.2337	1.2646	1.7985	1.2567	0.7378	0.9509	306.1869
0.2339	1.2643	1.7994	1.2545	0.7378	0.9517	306.4719
0.2341	1.2649	1.8005	1.2517	0.7378	0.9525	306.9175
0.2343	1.2652	1.8019	1.2492	0.7378	0.9532	307.3207
0.2345	1.2646	1.8031	1.2473	0.7379	0.9540	307.5090
0.2347	1.2643	1.8040	1.2453	0.7378	0.9547	307.7773
0.2349	1.2649	1.8049	1.2426	0.7378	0.9554	308.2005
0.2350	1.2652	1.8063	1.2402	0.7379	0.9561	308.5841
0.2352	1.2647	1.8074	1.2385	0.7379	0.9568	308.7659
0.2354	1.2644	1.8083	1.2366	0.7379	0.9575	309.0231
0.2356	1.2650	1.8092	1.2341	0.7378	0.9582	309.4256
0.2358	1.2652	1.8104	1.2319	0.7379	0.9588	309.7913
0.2360	1.2648	1.8116	1.2302	0.7379	0.9595	309.9675
0.2361	1.2645	1.8124	1.2284	0.7379	0.9601	310.2171
0.2363	1.2650	1.8132	1.2260	0.7379	0.9608	310.6101
0.2365	1.2653	1.8145	1.2239	0.7379	0.9614	310.9659
0.2366	1.2648	1.8155	1.2223	0.7379	0.9620	311.1294
0.2368	1.2645	1.8163	1.2206	0.7379	0.9626	311.3696
0.2370	1.2651	1.8171	1.2183	0.7379	0.9633	311.7612
0.2371	1.2654	1.8184	1.2163	0.7380	0.9639	312.1126
0.2373	1.2649	1.8194	1.2148	0.7380	0.9645	312.2569
0.2375	1.2645	1.8201	1.2132	0.7379	0.9651	312.4829

0.2376	1.2652	1.8209	1.2110	0.7379	0.9657	312.8696
0.2378	1.2654	1.8221	1.2090	0.7380	0.9662	313.2138
0.2380	1.2649	1.8231	1.2077	0.7380	0.9668	313.3420
0.2381	1.2646	1.8238	1.2062	0.7380	0.9674	313.5524
0.2383	1.2652	1.8246	1.2041	0.7380	0.9679	313.9224
0.2384	1.2655	1.8257	1.2022	0.7380	0.9685	314.2517
0.2386	1.2650	1.8267	1.2010	0.7380	0.9690	314.3732
0.2387	1.2646	1.8273	1.1996	0.7380	0.9695	314.5724
0.2389	1.2652	1.8280	1.1976	0.7380	0.9701	314.9209
0.2390	1.2655	1.8291	1.1959	0.7380	0.9706	315.2323
0.2392	1.2650	1.8300	1.1947	0.7381	0.9711	315.3514
0.2393	1.2647	1.8306	1.1934	0.7380	0.9716	315.5443
0.2394	1.2653	1.8313	1.1915	0.7380	0.9721	315.8795
0.2395	1.2655	1.8323	1.1899	0.7381	0.9726	316.1789
0.2397	1.2651	1.8332	1.1888	0.7381	0.9730	316.2906
0.2399	1.2648	1.8338	1.1875	0.7381	0.9735	316.4771
0.2400	1.2654	1.8345	1.1857	0.7380	0.9740	316.8105
0.2401	1.2656	1.8355	1.1841	0.7381	0.9745	317.1057
0.2402	1.2651	1.8363	1.1831	0.7381	0.9749	317.2013
0.2404	1.2648	1.8369	1.1819	0.7381	0.9754	317.3772
0.2405	1.2654	1.8375	1.1801	0.7381	0.9758	317.7115
0.2406	1.2657	1.8385	1.1786	0.7381	0.9763	318.0040
0.2408	1.2651	1.8394	1.1776	0.7381	0.9767	318.0824
0.2409	1.2648	1.8399	1.1766	0.7381	0.9772	318.2445
0.2410	1.2655	1.8404	1.1748	0.7381	0.9776	318.5699
0.2411	1.2657	1.8414	1.1734	0.7381	0.9780	318.8534
0.2413	1.2652	1.8422	1.1725	0.7382	0.9784	318.9235
0.2414	1.2648	1.8427	1.1715	0.7381	0.9789	319.0743
0.2415	1.2655	1.8432	1.1699	0.7381	0.9793	319.3800
0.2416	1.2657	1.8442	1.1685	0.7382	0.9797	319.6476
0.2417	1.2652	1.8449	1.1677	0.7382	0.9801	319.7174
0.2419	1.2649	1.8454	1.1668	0.7382	0.9804	319.8624
0.2419	1.2655	1.8459	1.1652	0.7381	0.9808	320.1511
0.2420	1.2657	1.8468	1.1639	0.7382	0.9812	320.4046
0.2422	1.2653	1.8475	1.1631	0.7382	0.9816	320.4722
0.2423	1.2650	1.8479	1.1623	0.7382	0.9819	320.6133
0.2424	1.2656	1.8484	1.1608	0.7382	0.9823	320.8971
0.2425	1.2658	1.8493	1.1595	0.7382	0.9827	321.1448
0.2426	1.2653	1.8500	1.1588	0.7382	0.9830	321.2007
0.2427	1.2650	1.8504	1.1580	0.7382	0.9834	321.3347
0.2428	1.2656	1.8508	1.1565	0.7382	0.9837	321.6222
0.2429	1.2659	1.8517	1.1553	0.7382	0.9841	321.8697
0.2430	1.2654	1.8524	1.1546	0.7383	0.9844	321.9083
0.2431	1.2650	1.8527	1.1539	0.7382	0.9848	322.0307
0.2432	1.2657	1.8532	1.1524	0.7382	0.9851	322.3175
0.2433	1.2659	1.8540	1.1513	0.7383	0.9854	322.5618
0.2434	1.2654	1.8547	1.1507	0.7383	0.9858	322.5893
0.2435	1.2650	1.8550	1.1500	0.7382	0.9861	322.7005
0.2436	1.2657	1.8554	1.1486	0.7382	0.9864	322.9728
0.2437	1.2659	1.8562	1.1475	0.7383	0.9867	323.2054
0.2438	1.2654	1.8569	1.1470	0.7383	0.9870	323.2328
0.2439	1.2651	1.8572	1.1463	0.7383	0.9873	323.3381
0.2439	1.2657	1.8575	1.1450	0.7382	0.9876	323.5910
0.2440	1.2659	1.8583	1.1440	0.7383	0.9879	323.8086
0.2441	1.2655	1.8589	1.1435	0.7383	0.9882	323.8383

0.2442	1.2652	1.8592	1.1429	0.7383	0.9885	323.9412
0.2443	1.2657	1.8596	1.1416	0.7383	0.9888	324.1847
0.2444	1.2660	1.8603	1.1407	0.7383	0.9890	324.3937
0.2445	1.2655	1.8609	1.1402	0.7383	0.9893	324.4172
0.2446	1.2652	1.8612	1.1396	0.7383	0.9896	324.5161
0.2446	1.2658	1.8615	1.1384	0.7383	0.9899	324.7627
0.2447	1.2660	1.8622	1.1374	0.7383	0.9901	324.9715
0.2448	1.2655	1.8628	1.1370	0.7384	0.9904	324.9793
0.2449	1.2652	1.8630	1.1364	0.7383	0.9907	325.0694
0.2449	1.2659	1.8634	1.1352	0.7383	0.9909	325.3216
0.2450	1.2661	1.8641	1.1343	0.7384	0.9912	325.5318
0.2451	1.2656	1.8647	1.1339	0.7384	0.9914	325.5254
0.2452	1.2652	1.8649	1.1334	0.7383	0.9917	325.6047
0.2453	1.2659	1.8652	1.1322	0.7383	0.9919	325.8504
0.2453	1.2661	1.8659	1.1313	0.7384	0.9922	326.0545
0.2454	1.2656	1.8664	1.1310	0.7384	0.9924	326.0459
0.2455	1.2652	1.8666	1.1306	0.7384	0.9926	326.1186
0.2455	1.2659	1.8669	1.1295	0.7383	0.9929	326.3456
0.2456	1.2661	1.8675	1.1286	0.7384	0.9931	326.5359
0.2457	1.2656	1.8680	1.1283	0.7384	0.9933	326.5326
0.2458	1.2653	1.8682	1.1279	0.7384	0.9935	326.6037
0.2458	1.2659	1.8685	1.1269	0.7384	0.9938	326.8160
0.2459	1.2661	1.8691	1.1261	0.7384	0.9940	326.9949
0.2460	1.2657	1.8696	1.1258	0.7384	0.9942	326.9914
0.2460	1.2654	1.8698	1.1253	0.7384	0.9944	327.0612
0.2461	1.2659	1.8700	1.1243	0.7384	0.9946	327.2729
0.2461	1.2662	1.8706	1.1236	0.7384	0.9948	327.4494
0.2462	1.2657	1.8711	1.1233	0.7384	0.9950	327.4339
0.2463	1.2654	1.8713	1.1229	0.7384	0.9952	327.4979
0.2463	1.2660	1.8715	1.1219	0.7384	0.9954	327.7184
0.2464	1.2662	1.8721	1.1212	0.7384	0.9956	327.8985
0.2465	1.2657	1.8726	1.1209	0.7385	0.9958	327.8664
0.2466	1.2654	1.8727	1.1206	0.7384	0.9960	327.9206
0.2466	1.2660	1.8729	1.1196	0.7384	0.9962	328.1436
0.2466	1.2663	1.8735	1.1188	0.7385	0.9964	328.3238
0.2467	1.2657	1.8740	1.1187	0.7385	0.9966	328.2853
0.2468	1.2654	1.8741	1.1184	0.7384	0.9968	328.3318
0.2468	1.2660	1.8743	1.1174	0.7384	0.9970	328.5407
0.2469	1.2663	1.8749	1.1167	0.7385	0.9971	328.7106
0.2469	1.2658	1.8753	1.1166	0.7385	0.9973	328.6782
0.2470	1.2654	1.8754	1.1163	0.7385	0.9975	328.7230
0.2470	1.2660	1.8756	1.1154	0.7384	0.9977	328.9131
0.2471	1.2663	1.8761	1.1148	0.7385	0.9978	329.0696
0.2472	1.2658	1.8765	1.1146	0.7385	0.9980	329.0428
0.2472	1.2655	1.8766	1.1143	0.7385	0.9982	329.0883
0.2472	1.2660	1.8768	1.1135	0.7384	0.9983	329.2719
0.2473	1.2663	1.8773	1.1129	0.7385	0.9985	329.4224
0.2474	1.2658	1.8777	1.1127	0.7385	0.9986	329.3893
0.2474	1.2655	1.8778	1.1124	0.7385	0.9988	329.4321
0.2474	1.2661	1.8780	1.1116	0.7385	0.9990	329.6236
0.2475	1.2663	1.8785	1.1110	0.7385	0.9991	329.7773
0.2476	1.2658	1.8789	1.1109	0.7385	0.9993	329.7275
0.2476	1.2655	1.8789	1.1106	0.7385	0.9994	329.7623
0.2476	1.2662	1.8791	1.1098	0.7385	0.9996	329.9638
0.2477	1.2664	1.8796	1.1092	0.7385	0.9997	330.1225



0.2477	1.2658	1.8800	1.1091	0.7385	0.9999	330.0606
0.2478	1.2655	1.8800	1.1089	0.7385	1.0000	330.0868
0.2478	1.2662	1.8801	1.1081	0.7385	1.0002	330.2827
0.2479	1.2664	1.8807	1.1075	0.7385	1.0003	330.4370
0.2479	1.2659	1.8811	1.1075	0.7386	1.0004	330.3789
0.2480	1.2655	1.8811	1.1073	0.7385	1.0006	330.4020
0.2480	1.2661	1.8812	1.1065	0.7385	1.0007	330.5782
0.2480	1.2664	1.8817	1.1060	0.7385	1.0008	330.7192
0.2481	1.2659	1.8820	1.1059	0.7386	1.0010	330.6711
0.2481	1.2656	1.8820	1.1058	0.7385	1.0011	330.6961
0.2482	1.2661	1.8821	1.1050	0.7385	1.0012	330.8590
0.2482	1.2664	1.8826	1.1045	0.7386	1.0013	330.9900
0.2482	1.2659	1.8829	1.1045	0.7386	1.0015	330.9426
0.2483	1.2656	1.8830	1.1043	0.7385	1.0016	330.9679
0.2483	1.2662	1.8831	1.1036	0.7385	1.0017	331.1340
0.2483	1.2664	1.8835	1.1031	0.7386	1.0018	331.2655
0.2484	1.2659	1.8838	1.1030	0.7386	1.0019	331.2042
0.2485	1.2656	1.8839	1.1029	0.7385	1.0021	331.2241
0.2485	1.2663	1.8840	1.1021	0.7385	1.0022	331.4040
0.2485	1.2665	1.8844	1.1017	0.7386	1.0023	331.5427
0.2486	1.2659	1.8847	1.1017	0.7386	1.0024	331.4645
0.2486	1.2656	1.8847	1.1016	0.7386	1.0025	331.4754
0.2486	1.2663	1.8848	1.1008	0.7385	1.0026	331.6602
0.2486	1.2665	1.8853	1.1003	0.7386	1.0027	331.8014
0.2487	1.2659	1.8856	1.1004	0.7386	1.0028	331.7211
0.2487	1.2656	1.8856	1.1003	0.7386	1.0030	331.7270
0.2488	1.2662	1.8856	1.0996	0.7385	1.0031	331.8960
0.2488	1.2665	1.8861	1.0991	0.7386	1.0032	332.0269
0.2488	1.2660	1.8864	1.0992	0.7386	1.0033	331.9586
0.2489	1.2656	1.8863	1.0991	0.7386	1.0034	331.9662
0.2489	1.2662	1.8864	1.0984	0.7385	1.0035	332.1158
0.2489	1.2665	1.8868	1.0980	0.7386	1.0036	332.2334
0.2490	1.2660	1.8871	1.0980	0.7386	1.0037	332.1730
0.2490	1.2657	1.8871	1.0980	0.7386	1.0037	332.1835
0.2490	1.2663	1.8871	1.0973	0.7386	1.0038	332.3292
0.2490	1.2665	1.8875	1.0969	0.7386	1.0039	332.4428
0.2491	1.2660	1.8878	1.0969	0.7386	1.0040	332.3745
0.2491	1.2657	1.8878	1.0969	0.7386	1.0041	332.3827
0.2491	1.2663	1.8878	1.0962	0.7386	1.0042	332.5410
0.2491	1.2665	1.8882	1.0958	0.7386	1.0043	332.6612
0.2492	1.2660	1.8885	1.0959	0.7386	1.0044	332.5738
0.2492	1.2657	1.8884	1.0959	0.7386	1.0045	332.5738
0.2492	1.2664	1.8885	1.0952	0.7386	1.0046	332.7464
0.2493	1.2666	1.8889	1.0947	0.7386	1.0047	332.8747
0.2493	1.2660	1.8892	1.0949	0.7387	1.0047	332.7771
0.2494	1.2656	1.8891	1.0949	0.7386	1.0048	332.7698
0.2493	1.2663	1.8891	1.0942	0.7386	1.0049	332.9358
0.2494	1.2666	1.8895	1.0938	0.7386	1.0050	333.0602
0.2494	1.2660	1.8898	1.0939	0.7387	1.0051	332.9723
0.2495	1.2657	1.8897	1.0940	0.7386	1.0051	332.9652
0.2495	1.2663	1.8897	1.0933	0.7386	1.0052	333.1087
0.2495	1.2665	1.8901	1.0929	0.7386	1.0053	333.2186
0.2495	1.2661	1.8903	1.0930	0.7387	1.0054	333.1450
0.2496	1.2657	1.8903	1.0930	0.7386	1.0054	333.1425
0.2496	1.2663	1.8903	1.0925	0.7386	1.0055	333.2735



0.2496	1.2665	1.8907	1.0921	0.7386	1.0056	333.3742
0.2496	1.2661	1.8909	1.0922	0.7387	1.0057	333.3008
0.2496	1.2658	1.8908	1.0922	0.7386	1.0057	333.2993
0.2496	1.2664	1.8908	1.0916	0.7386	1.0058	333.4377
0.2497	1.2666	1.8912	1.0913	0.7387	1.0059	333.5415
0.2497	1.2661	1.8914	1.0914	0.7387	1.0059	333.4508
0.2497	1.2658	1.8914	1.0914	0.7386	1.0060	333.4433
0.2497	1.2664	1.8914	1.0908	0.7386	1.0061	333.6008
0.2497	1.2666	1.8918	1.0904	0.7387	1.0061	333.7155
0.2498	1.2661	1.8920	1.0906	0.7387	1.0062	333.6067
0.2498	1.2657	1.8919	1.0906	0.7386	1.0063	333.5903
0.2498	1.2664	1.8918	1.0900	0.7386	1.0063	333.7540
0.2498	1.2667	1.8923	1.0896	0.7387	1.0064	333.8728
0.2499	1.2661	1.8925	1.0899	0.7387	1.0065	333.7667
0.2499	1.2657	1.8924	1.0899	0.7386	1.0065	333.7475
0.2499	1.2664	1.8923	1.0893	0.7386	1.0066	333.8915
0.2499	1.2666	1.8927	1.0890	0.7387	1.0067	333.9984
0.2500	1.2661	1.8929	1.0891	0.7387	1.0067	333.9101
0.2500	1.2658	1.8928	1.0892	0.7387	1.0068	333.8958
0.2500	1.2663	1.8928	1.0887	0.7386	1.0068	334.0187
0.2500	1.2666	1.8931	1.0884	0.7387	1.0069	334.1116
0.2500	1.2661	1.8933	1.0885	0.7387	1.0069	334.0326
0.2501	1.2658	1.8933	1.0885	0.7387	1.0070	334.0227
0.2500	1.2664	1.8932	1.0880	0.7386	1.0070	334.1443
0.2501	1.2666	1.8936	1.0877	0.7387	1.0071	334.2349
0.2501	1.2662	1.8937	1.0879	0.7387	1.0071	334.1450
0.2501	1.2659	1.8937	1.0879	0.7387	1.0072	334.1322
0.2501	1.2664	1.8936	1.0873	0.7386	1.0073	334.2721
0.2501	1.2667	1.8940	1.0870	0.7387	1.0073	334.3727
0.2502	1.2661	1.8942	1.0872	0.7387	1.0074	334.2598
0.2502	1.2658	1.8941	1.0873	0.7387	1.0074	334.2379
0.2502	1.2665	1.8940	1.0867	0.7386	1.0075	334.3961
0.2502	1.2667	1.8944	1.0864	0.7387	1.0075	334.5080
0.2502	1.2661	1.8946	1.0867	0.7387	1.0076	334.3869
0.2503	1.2657	1.8944	1.0868	0.7387	1.0076	334.3586
0.2503	1.2664	1.8944	1.0862	0.7386	1.0077	334.5072
0.2503	1.2667	1.8948	1.0859	0.7387	1.0077	334.6142
0.2503	1.2661	1.8950	1.0861	0.7387	1.0078	334.5094
0.2503	1.2658	1.8948	1.0862	0.7387	1.0078	334.4843
0.2503	1.2664	1.8947	1.0857	0.7386	1.0078	334.6061
0.2503	1.2666	1.8951	1.0854	0.7387	1.0079	334.6962
0.2504	1.2662	1.8953	1.0856	0.7387	1.0079	334.6095
0.2504	1.2659	1.8952	1.0857	0.7387	1.0080	334.5913
0.2504	1.2664	1.8951	1.0852	0.7387	1.0080	334.7013
0.2504	1.2666	1.8954	1.0849	0.7387	1.0081	334.7826
0.2504	1.2662	1.8956	1.0851	0.7387	1.0081	334.6944
0.2504	1.2659	1.8955	1.0852	0.7387	1.0081	334.6774
0.2504	1.2665	1.8954	1.0847	0.7387	1.0082	334.7993
0.2504	1.2667	1.8957	1.0844	0.7387	1.0082	334.8866
0.2505	1.2662	1.8959	1.0846	0.7387	1.0083	334.7762
0.2505	1.2659	1.8958	1.0847	0.7387	1.0083	334.7517
0.2505	1.2665	1.8957	1.0842	0.7387	1.0083	334.8989
0.2505	1.2668	1.8961	1.0839	0.7387	1.0084	335.0010
0.2505	1.2662	1.8963	1.0842	0.7387	1.0084	334.8707
0.2505	1.2658	1.8961	1.0843	0.7387	1.0085	334.8367

0.2505	1.2665	1.8960	1.0837	0.7387	1.0085	334.9903
0.2505	1.2668	1.8964	1.0834	0.7387	1.0085	335.0974
0.2506	1.2662	1.8966	1.0837	0.7387	1.0086	334.9755
0.2506	1.2658	1.8964	1.0839	0.7387	1.0086	334.9410
0.2506	1.2664	1.8963	1.0834	0.7387	1.0086	335.0686
0.2506	1.2667	1.8966	1.0831	0.7387	1.0087	335.1606
0.2506	1.2662	1.8968	1.0833	0.7387	1.0087	335.0625
0.2506	1.2658	1.8966	1.0835	0.7387	1.0087	335.0359
0.2506	1.2664	1.8966	1.0830	0.7387	1.0088	335.1404
0.2506	1.2666	1.8969	1.0828	0.7387	1.0088	335.2169
0.2507	1.2662	1.8970	1.0829	0.7387	1.0088	335.1288
0.2507	1.2659	1.8969	1.0830	0.7387	1.0089	335.1075
0.2507	1.2665	1.8968	1.0826	0.7387	1.0089	335.2139
0.2507	1.2666	1.8971	1.0824	0.7387	1.0089	335.2900
0.2507	1.2662	1.8973	1.0826	0.7387	1.0090	335.1863
0.2507	1.2660	1.8971	1.0827	0.7387	1.0090	335.1610
0.2507	1.2665	1.8971	1.0822	0.7387	1.0090	335.2920
0.2507	1.2667	1.8974	1.0820	0.7387	1.0091	335.3822
0.2507	1.2662	1.8975	1.0822	0.7388	1.0091	335.2504
0.2508	1.2659	1.8974	1.0824	0.7387	1.0091	335.2143
0.2507	1.2666	1.8973	1.0818	0.7387	1.0091	335.3681
0.2507	1.2668	1.8976	1.0815	0.7387	1.0092	335.4726
0.2508	1.2662	1.8978	1.0819	0.7388	1.0092	335.3353
0.2508	1.2658	1.8976	1.0821	0.7387	1.0092	335.2935
0.2508	1.2665	1.8975	1.0815	0.7387	1.0093	335.4321
0.2508	1.2668	1.8978	1.0813	0.7387	1.0093	335.5290
0.2508	1.2662	1.8980	1.0816	0.7388	1.0093	335.4158
0.2508	1.2658	1.8978	1.0818	0.7387	1.0093	335.3804
0.2508	1.2664	1.8977	1.0813	0.7387	1.0094	335.4866
0.2508	1.2667	1.8980	1.0810	0.7387	1.0094	335.5633
0.2508	1.2662	1.8981	1.0813	0.7388	1.0094	335.4714
0.2509	1.2659	1.8980	1.0814	0.7387	1.0094	335.4450
0.2509	1.2664	1.8979	1.0810	0.7387	1.0095	335.5404
0.2509	1.2666	1.8982	1.0808	0.7387	1.0095	335.6089
0.2509	1.2663	1.8983	1.0810	0.7388	1.0095	335.5127
0.2509	1.2660	1.8982	1.0811	0.7387	1.0095	335.4868
0.2509	1.2665	1.8981	1.0807	0.7387	1.0096	335.5997
0.2509	1.2667	1.8984	1.0805	0.7387	1.0096	335.6774
0.2509	1.2662	1.8985	1.0807	0.7388	1.0096	335.5521
0.2509	1.2659	1.8984	1.0808	0.7387	1.0096	335.5167
0.2509	1.2666	1.8983	1.0803	0.7387	1.0097	335.6623
0.2509	1.2668	1.8986	1.0801	0.7388	1.0097	335.7595
0.2509	1.2662	1.8988	1.0804	0.7388	1.0097	335.6124
0.2510	1.2658	1.8986	1.0807	0.7387	1.0097	335.5664
0.2509	1.2666	1.8984	1.0801	0.7387	1.0097	335.7169
0.2509	1.2669	1.8988	1.0798	0.7388	1.0098	335.8190
0.2510	1.2662	1.8990	1.0802	0.7388	1.0098	335.6877
0.2510	1.2658	1.8987	1.0804	0.7387	1.0098	335.6438
0.2510	1.2665	1.8986	1.0799	0.7387	1.0098	335.7595
0.2510	1.2667	1.8989	1.0797	0.7387	1.0099	335.8414
0.2510	1.2662	1.8991	1.0800	0.7388	1.0099	335.7405
0.2510	1.2659	1.8989	1.0801	0.7387	1.0099	335.7075
0.2510	1.2664	1.8988	1.0797	0.7387	1.0099	335.7982
0.2510	1.2666	1.8990	1.0795	0.7387	1.0099	335.8633
0.2510	1.2663	1.8992	1.0797	0.7388	1.0099	335.7718

0.2510	1.2660	1.8990	1.0798	0.7387	1.0100	335.7447
0.2510	1.2665	1.8990	1.0795	0.7387	1.0100	335.8412
0.2510	1.2667	1.8992	1.0793	0.7388	1.0100	335.9081
0.2510	1.2663	1.8993	1.0795	0.7388	1.0100	335.7947
0.2511	1.2660	1.8992	1.0796	0.7387	1.0100	335.7617
0.2510	1.2666	1.8991	1.0792	0.7387	1.0101	335.8909
0.2510	1.2668	1.8994	1.0790	0.7388	1.0101	335.9765
0.2511	1.2663	1.8995	1.0793	0.7388	1.0101	335.8287
0.2511	1.2659	1.8993	1.0795	0.7387	1.0101	335.7824
0.2511	1.2666	1.8992	1.0789	0.7387	1.0101	335.9389
0.2511	1.2669	1.8995	1.0787	0.7388	1.0101	336.0423
0.2511	1.2662	1.8997	1.0791	0.7388	1.0102	335.8931
0.2511	1.2658	1.8994	1.0794	0.7387	1.0102	335.8420
0.2511	1.2665	1.8993	1.0788	0.7387	1.0102	335.9743
0.2511	1.2668	1.8996	1.0786	0.7388	1.0102	336.0656
0.2511	1.2662	1.8998	1.0789	0.7388	1.0102	335.9495
0.2511	1.2658	1.8996	1.0792	0.7387	1.0102	335.9086
0.2511	1.2664	1.8994	1.0787	0.7387	1.0103	336.0021
0.2511	1.2667	1.8997	1.0785	0.7388	1.0103	336.0690
0.2511	1.2663	1.8998	1.0787	0.7388	1.0103	335.9770
0.2512	1.2660	1.8997	1.0789	0.7387	1.0103	335.9469
0.2511	1.2665	1.8996	1.0785	0.7387	1.0103	336.0316
0.2511	1.2667	1.8998	1.0784	0.7388	1.0103	336.0911
0.2512	1.2663	1.8999	1.0786	0.7388	1.0103	335.9904
0.2512	1.2661	1.8998	1.0787	0.7387	1.0104	335.9598
0.2511	1.2666	1.8997	1.0783	0.7387	1.0104	336.0687
0.2511	1.2668	1.9000	1.0781	0.7388	1.0104	336.1413
0.2512	1.2663	1.9001	1.0784	0.7388	1.0104	336.0029
0.2512	1.2660	1.8999	1.0786	0.7387	1.0104	335.9598
0.2512	1.2667	1.8998	1.0781	0.7387	1.0104	336.1105
0.2512	1.2669	1.9001	1.0779	0.7388	1.0104	336.2082
0.2512	1.2662	1.9003	1.0783	0.7388	1.0104	336.0463
0.2512	1.2658	1.9000	1.0785	0.7387	1.0105	335.9913
0.2512	1.2666	1.8998	1.0780	0.7387	1.0105	336.1430
0.2512	1.2669	1.9002	1.0777	0.7388	1.0105	336.2443
0.2512	1.2662	1.9004	1.0781	0.7388	1.0105	336.1079
0.2512	1.2658	1.9001	1.0784	0.7387	1.0105	336.0581
0.2512	1.2665	1.8999	1.0779	0.7387	1.0105	336.1637
0.2512	1.2667	1.9002	1.0777	0.7388	1.0105	336.2381
0.2512	1.2663	1.9004	1.0780	0.7388	1.0105	336.1387
0.2512	1.2659	1.9002	1.0782	0.7387	1.0106	336.1033
0.2512	1.2664	1.9001	1.0778	0.7387	1.0106	336.1826
0.2512	1.2667	1.9003	1.0776	0.7388	1.0106	336.2390
0.2512	1.2663	1.9004	1.0778	0.7388	1.0106	336.1476
0.2513	1.2661	1.9003	1.0780	0.7387	1.0106	336.1179
0.2512	1.2665	1.9002	1.0776	0.7387	1.0106	336.2080
0.2512	1.2667	1.9004	1.0775	0.7388	1.0106	336.2689
0.2513	1.2663	1.9005	1.0777	0.7388	1.0106	336.1473
0.2513	1.2660	1.9004	1.0779	0.7387	1.0106	336.1093
0.2512	1.2667	1.9003	1.0774	0.7387	1.0107	336.2421
0.2512	1.2669	1.9006	1.0772	0.7388	1.0107	336.3277
0.2513	1.2663	1.9007	1.0776	0.7388	1.0107	336.1638
0.2513	1.2659	1.9004	1.0778	0.7387	1.0107	336.1094
0.2513	1.2667	1.9003	1.0773	0.7387	1.0107	336.2741
0.2512	1.2670	1.9007	1.0770	0.7388	1.0107	336.3809

0.2513	1.2662	1.9008	1.0775	0.7388	1.0107	336.2221
0.2513	1.2658	1.9005	1.0778	0.7387	1.0107	336.1641
0.2513	1.2665	1.9003	1.0773	0.7387	1.0107	336.2917
0.2513	1.2668	1.9007	1.0770	0.7388	1.0107	336.3793
0.2513	1.2663	1.9008	1.0774	0.7388	1.0108	336.2643
0.2513	1.2659	1.9006	1.0776	0.7387	1.0108	336.2209
0.2513	1.2664	1.9004	1.0772	0.7387	1.0108	336.3031
0.2513	1.2667	1.9007	1.0771	0.7388	1.0108	336.3617
0.2513	1.2663	1.9008	1.0773	0.7388	1.0108	336.2730
0.2513	1.2660	1.9007	1.0774	0.7388	1.0108	336.2419
0.2513	1.2665	1.9006	1.0771	0.7387	1.0108	336.3183
0.2513	1.2667	1.9008	1.0770	0.7388	1.0108	336.3710
0.2513	1.2663	1.9009	1.0772	0.7388	1.0108	336.2677
0.2513	1.2661	1.9007	1.0773	0.7388	1.0108	336.2345
0.2513	1.2666	1.9007	1.0769	0.7387	1.0108	336.3433
0.2513	1.2668	1.9009	1.0768	0.7388	1.0108	336.4138
0.2513	1.2663	1.9010	1.0771	0.7388	1.0109	336.2616
0.2513	1.2660	1.9008	1.0773	0.7388	1.0109	336.2122
0.2513	1.2667	1.9007	1.0767	0.7387	1.0109	336.3741
0.2513	1.2670	1.9010	1.0766	0.7388	1.0109	336.4768
0.2513	1.2662	1.9011	1.0770	0.7388	1.0109	336.3003
0.2514	1.2658	1.9008	1.0773	0.7387	1.0109	336.2374
0.2513	1.2666	1.9007	1.0767	0.7387	1.0109	336.3928
0.2513	1.2670	1.9010	1.0765	0.7388	1.0109	336.4960
0.2513	1.2662	1.9012	1.0770	0.7388	1.0109	336.3575
0.2514	1.2658	1.9009	1.0772	0.7387	1.0109	336.3040
0.2513	1.2665	1.9007	1.0768	0.7387	1.0109	336.3996
0.2513	1.2667	1.9010	1.0766	0.7388	1.0109	336.4673
0.2514	1.2663	1.9011	1.0768	0.7388	1.0109	336.3727
0.2514	1.2660	1.9010	1.0770	0.7388	1.0109	336.3371
0.2514	1.2665	1.9008	1.0767	0.7387	1.0110	336.4066
0.2513	1.2666	1.9011	1.0766	0.7388	1.0110	336.4557
0.2514	1.2663	1.9011	1.0767	0.7388	1.0110	336.3663
0.2514	1.2661	1.9010	1.0769	0.7388	1.0110	336.3361
0.2514	1.2666	1.9009	1.0766	0.7387	1.0110	336.4222
0.2514	1.2667	1.9011	1.0764	0.7388	1.0110	336.4792
0.2514	1.2663	1.9012	1.0767	0.7388	1.0110	336.3489
0.2514	1.2661	1.9011	1.0768	0.7388	1.0110	336.3070
0.2514	1.2667	1.9010	1.0764	0.7387	1.0110	336.4486
0.2513	1.2669	1.9013	1.0762	0.7388	1.0110	336.5377
0.2514	1.2663	1.9014	1.0766	0.7388	1.0110	336.3561
0.2514	1.2659	1.9011	1.0769	0.7388	1.0110	336.2940
0.2514	1.2668	1.9009	1.0763	0.7387	1.0110	336.4715
0.2514	1.2671	1.9013	1.0761	0.7388	1.0110	336.5855
0.2514	1.2662	1.9015	1.0766	0.7388	1.0110	336.4186
0.2514	1.2657	1.9011	1.0769	0.7388	1.0110	336.3549
0.2514	1.2665	1.9009	1.0764	0.7387	1.0111	336.4772
0.2514	1.2668	1.9013	1.0761	0.7388	1.0111	336.5617
0.2514	1.2663	1.9014	1.0765	0.7388	1.0111	336.4509
0.2514	1.2659	1.9012	1.0768	0.7388	1.0111	336.4071
0.2514	1.2664	1.9010	1.0764	0.7387	1.0111	336.4783
0.2514	1.2666	1.9013	1.0762	0.7388	1.0111	336.5294
0.2514	1.2663	1.9014	1.0764	0.7388	1.0111	336.4459
0.2514	1.2661	1.9012	1.0766	0.7388	1.0111	336.4157
0.2514	1.2665	1.9012	1.0763	0.7387	1.0111	336.4851



0.2514	1.2667	1.9013	1.0762	0.7388	1.0111	336.5325
0.2514	1.2663	1.9014	1.0764	0.7388	1.0111	336.4268
0.2514	1.2661	1.9013	1.0765	0.7388	1.0111	336.3923
0.2514	1.2666	1.9012	1.0761	0.7387	1.0111	336.5042
0.2514	1.2668	1.9014	1.0760	0.7388	1.0111	336.5751
0.2514	1.2663	1.9015	1.0763	0.7388	1.0111	336.4065
0.2514	1.2660	1.9013	1.0765	0.7388	1.0111	336.3509
0.2514	1.2668	1.9012	1.0760	0.7387	1.0111	336.5302
0.2514	1.2671	1.9015	1.0758	0.7388	1.0111	336.6420
0.2514	1.2662	1.9017	1.0763	0.7388	1.0111	336.4500
0.2514	1.2657	1.9013	1.0766	0.7388	1.0111	336.3796
0.2514	1.2666	1.9011	1.0760	0.7387	1.0111	336.5396
0.2514	1.2670	1.9015	1.0758	0.7388	1.0112	336.6460
0.2514	1.2662	1.9017	1.0763	0.7388	1.0112	336.5079
0.2515	1.2657	1.9014	1.0766	0.7388	1.0112	336.4523
0.2514	1.2664	1.9012	1.0761	0.7387	1.0112	336.5372
0.2514	1.2667	1.9014	1.0759	0.7388	1.0112	336.5981
0.2514	1.2663	1.9016	1.0762	0.7388	1.0112	336.5101
0.2514	1.2660	1.9014	1.0764	0.7388	1.0112	336.4760
0.2514	1.2664	1.9013	1.0761	0.7387	1.0112	336.5366
0.2514	1.2666	1.9015	1.0759	0.7388	1.0112	336.5794
0.2514	1.2663	1.9016	1.0761	0.7388	1.0112	336.4928
0.2514	1.2661	1.9015	1.0762	0.7388	1.0112	336.4632
0.2514	1.2666	1.9014	1.0759	0.7387	1.0112	336.5471
0.2514	1.2667	1.9016	1.0758	0.7388	1.0112	336.6016
0.2514	1.2663	1.9016	1.0761	0.7388	1.0112	336.4608
0.2515	1.2661	1.9015	1.0762	0.7388	1.0112	336.4154
0.2514	1.2668	1.9014	1.0758	0.7387	1.0112	336.5711
0.2514	1.2670	1.9017	1.0756	0.7388	1.0112	336.6669
0.2514	1.2663	1.9018	1.0761	0.7388	1.0112	336.4646
0.2515	1.2658	1.9015	1.0764	0.7388	1.0112	336.3943
0.2514	1.2668	1.9013	1.0757	0.7387	1.0112	336.5888
0.2514	1.2671	1.9017	1.0755	0.7388	1.0112	336.7129
0.2515	1.2662	1.9019	1.0761	0.7388	1.0112	336.5390
0.2515	1.2656	1.9015	1.0764	0.7388	1.0112	336.4702
0.2514	1.2665	1.9013	1.0759	0.7387	1.0112	336.5859
0.2514	1.2668	1.9016	1.0756	0.7388	1.0112	336.6668
0.2515	1.2663	1.9018	1.0760	0.7388	1.0112	336.5621
0.2515	1.2659	1.9015	1.0762	0.7388	1.0112	336.5193
0.2515	1.2664	1.9014	1.0759	0.7387	1.0112	336.5800
0.2514	1.2666	1.9016	1.0757	0.7388	1.0112	336.6240
0.2515	1.2663	1.9017	1.0759	0.7388	1.0113	336.5466
0.2515	1.2661	1.9016	1.0761	0.7388	1.0113	336.5182
0.2515	1.2665	1.9015	1.0758	0.7387	1.0113	336.5820
0.2514	1.2666	1.9017	1.0757	0.7388	1.0113	336.6251
0.2515	1.2664	1.9017	1.0759	0.7388	1.0113	336.5163
0.2515	1.2662	1.9016	1.0760	0.7388	1.0113	336.4808
0.2514	1.2667	1.9015	1.0756	0.7387	1.0113	336.5991
0.2514	1.2669	1.9018	1.0755	0.7388	1.0113	336.6724
0.2515	1.2663	1.9018	1.0759	0.7388	1.0113	336.4834
0.2515	1.2660	1.9016	1.0761	0.7388	1.0113	336.4211
0.2514	1.2669	1.9015	1.0755	0.7387	1.0113	336.6242
0.2514	1.2672	1.9019	1.0753	0.7388	1.0113	336.7493
0.2515	1.2662	1.9020	1.0759	0.7388	1.0113	336.5406
0.2515	1.2656	1.9016	1.0763	0.7388	1.0113	336.4621



0.2515	1.2666	1.9014	1.0756	0.7387	1.0113	336.6263
0.2514	1.2670	1.9018	1.0753	0.7388	1.0113	336.7363
0.2515	1.2662	1.9020	1.0759	0.7388	1.0113	336.6005
0.2515	1.2657	1.9016	1.0762	0.7388	1.0113	336.5439
0.2515	1.2664	1.9014	1.0758	0.7387	1.0113	336.6174
0.2515	1.2666	1.9017	1.0756	0.7388	1.0113	336.6711
0.2515	1.2663	1.9018	1.0758	0.7388	1.0113	336.5909
0.2515	1.2661	1.9017	1.0760	0.7388	1.0113	336.5591
0.2515	1.2664	1.9016	1.0757	0.7387	1.0113	336.6119
0.2515	1.2666	1.9017	1.0756	0.7388	1.0113	336.6491
0.2515	1.2664	1.9018	1.0757	0.7388	1.0113	336.5653
0.2515	1.2662	1.9017	1.0758	0.7388	1.0113	336.5367
0.2515	1.2666	1.9016	1.0756	0.7388	1.0113	336.6201
0.2515	1.2667	1.9018	1.0755	0.7388	1.0113	336.6732
0.2515	1.2663	1.9019	1.0757	0.7388	1.0113	336.5189
0.2515	1.2661	1.9017	1.0759	0.7388	1.0113	336.4696
0.2515	1.2668	1.9016	1.0754	0.7387	1.0113	336.6452
0.2515	1.2671	1.9019	1.0752	0.7388	1.0113	336.7511
0.2515	1.2662	1.9020	1.0758	0.7388	1.0113	336.5244
0.2515	1.2657	1.9017	1.0761	0.7388	1.0113	336.4448
0.2515	1.2668	1.9015	1.0753	0.7387	1.0113	336.6596
0.2514	1.2672	1.9020	1.0751	0.7388	1.0113	336.7963
0.2515	1.2662	1.9021	1.0758	0.7388	1.0113	336.6164
0.2515	1.2656	1.9017	1.0762	0.7388	1.0113	336.5428
0.2515	1.2664	1.9014	1.0756	0.7387	1.0113	336.6498
0.2515	1.2668	1.9018	1.0754	0.7388	1.0113	336.7260
0.2515	1.2663	1.9019	1.0757	0.7388	1.0113	336.6288
0.2515	1.2659	1.9017	1.0759	0.7388	1.0113	336.5879
0.2515	1.2664	1.9016	1.0756	0.7387	1.0113	336.6388
0.2515	1.2666	1.9018	1.0755	0.7388	1.0113	336.6763
0.2515	1.2663	1.9019	1.0756	0.7388	1.0114	336.6051
0.2515	1.2662	1.9018	1.0757	0.7388	1.0114	336.5788
0.2515	1.2665	1.9017	1.0755	0.7388	1.0114	336.6381
0.2515	1.2666	1.9019	1.0754	0.7388	1.0114	336.6777
0.2515	1.2664	1.9019	1.0756	0.7388	1.0114	336.5644
0.2515	1.2662	1.9018	1.0757	0.7388	1.0114	336.5280
0.2515	1.2667	1.9017	1.0753	0.7388	1.0114	336.6558
0.2515	1.2669	1.9020	1.0752	0.7388	1.0114	336.7333
0.2515	1.2663	1.9020	1.0756	0.7388	1.0114	336.5194
0.2515	1.2659	1.9018	1.0759	0.7388	1.0114	336.4491
0.2515	1.2670	1.9016	1.0752	0.7387	1.0114	336.6826
0.2515	1.2673	1.9021	1.0749	0.7388	1.0114	336.8248
0.2515	1.2662	1.9022	1.0757	0.7389	1.0114	336.5985
0.2515	1.2655	1.9018	1.0761	0.7388	1.0114	336.5113
0.2515	1.2666	1.9015	1.0754	0.7387	1.0114	336.6781
0.2515	1.2670	1.9019	1.0751	0.7388	1.0114	336.7911
0.2515	1.2662	1.9021	1.0756	0.7388	1.0114	336.6591
0.2515	1.2657	1.9018	1.0760	0.7388	1.0114	336.6023
0.2515	1.2663	1.9016	1.0756	0.7387	1.0114	336.6641
0.2515	1.2666	1.9018	1.0754	0.7388	1.0114	336.7106
0.2515	1.2663	1.9019	1.0756	0.7388	1.0114	336.6381
0.2515	1.2661	1.9018	1.0757	0.7388	1.0114	336.6090
0.2515	1.2664	1.9017	1.0755	0.7387	1.0114	336.6551
0.2515	1.2666	1.9019	1.0754	0.7388	1.0114	336.6878
0.2515	1.2664	1.9019	1.0755	0.7388	1.0114	336.6062

0.2515	1.2662	1.9019	1.0756	0.7388	1.0114	336.5787
0.2515	1.2666	1.9018	1.0753	0.7388	1.0114	336.6629
0.2515	1.2667	1.9020	1.0752	0.7388	1.0114	336.7155
0.2515	1.2663	1.9020	1.0755	0.7388	1.0114	336.5445
0.2515	1.2661	1.9019	1.0757	0.7388	1.0114	336.4906
0.2515	1.2669	1.9018	1.0751	0.7387	1.0114	336.6916
0.2515	1.2672	1.9021	1.0749	0.7388	1.0114	336.8107
0.2515	1.2662	1.9022	1.0756	0.7388	1.0114	336.5566
0.2515	1.2657	1.9018	1.0760	0.7388	1.0114	336.4665
0.2515	1.2669	1.9016	1.0751	0.7387	1.0114	336.7032
0.2515	1.2673	1.9021	1.0748	0.7388	1.0114	336.8541
0.2515	1.2662	1.9023	1.0756	0.7389	1.0114	336.6692
0.2515	1.2655	1.9018	1.0761	0.7388	1.0114	336.5912
0.2515	1.2663	1.9015	1.0755	0.7387	1.0114	336.6877
0.2515	1.2667	1.9019	1.0752	0.7388	1.0114	336.7583
0.2515	1.2663	1.9020	1.0755	0.7388	1.0114	336.6688
0.2515	1.2659	1.9019	1.0757	0.7388	1.0114	336.6303
0.2515	1.2664	1.9017	1.0755	0.7387	1.0114	336.6726
0.2515	1.2665	1.9019	1.0753	0.7388	1.0114	336.7044
0.2515	1.2663	1.9020	1.0755	0.7388	1.0114	336.6388
0.2515	1.2662	1.9019	1.0756	0.7388	1.0114	336.6148
0.2515	1.2665	1.9018	1.0753	0.7388	1.0114	336.6705
0.2515	1.2666	1.9020	1.0753	0.7388	1.0114	336.7074
0.2515	1.2664	1.9020	1.0754	0.7388	1.0114	336.5881
0.2515	1.2662	1.9019	1.0755	0.7388	1.0114	336.5505
0.2515	1.2668	1.9018	1.0752	0.7388	1.0114	336.6905
0.2515	1.2670	1.9021	1.0750	0.7388	1.0114	336.7736
0.2515	1.2663	1.9022	1.0755	0.7388	1.0114	336.5309
0.2515	1.2659	1.9019	1.0757	0.7388	1.0114	336.4517
0.2515	1.2671	1.9017	1.0750	0.7387	1.0114	336.7205
0.2515	1.2674	1.9022	1.0747	0.7388	1.0114	336.8829
0.2515	1.2662	1.9024	1.0756	0.7389	1.0114	336.6388
0.2516	1.2654	1.9018	1.0761	0.7388	1.0114	336.5426
0.2515	1.2665	1.9015	1.0753	0.7387	1.0114	336.7095
0.2515	1.2670	1.9020	1.0750	0.7388	1.0114	336.8242
0.2515	1.2662	1.9022	1.0755	0.7388	1.0114	336.6969
0.2515	1.2657	1.9019	1.0759	0.7388	1.0114	336.6405
0.2515	1.2663	1.9016	1.0755	0.7387	1.0114	336.6915
0.2515	1.2666	1.9019	1.0753	0.7388	1.0114	336.7310
0.2515	1.2663	1.9020	1.0754	0.7388	1.0114	336.6656
0.2515	1.2661	1.9019	1.0756	0.7388	1.0114	336.6391
0.2515	1.2664	1.9018	1.0753	0.7388	1.0114	336.6800
0.2515	1.2666	1.9020	1.0753	0.7388	1.0114	336.7089
0.2515	1.2664	1.9020	1.0754	0.7388	1.0114	336.6287
0.2515	1.2662	1.9019	1.0755	0.7388	1.0114	336.6021
0.2515	1.2666	1.9019	1.0752	0.7388	1.0114	336.6881
0.2515	1.2668	1.9021	1.0751	0.7388	1.0114	336.7410
0.2515	1.2663	1.9021	1.0754	0.7388	1.0114	336.5506
0.2515	1.2661	1.9019	1.0756	0.7388	1.0114	336.4916
0.2515	1.2670	1.9018	1.0749	0.7387	1.0114	336.7222
0.2515	1.2673	1.9022	1.0747	0.7388	1.0114	336.8567
0.2515	1.2662	1.9023	1.0755	0.7389	1.0114	336.5739
0.2516	1.2655	1.9019	1.0759	0.7388	1.0114	336.4729
0.2515	1.2669	1.9016	1.0750	0.7387	1.0114	336.7308
0.2515	1.2674	1.9022	1.0747	0.7388	1.0114	336.8960

0.2515	1.2662	1.9024	1.0755	0.7389	1.0114	336.7072
0.2516	1.2654	1.9019	1.0760	0.7388	1.0114	336.6253
0.2515	1.2663	1.9015	1.0754	0.7387	1.0114	336.7107
0.2515	1.2667	1.9019	1.0752	0.7388	1.0114	336.7750
0.2515	1.2663	1.9021	1.0754	0.7388	1.0114	336.6926
0.2515	1.2660	1.9019	1.0756	0.7388	1.0114	336.6564
0.2515	1.2663	1.9018	1.0754	0.7387	1.0114	336.6920
0.2515	1.2665	1.9020	1.0752	0.7388	1.0114	336.7191
0.2515	1.2664	1.9020	1.0754	0.7388	1.0114	336.6582
0.2515	1.2662	1.9020	1.0754	0.7388	1.0114	336.6360
0.2515	1.2665	1.9019	1.0752	0.7388	1.0114	336.6893
0.2515	1.2666	1.9020	1.0752	0.7388	1.0114	336.7241
0.2515	1.2664	1.9021	1.0753	0.7388	1.0114	336.5977
0.2515	1.2662	1.9020	1.0754	0.7388	1.0114	336.5587
0.2515	1.2668	1.9019	1.0750	0.7388	1.0114	336.7124
0.2515	1.2670	1.9022	1.0749	0.7388	1.0114	336.8020
0.2515	1.2663	1.9022	1.0754	0.7388	1.0114	336.5289
0.2515	1.2658	1.9019	1.0757	0.7388	1.0114	336.4403
0.2515	1.2672	1.9018	1.0748	0.7387	1.0114	336.7463
0.2515	1.2676	1.9023	1.0745	0.7388	1.0114	336.9299
0.2515	1.2661	1.9025	1.0755	0.7389	1.0114	336.6694
0.2516	1.2652	1.9019	1.0761	0.7388	1.0115	336.5644
0.2515	1.2665	1.9015	1.0752	0.7387	1.0115	336.7289
0.2515	1.2670	1.9020	1.0749	0.7388	1.0115	336.8440
0.2515	1.2662	1.9022	1.0754	0.7388	1.0115	336.7214
0.2516	1.2657	1.9019	1.0758	0.7388	1.0115	336.6656
0.2515	1.2662	1.9017	1.0754	0.7387	1.0115	336.7075
0.2515	1.2665	1.9019	1.0752	0.7388	1.0115	336.7412
0.2515	1.2663	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6814
0.2515	1.2662	1.9020	1.0755	0.7388	1.0115	336.6571
0.2515	1.2664	1.9019	1.0753	0.7388	1.0115	336.6941
0.2515	1.2666	1.9020	1.0752	0.7388	1.0115	336.7203
0.2515	1.2664	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6407
0.2515	1.2663	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6147
0.2515	1.2666	1.9019	1.0751	0.7388	1.0115	336.7032
0.2515	1.2668	1.9021	1.0750	0.7388	1.0115	336.7568
0.2515	1.2663	1.9022	1.0753	0.7388	1.0115	336.5464
0.2515	1.2661	1.9020	1.0755	0.7388	1.0115	336.4823
0.2515	1.2671	1.9019	1.0748	0.7387	1.0115	336.7432
0.2515	1.2674	1.9023	1.0746	0.7388	1.0115	336.8934
0.2515	1.2662	1.9024	1.0754	0.7389	1.0115	336.5839
0.2516	1.2654	1.9019	1.0759	0.7388	1.0115	336.4723
0.2515	1.2669	1.9016	1.0749	0.7387	1.0115	336.7487
0.2515	1.2675	1.9022	1.0746	0.7388	1.0115	336.9263
0.2515	1.2661	1.9025	1.0755	0.7389	1.0115	336.7349
0.2516	1.2653	1.9019	1.0760	0.7388	1.0115	336.6497
0.2515	1.2662	1.9015	1.0754	0.7387	1.0115	336.7250
0.2515	1.2666	1.9019	1.0751	0.7388	1.0115	336.7833
0.2515	1.2663	1.9021	1.0754	0.7388	1.0115	336.7065
0.2515	1.2660	1.9020	1.0756	0.7388	1.0115	336.6724
0.2515	1.2663	1.9018	1.0753	0.7387	1.0115	336.7030
0.2515	1.2665	1.9020	1.0752	0.7388	1.0115	336.7268
0.2515	1.2664	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6693
0.2515	1.2662	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6485
0.2515	1.2665	1.9020	1.0752	0.7388	1.0115	336.7001

0.2515	1.2666	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7335
0.2515	1.2664	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6001
0.2515	1.2662	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.5596
0.2515	1.2669	1.9019	1.0750	0.7388	1.0115	336.7266
0.2515	1.2671	1.9022	1.0748	0.7388	1.0115	336.8224
0.2515	1.2663	1.9023	1.0754	0.7388	1.0115	336.5212
0.2516	1.2658	1.9020	1.0757	0.7388	1.0115	336.4239
0.2515	1.2672	1.9018	1.0747	0.7387	1.0115	336.7642
0.2515	1.2677	1.9024	1.0744	0.7388	1.0115	336.9674
0.2515	1.2661	1.9026	1.0755	0.7389	1.0115	336.6929
0.2516	1.2651	1.9019	1.0761	0.7387	1.0115	336.5803
0.2515	1.2664	1.9015	1.0752	0.7387	1.0115	336.7413
0.2515	1.2670	1.9020	1.0749	0.7388	1.0115	336.8556
0.2515	1.2662	1.9023	1.0754	0.7388	1.0115	336.7369
0.2516	1.2657	1.9019	1.0758	0.7388	1.0115	336.6818
0.2515	1.2662	1.9017	1.0754	0.7387	1.0115	336.7170
0.2515	1.2665	1.9020	1.0752	0.7388	1.0115	336.7462
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6905
0.2515	1.2662	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6679
0.2515	1.2664	1.9019	1.0752	0.7388	1.0115	336.7023
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7265
0.2515	1.2664	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6470
0.2515	1.2663	1.9020	1.0753	0.7388	1.0115	336.6214
0.2515	1.2666	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7123
0.2515	1.2668	1.9021	1.0750	0.7388	1.0115	336.7667
0.2515	1.2663	1.9022	1.0753	0.7388	1.0115	336.5385
0.2515	1.2661	1.9020	1.0755	0.7388	1.0115	336.4698
0.2515	1.2672	1.9019	1.0747	0.7387	1.0115	336.7578
0.2515	1.2675	1.9024	1.0745	0.7388	1.0115	336.9221
0.2515	1.2661	1.9025	1.0754	0.7389	1.0115	336.5902
0.2516	1.2653	1.9019	1.0760	0.7388	1.0115	336.4697
0.2515	1.2669	1.9016	1.0749	0.7387	1.0115	336.7601
0.2515	1.2675	1.9023	1.0745	0.7388	1.0115	336.9477
0.2515	1.2661	1.9025	1.0754	0.7389	1.0115	336.7545
0.2516	1.2652	1.9019	1.0760	0.7388	1.0115	336.6668
0.2515	1.2661	1.9015	1.0754	0.7387	1.0115	336.7339
0.2515	1.2666	1.9019	1.0751	0.7388	1.0115	336.7874
0.2515	1.2662	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.7147
0.2515	1.2660	1.9020	1.0755	0.7388	1.0115	336.6820
0.2515	1.2663	1.9019	1.0753	0.7387	1.0115	336.7094
0.2515	1.2665	1.9020	1.0752	0.7388	1.0115	336.7308
0.2515	1.2664	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6757
0.2515	1.2663	1.9020	1.0753	0.7388	1.0115	336.6559
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7064
0.2515	1.2666	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7388
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.5994
0.2515	1.2662	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.5577
0.2515	1.2669	1.9020	1.0749	0.7388	1.0115	336.7357
0.2515	1.2671	1.9023	1.0748	0.7388	1.0115	336.8369
0.2515	1.2662	1.9023	1.0753	0.7388	1.0115	336.7027
0.2516	1.2658	1.9020	1.0757	0.7388	1.0115	336.6467
0.2515	1.2664	1.9018	1.0752	0.7387	1.0115	336.7207
0.2515	1.2667	1.9020	1.0750	0.7388	1.0115	336.7742
0.2515	1.2663	1.9022	1.0753	0.7388	1.0115	336.7003
0.2515	1.2661	1.9020	1.0755	0.7388	1.0115	336.6695



0.2515	1.2664	1.9019	1.0752	0.7387	1.0115	336.7102
0.2515	1.2666	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7396
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6665
0.2515	1.2662	1.9020	1.0753	0.7388	1.0115	336.6410
0.2515	1.2666	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7124
0.2515	1.2667	1.9021	1.0750	0.7388	1.0115	336.7574
0.2515	1.2664	1.9022	1.0753	0.7388	1.0115	336.5988
0.2515	1.2661	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.5492
0.2515	1.2669	1.9019	1.0749	0.7388	1.0115	336.7387
0.2515	1.2671	1.9023	1.0747	0.7388	1.0115	336.8497
0.2515	1.2662	1.9024	1.0753	0.7388	1.0115	336.5811
0.2516	1.2657	1.9020	1.0757	0.7388	1.0115	336.4885
0.2515	1.2670	1.9018	1.0748	0.7387	1.0115	336.7557
0.2515	1.2674	1.9023	1.0745	0.7388	1.0115	336.9224
0.2515	1.2662	1.9025	1.0754	0.7389	1.0115	336.7118
0.2516	1.2654	1.9020	1.0759	0.7388	1.0115	336.6235
0.2515	1.2664	1.9016	1.0752	0.7387	1.0115	336.7368
0.2515	1.2668	1.9020	1.0750	0.7388	1.0115	336.8188
0.2515	1.2663	1.9022	1.0753	0.7388	1.0115	336.7209
0.2516	1.2659	1.9020	1.0756	0.7388	1.0115	336.6775
0.2515	1.2663	1.9018	1.0753	0.7387	1.0115	336.7174
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7481
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6864
0.2515	1.2662	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6627
0.2515	1.2665	1.9020	1.0752	0.7388	1.0115	336.7101
0.2515	1.2666	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7418
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6370
0.2515	1.2662	1.9020	1.0753	0.7388	1.0115	336.6035
0.2515	1.2667	1.9020	1.0750	0.7388	1.0115	336.7252
0.2515	1.2669	1.9022	1.0749	0.7388	1.0115	336.7974
0.2515	1.2663	1.9023	1.0753	0.7388	1.0115	336.5578
0.2516	1.2660	1.9020	1.0755	0.7388	1.0115	336.4815
0.2515	1.2671	1.9019	1.0747	0.7387	1.0115	336.7596
0.2515	1.2675	1.9024	1.0745	0.7388	1.0115	336.9241
0.2515	1.2661	1.9025	1.0754	0.7389	1.0115	336.6530
0.2516	1.2654	1.9020	1.0759	0.7388	1.0115	336.5486
0.2515	1.2667	1.9016	1.0750	0.7387	1.0115	336.7500
0.2515	1.2672	1.9022	1.0747	0.7388	1.0115	336.8856
0.2515	1.2662	1.9024	1.0754	0.7388	1.0115	336.7396
0.2516	1.2655	1.9020	1.0758	0.7388	1.0115	336.6741
0.2515	1.2662	1.9017	1.0753	0.7387	1.0115	336.7288
0.2515	1.2666	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7718
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.7047
0.2515	1.2661	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6764
0.2515	1.2664	1.9019	1.0752	0.7387	1.0115	336.7122
0.2515	1.2665	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7382
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6679
0.2515	1.2663	1.9020	1.0753	0.7388	1.0115	336.6438
0.2515	1.2666	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7154
0.2515	1.2667	1.9021	1.0750	0.7388	1.0115	336.7600
0.2515	1.2664	1.9022	1.0752	0.7388	1.0115	336.5866
0.2515	1.2661	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.5335
0.2515	1.2670	1.9020	1.0748	0.7388	1.0115	336.7477
0.2515	1.2672	1.9023	1.0746	0.7388	1.0115	336.8712
0.2515	1.2662	1.9024	1.0753	0.7388	1.0115	336.5725



0.2516	1.2656	1.9020	1.0757	0.7388	1.0115	336.4694
0.2515	1.2670	1.9017	1.0748	0.7387	1.0115	336.7650
0.2515	1.2675	1.9023	1.0744	0.7388	1.0115	336.9494
0.2515	1.2661	1.9025	1.0754	0.7389	1.0115	336.7314
0.2516	1.2652	1.9019	1.0760	0.7388	1.0115	336.6377
0.2515	1.2663	1.9016	1.0753	0.7387	1.0115	336.7417
0.2515	1.2667	1.9020	1.0750	0.7388	1.0115	336.8189
0.2515	1.2662	1.9022	1.0753	0.7388	1.0115	336.7274
0.2516	1.2659	1.9020	1.0756	0.7388	1.0115	336.6860
0.2515	1.2663	1.9018	1.0753	0.7387	1.0115	336.7194
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7457
0.2515	1.2663	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6887
0.2515	1.2662	1.9020	1.0753	0.7388	1.0115	336.6670
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7117
0.2515	1.2666	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7416
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6331
0.2515	1.2662	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.5992
0.2515	1.2668	1.9020	1.0750	0.7388	1.0115	336.7298
0.2515	1.2669	1.9022	1.0749	0.7388	1.0115	336.8060
0.2515	1.2663	1.9023	1.0753	0.7388	1.0115	336.5393
0.2516	1.2659	1.9020	1.0755	0.7388	1.0115	336.4554
0.2515	1.2672	1.9019	1.0747	0.7387	1.0115	336.7702
0.2515	1.2676	1.9024	1.0744	0.7388	1.0115	336.9550
0.2515	1.2661	1.9026	1.0754	0.7389	1.0115	336.6643
0.2516	1.2652	1.9019	1.0760	0.7387	1.0115	336.5506
0.2515	1.2666	1.9016	1.0751	0.7387	1.0115	336.7553
0.2515	1.2672	1.9022	1.0747	0.7388	1.0115	336.8947
0.2515	1.2662	1.9024	1.0754	0.7388	1.0115	336.7515
0.2516	1.2655	1.9020	1.0758	0.7388	1.0115	336.6857
0.2515	1.2662	1.9017	1.0753	0.7387	1.0115	336.7316
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7690
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.7071
0.2515	1.2661	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6809
0.2515	1.2664	1.9019	1.0752	0.7388	1.0115	336.7132
0.2515	1.2665	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7368
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6683
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6452
0.2515	1.2666	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7174
0.2515	1.2667	1.9021	1.0750	0.7388	1.0115	336.7618
0.2515	1.2664	1.9022	1.0752	0.7388	1.0115	336.5741
0.2515	1.2661	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.5177
0.2515	1.2670	1.9020	1.0748	0.7388	1.0115	336.7553
0.2515	1.2673	1.9023	1.0746	0.7388	1.0115	336.8906
0.2515	1.2662	1.9025	1.0753	0.7389	1.0115	336.5651
0.2516	1.2655	1.9020	1.0758	0.7388	1.0115	336.4524
0.2515	1.2671	1.9017	1.0747	0.7387	1.0115	336.7721
0.2515	1.2676	1.9024	1.0744	0.7388	1.0115	336.9720
0.2515	1.2661	1.9026	1.0754	0.7389	1.0115	336.7482
0.2516	1.2651	1.9019	1.0760	0.7387	1.0115	336.6499
0.2515	1.2662	1.9015	1.0753	0.7387	1.0115	336.7455
0.2515	1.2667	1.9020	1.0750	0.7388	1.0115	336.8181
0.2515	1.2662	1.9022	1.0753	0.7388	1.0115	336.7313
0.2516	1.2659	1.9020	1.0755	0.7388	1.0115	336.6916
0.2515	1.2663	1.9018	1.0753	0.7387	1.0115	336.7204
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7436

0.2515	1.2663	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6899
0.2515	1.2662	1.9020	1.0753	0.7388	1.0115	336.6697
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7126
0.2515	1.2666	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7411
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6291
0.2515	1.2662	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.5948
0.2515	1.2668	1.9020	1.0749	0.7388	1.0115	336.7332
0.2515	1.2669	1.9022	1.0748	0.7388	1.0115	336.8130
0.2515	1.2663	1.9023	1.0753	0.7388	1.0115	336.5228
0.2516	1.2659	1.9020	1.0755	0.7388	1.0115	336.4322
0.2515	1.2673	1.9019	1.0746	0.7387	1.0115	336.7789
0.2515	1.2677	1.9024	1.0743	0.7389	1.0115	336.9812
0.2516	1.2661	1.9026	1.0754	0.7389	1.0115	336.6747
0.2516	1.2651	1.9019	1.0761	0.7387	1.0115	336.5533
0.2515	1.2666	1.9015	1.0751	0.7387	1.0115	336.7591
0.2515	1.2672	1.9021	1.0747	0.7388	1.0115	336.9008
0.2515	1.2662	1.9024	1.0754	0.7388	1.0115	336.7599
0.2516	1.2655	1.9020	1.0758	0.7388	1.0115	336.6940
0.2515	1.2662	1.9017	1.0754	0.7387	1.0115	336.7335
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7667
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.7084
0.2515	1.2661	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6837
0.2515	1.2664	1.9020	1.0752	0.7388	1.0115	336.7137
0.2515	1.2665	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7357
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6682
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6458
0.2515	1.2666	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7186
0.2515	1.2667	1.9022	1.0750	0.7388	1.0115	336.7630
0.2515	1.2664	1.9022	1.0752	0.7388	1.0115	336.5635
0.2515	1.2661	1.9021	1.0754	0.7388	1.0115	336.5043
0.2515	1.2671	1.9020	1.0747	0.7388	1.0115	336.7612
0.2515	1.2674	1.9024	1.0745	0.7388	1.0115	336.9061
0.2515	1.2662	1.9025	1.0754	0.7389	1.0115	336.5596
0.2516	1.2655	1.9020	1.0758	0.7388	1.0115	336.4393
0.2515	1.2671	1.9017	1.0747	0.7387	1.0115	336.7773
0.2515	1.2677	1.9024	1.0743	0.7388	1.0115	336.9890
0.2515	1.2661	1.9026	1.0754	0.7389	1.0115	336.7609
0.2516	1.2651	1.9019	1.0761	0.7387	1.0115	336.6593
0.2515	1.2662	1.9015	1.0754	0.7387	1.0115	336.7482
0.2515	1.2666	1.9020	1.0750	0.7388	1.0115	336.8172
0.2515	1.2662	1.9022	1.0753	0.7388	1.0115	336.7337
0.2516	1.2659	1.9020	1.0755	0.7388	1.0115	336.6952
0.2515	1.2663	1.9019	1.0753	0.7387	1.0115	336.7209
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7420
0.2515	1.2663	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6906
0.2515	1.2662	1.9020	1.0753	0.7388	1.0115	336.6713
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7131
0.2515	1.2666	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7407
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6259
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.5912
0.2515	1.2668	1.9020	1.0749	0.7388	1.0115	336.7356
0.2515	1.2670	1.9022	1.0748	0.7388	1.0115	336.8182
0.2515	1.2663	1.9023	1.0753	0.7388	1.0115	336.5100
0.2516	1.2659	1.9020	1.0755	0.7388	1.0115	336.4143
0.2515	1.2674	1.9019	1.0745	0.7387	1.0115	336.7852

0.2515	1.2678	1.9025	1.0742	0.7389	1.0115	337.0009
0.2516	1.2660	1.9027	1.0754	0.7389	1.0115	336.6829
0.2516	1.2650	1.9019	1.0761	0.7387	1.0115	336.5557
0.2515	1.2665	1.9015	1.0751	0.7387	1.0115	336.7619
0.2515	1.2671	1.9021	1.0747	0.7388	1.0115	336.9048
0.2515	1.2662	1.9024	1.0754	0.7388	1.0115	336.7655
0.2516	1.2655	1.9020	1.0758	0.7388	1.0115	336.6996
0.2515	1.2661	1.9017	1.0754	0.7387	1.0115	336.7348
0.2515	1.2665	1.9020	1.0752	0.7388	1.0115	336.7651
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.7092
0.2515	1.2661	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6854
0.2515	1.2664	1.9020	1.0752	0.7388	1.0115	336.7139
0.2515	1.2665	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7349
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6681
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6460
0.2515	1.2666	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7193
0.2515	1.2667	1.9022	1.0750	0.7388	1.0115	336.7637
0.2515	1.2664	1.9022	1.0752	0.7388	1.0115	336.5558
0.2515	1.2661	1.9021	1.0754	0.7388	1.0115	336.4946
0.2515	1.2671	1.9020	1.0747	0.7388	1.0115	336.7653
0.2515	1.2674	1.9024	1.0745	0.7388	1.0115	336.9171
0.2515	1.2661	1.9025	1.0754	0.7389	1.0115	336.7510
0.2516	1.2654	1.9020	1.0759	0.7388	1.0115	336.6762
0.2515	1.2662	1.9017	1.0753	0.7387	1.0115	336.7369
0.2515	1.2666	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7848
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.7220
0.2516	1.2660	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6936
0.2515	1.2663	1.9019	1.0752	0.7387	1.0115	336.7165
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7345
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6815
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6630
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7151
0.2515	1.2666	1.9021	1.0750	0.7388	1.0115	336.7478
0.2515	1.2664	1.9022	1.0752	0.7388	1.0115	336.5853
0.2515	1.2662	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.5382
0.2515	1.2670	1.9020	1.0748	0.7388	1.0115	336.7533
0.2515	1.2672	1.9023	1.0746	0.7388	1.0115	336.8728
0.2515	1.2662	1.9024	1.0753	0.7388	1.0115	336.7278
0.2516	1.2656	1.9020	1.0757	0.7388	1.0115	336.6648
0.2515	1.2663	1.9017	1.0752	0.7387	1.0115	336.7312
0.2515	1.2666	1.9020	1.0750	0.7388	1.0115	336.7810
0.2515	1.2663	1.9022	1.0753	0.7388	1.0115	336.7151
0.2516	1.2661	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6863
0.2515	1.2664	1.9019	1.0752	0.7387	1.0115	336.7164
0.2515	1.2665	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7391
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6772
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6557
0.2515	1.2666	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7172
0.2515	1.2667	1.9021	1.0750	0.7388	1.0115	336.7557
0.2515	1.2664	1.9022	1.0752	0.7388	1.0115	336.5904
0.2515	1.2662	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.5409
0.2515	1.2670	1.9020	1.0748	0.7388	1.0115	336.7511
0.2515	1.2672	1.9023	1.0746	0.7388	1.0115	336.8705
0.2515	1.2662	1.9024	1.0753	0.7388	1.0115	336.5443
0.2516	1.2656	1.9020	1.0757	0.7388	1.0115	336.4350

0.2515	1.2672	1.9018	1.0747	0.7387	1.0115	336.7783
0.2515	1.2677	1.9024	1.0743	0.7388	1.0115	336.9884
0.2516	1.2661	1.9026	1.0754	0.7389	1.0115	336.7386
0.2516	1.2651	1.9019	1.0761	0.7387	1.0115	336.6313
0.2515	1.2663	1.9015	1.0753	0.7387	1.0115	336.7509
0.2515	1.2668	1.9020	1.0749	0.7388	1.0115	336.8395
0.2515	1.2662	1.9022	1.0753	0.7388	1.0115	336.7413
0.2516	1.2658	1.9020	1.0756	0.7388	1.0115	336.6958
0.2515	1.2663	1.9018	1.0753	0.7387	1.0115	336.7250
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7492
0.2515	1.2663	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6964
0.2515	1.2662	1.9020	1.0753	0.7388	1.0115	336.6757
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7137
0.2515	1.2666	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7395
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6433
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6133
0.2515	1.2667	1.9020	1.0750	0.7388	1.0115	336.7295
0.2515	1.2669	1.9022	1.0749	0.7388	1.0115	336.7972
0.2515	1.2663	1.9023	1.0753	0.7388	1.0115	336.5274
0.2516	1.2660	1.9020	1.0755	0.7388	1.0115	336.4450
0.2515	1.2673	1.9019	1.0746	0.7387	1.0115	336.7781
0.2515	1.2677	1.9024	1.0743	0.7389	1.0115	336.9697
0.2516	1.2661	1.9026	1.0754	0.7389	1.0115	336.6441
0.2516	1.2652	1.9019	1.0760	0.7387	1.0115	336.5196
0.2515	1.2667	1.9015	1.0750	0.7387	1.0115	336.7653
0.2515	1.2673	1.9022	1.0746	0.7388	1.0115	336.9299
0.2515	1.2662	1.9025	1.0754	0.7389	1.0115	336.7674
0.2516	1.2654	1.9020	1.0759	0.7388	1.0115	336.6918
0.2515	1.2661	1.9016	1.0754	0.7387	1.0115	336.7391
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7784
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.7157
0.2516	1.2661	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6883
0.2515	1.2664	1.9019	1.0752	0.7387	1.0115	336.7161
0.2515	1.2665	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7371
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6767
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6560
0.2515	1.2666	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7173
0.2515	1.2667	1.9021	1.0750	0.7388	1.0115	336.7554
0.2515	1.2664	1.9022	1.0752	0.7388	1.0115	336.5818
0.2515	1.2662	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.5305
0.2515	1.2670	1.9020	1.0748	0.7388	1.0115	336.7551
0.2515	1.2673	1.9023	1.0746	0.7388	1.0115	336.8815
0.2515	1.2662	1.9024	1.0753	0.7389	1.0115	336.7313
0.2516	1.2656	1.9020	1.0757	0.7388	1.0115	336.6658
0.2515	1.2663	1.9017	1.0753	0.7387	1.0115	336.7327
0.2515	1.2666	1.9020	1.0750	0.7388	1.0115	336.7832
0.2515	1.2663	1.9022	1.0753	0.7388	1.0115	336.7166
0.2516	1.2661	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6874
0.2515	1.2664	1.9019	1.0752	0.7387	1.0115	336.7170
0.2515	1.2665	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7394
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6786
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6574
0.2515	1.2666	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7171
0.2515	1.2667	1.9021	1.0750	0.7388	1.0115	336.7547
0.2515	1.2664	1.9022	1.0752	0.7388	1.0115	336.5929



0.2515	1.2662	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.5444
0.2515	1.2670	1.9020	1.0748	0.7388	1.0115	336.7505
0.2515	1.2672	1.9023	1.0747	0.7388	1.0115	336.8675
0.2515	1.2662	1.9024	1.0753	0.7388	1.0115	336.5404
0.2516	1.2657	1.9020	1.0757	0.7388	1.0115	336.4314
0.2515	1.2672	1.9018	1.0746	0.7387	1.0115	336.7797
0.2515	1.2678	1.9024	1.0743	0.7388	1.0115	336.9918
0.2516	1.2661	1.9026	1.0754	0.7389	1.0115	336.7369
0.2516	1.2651	1.9019	1.0761	0.7387	1.0115	336.6279
0.2515	1.2663	1.9015	1.0753	0.7387	1.0115	336.7520
0.2515	1.2668	1.9020	1.0749	0.7388	1.0115	336.8436
0.2515	1.2662	1.9022	1.0753	0.7388	1.0115	336.7433
0.2516	1.2658	1.9020	1.0756	0.7388	1.0115	336.6966
0.2515	1.2662	1.9018	1.0753	0.7387	1.0115	336.7258
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7501
0.2515	1.2663	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6975
0.2515	1.2662	1.9020	1.0753	0.7388	1.0115	336.6768
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7139
0.2515	1.2666	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7392
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6455
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6162
0.2515	1.2667	1.9020	1.0750	0.7388	1.0115	336.7289
0.2515	1.2669	1.9022	1.0749	0.7388	1.0115	336.7948
0.2515	1.2663	1.9023	1.0752	0.7388	1.0115	336.5281
0.2516	1.2660	1.9020	1.0755	0.7388	1.0115	336.4469
0.2515	1.2673	1.9019	1.0746	0.7387	1.0115	336.7780
0.2515	1.2677	1.9024	1.0743	0.7389	1.0115	336.9680
0.2516	1.2661	1.9026	1.0754	0.7389	1.0115	336.6385
0.2516	1.2652	1.9019	1.0760	0.7387	1.0115	336.5132
0.2515	1.2667	1.9016	1.0750	0.7387	1.0115	336.7666
0.2515	1.2674	1.9022	1.0745	0.7388	1.0115	336.9355
0.2515	1.2661	1.9025	1.0754	0.7389	1.0115	336.7688
0.2516	1.2653	1.9020	1.0759	0.7388	1.0115	336.6914
0.2515	1.2661	1.9016	1.0754	0.7387	1.0115	336.7401
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7805
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.7171
0.2516	1.2661	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6892
0.2515	1.2664	1.9019	1.0752	0.7387	1.0115	336.7165
0.2515	1.2665	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7373
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6781
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6576
0.2515	1.2666	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7171
0.2515	1.2667	1.9021	1.0750	0.7388	1.0115	336.7542
0.2515	1.2664	1.9022	1.0752	0.7388	1.0115	336.5847
0.2515	1.2662	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.5346
0.2515	1.2670	1.9020	1.0748	0.7388	1.0115	336.7541
0.2515	1.2672	1.9023	1.0746	0.7388	1.0115	336.8776
0.2515	1.2662	1.9024	1.0753	0.7389	1.0115	336.7293
0.2516	1.2656	1.9020	1.0757	0.7388	1.0115	336.6648
0.2515	1.2663	1.9017	1.0752	0.7387	1.0115	336.7324
0.2515	1.2666	1.9020	1.0750	0.7388	1.0115	336.7831
0.2515	1.2663	1.9022	1.0753	0.7388	1.0115	336.7160
0.2516	1.2661	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6867
0.2515	1.2664	1.9019	1.0752	0.7387	1.0115	336.7172
0.2515	1.2665	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7401



0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6783
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6568
0.2515	1.2666	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7175
0.2515	1.2667	1.9021	1.0750	0.7388	1.0115	336.7557
0.2515	1.2664	1.9022	1.0752	0.7388	1.0115	336.5938
0.2515	1.2662	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.5451
0.2515	1.2670	1.9020	1.0748	0.7388	1.0115	336.7503
0.2515	1.2672	1.9023	1.0747	0.7388	1.0115	336.8671
0.2515	1.2662	1.9024	1.0753	0.7388	1.0115	336.5452
0.2516	1.2657	1.9020	1.0757	0.7388	1.0115	336.4376
0.2515	1.2672	1.9018	1.0747	0.7387	1.0115	336.7781
0.2515	1.2677	1.9024	1.0743	0.7388	1.0115	336.9861
0.2516	1.2661	1.9026	1.0754	0.7389	1.0115	336.7356
0.2516	1.2651	1.9019	1.0761	0.7387	1.0115	336.6285
0.2515	1.2663	1.9015	1.0753	0.7387	1.0115	336.7512
0.2515	1.2668	1.9020	1.0749	0.7388	1.0115	336.8418
0.2515	1.2662	1.9022	1.0753	0.7388	1.0115	336.7419
0.2516	1.2658	1.9020	1.0756	0.7388	1.0115	336.6956
0.2515	1.2663	1.9018	1.0753	0.7387	1.0115	336.7256
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7504
0.2515	1.2663	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6971
0.2515	1.2662	1.9020	1.0753	0.7388	1.0115	336.6762
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7141
0.2515	1.2666	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7400
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6451
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6154
0.2515	1.2667	1.9020	1.0750	0.7388	1.0115	336.7292
0.2515	1.2669	1.9022	1.0749	0.7388	1.0115	336.7958
0.2515	1.2663	1.9023	1.0752	0.7388	1.0115	336.5308
0.2516	1.2660	1.9020	1.0755	0.7388	1.0115	336.4498
0.2515	1.2673	1.9019	1.0746	0.7387	1.0115	336.7771
0.2515	1.2677	1.9024	1.0743	0.7389	1.0115	336.9653
0.2516	1.2661	1.9026	1.0754	0.7389	1.0115	336.6410
0.2516	1.2652	1.9019	1.0760	0.7387	1.0115	336.5174
0.2515	1.2667	1.9016	1.0750	0.7387	1.0115	336.7656
0.2515	1.2673	1.9022	1.0746	0.7388	1.0115	336.9312
0.2515	1.2662	1.9025	1.0754	0.7389	1.0115	336.7668
0.2516	1.2654	1.9020	1.0759	0.7388	1.0115	336.6905
0.2515	1.2661	1.9016	1.0754	0.7387	1.0115	336.7395
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7800
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.7165
0.2516	1.2661	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6886
0.2515	1.2664	1.9019	1.0752	0.7387	1.0115	336.7166
0.2515	1.2665	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7377
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6776
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6569
0.2515	1.2666	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7174
0.2515	1.2667	1.9021	1.0750	0.7388	1.0115	336.7551
0.2515	1.2664	1.9022	1.0752	0.7388	1.0115	336.5847
0.2515	1.2662	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.5342
0.2515	1.2670	1.9020	1.0748	0.7388	1.0115	336.7542
0.2515	1.2672	1.9023	1.0746	0.7388	1.0115	336.8781
0.2515	1.2662	1.9024	1.0753	0.7389	1.0115	336.7294
0.2516	1.2656	1.9020	1.0757	0.7388	1.0115	336.6648
0.2515	1.2663	1.9017	1.0752	0.7387	1.0115	336.7325

0.2515	1.2666	1.9020	1.0750	0.7388	1.0115	336.7834
0.2515	1.2663	1.9022	1.0753	0.7388	1.0115	336.7161
0.2516	1.2661	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6868
0.2515	1.2664	1.9019	1.0752	0.7387	1.0115	336.7173
0.2515	1.2665	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7402
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6785
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6569
0.2515	1.2666	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7176
0.2515	1.2667	1.9021	1.0750	0.7388	1.0115	336.7557
0.2515	1.2664	1.9022	1.0752	0.7388	1.0115	336.5943
0.2515	1.2662	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.5457
0.2515	1.2670	1.9020	1.0748	0.7388	1.0115	336.7502
0.2515	1.2672	1.9023	1.0747	0.7388	1.0115	336.8666
0.2515	1.2662	1.9024	1.0753	0.7388	1.0115	336.5454
0.2516	1.2657	1.9020	1.0757	0.7388	1.0115	336.4380
0.2515	1.2672	1.9018	1.0747	0.7387	1.0115	336.7781
0.2515	1.2677	1.9024	1.0743	0.7388	1.0115	336.9857
0.2516	1.2661	1.9026	1.0754	0.7389	1.0115	336.7351
0.2516	1.2651	1.9019	1.0761	0.7387	1.0115	336.6281
0.2515	1.2663	1.9015	1.0753	0.7387	1.0115	336.7513
0.2515	1.2668	1.9020	1.0749	0.7388	1.0115	336.8420
0.2515	1.2662	1.9022	1.0753	0.7388	1.0115	336.7420
0.2516	1.2658	1.9020	1.0756	0.7388	1.0115	336.6956
0.2515	1.2663	1.9018	1.0753	0.7387	1.0115	336.7257
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7506
0.2515	1.2663	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6972
0.2515	1.2662	1.9020	1.0753	0.7388	1.0115	336.6763
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7142
0.2515	1.2666	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7400
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6453
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6157
0.2515	1.2667	1.9020	1.0750	0.7388	1.0115	336.7292
0.2515	1.2669	1.9022	1.0749	0.7388	1.0115	336.7956
0.2515	1.2663	1.9023	1.0752	0.7388	1.0115	336.5313
0.2516	1.2660	1.9020	1.0755	0.7388	1.0115	336.4505
0.2515	1.2673	1.9019	1.0746	0.7387	1.0115	336.7769
0.2515	1.2677	1.9024	1.0743	0.7389	1.0115	336.9647
0.2516	1.2661	1.9026	1.0754	0.7389	1.0115	336.6406
0.2516	1.2652	1.9019	1.0760	0.7387	1.0115	336.5172
0.2515	1.2667	1.9016	1.0750	0.7387	1.0115	336.7656
0.2515	1.2673	1.9022	1.0746	0.7388	1.0115	336.9314
0.2515	1.2662	1.9025	1.0754	0.7389	1.0115	336.7667
0.2516	1.2654	1.9020	1.0759	0.7388	1.0115	336.6903
0.2515	1.2661	1.9016	1.0754	0.7387	1.0115	336.7396
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7802
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.7166
0.2516	1.2661	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6886
0.2515	1.2664	1.9019	1.0752	0.7387	1.0115	336.7166
0.2515	1.2665	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7378
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6777
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6570
0.2515	1.2666	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7174
0.2515	1.2667	1.9021	1.0750	0.7388	1.0115	336.7551
0.2515	1.2664	1.9022	1.0752	0.7388	1.0115	336.5851
0.2515	1.2662	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.5348

0.2515	1.2670	1.9020	1.0748	0.7388	1.0115	336.7541
0.2515	1.2672	1.9023	1.0746	0.7388	1.0115	336.8777
0.2515	1.2662	1.9024	1.0753	0.7389	1.0115	336.7292
0.2516	1.2656	1.9020	1.0757	0.7388	1.0115	336.6647
0.2515	1.2663	1.9017	1.0752	0.7387	1.0115	336.7325
0.2515	1.2666	1.9020	1.0750	0.7388	1.0115	336.7834
0.2515	1.2663	1.9022	1.0753	0.7388	1.0115	336.7160
0.2516	1.2661	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6867
0.2515	1.2664	1.9019	1.0752	0.7387	1.0115	336.7173
0.2515	1.2665	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7404
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6784
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6568
0.2515	1.2666	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7176
0.2515	1.2667	1.9021	1.0750	0.7388	1.0115	336.7558
0.2515	1.2664	1.9022	1.0752	0.7388	1.0115	336.5945
0.2515	1.2662	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.5459
0.2515	1.2670	1.9020	1.0748	0.7388	1.0115	336.7502
0.2515	1.2672	1.9023	1.0747	0.7388	1.0115	336.8665
0.2515	1.2662	1.9024	1.0753	0.7388	1.0115	336.5461
0.2516	1.2657	1.9020	1.0757	0.7388	1.0115	336.4389
0.2515	1.2672	1.9018	1.0747	0.7387	1.0115	336.7778
0.2515	1.2677	1.9024	1.0743	0.7388	1.0115	336.9848
0.2516	1.2661	1.9026	1.0754	0.7389	1.0115	336.7349
0.2516	1.2651	1.9019	1.0761	0.7387	1.0115	336.6281
0.2515	1.2663	1.9015	1.0753	0.7387	1.0115	336.7512
0.2515	1.2668	1.9020	1.0749	0.7388	1.0115	336.8418
0.2515	1.2662	1.9022	1.0753	0.7388	1.0115	336.7418
0.2516	1.2658	1.9020	1.0756	0.7388	1.0115	336.6955
0.2515	1.2663	1.9018	1.0753	0.7387	1.0115	336.7257
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7507
0.2515	1.2663	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6972
0.2515	1.2662	1.9020	1.0753	0.7388	1.0115	336.6763
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7142
0.2515	1.2666	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7402
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6453
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6156
0.2515	1.2667	1.9020	1.0750	0.7388	1.0115	336.7293
0.2515	1.2669	1.9022	1.0749	0.7388	1.0115	336.7957
0.2515	1.2663	1.9023	1.0752	0.7388	1.0115	336.5318
0.2516	1.2660	1.9020	1.0755	0.7388	1.0115	336.4511
0.2515	1.2673	1.9019	1.0746	0.7387	1.0115	336.7768
0.2515	1.2677	1.9024	1.0743	0.7389	1.0115	336.9642
0.2516	1.2661	1.9026	1.0754	0.7389	1.0115	336.6409
0.2516	1.2652	1.9019	1.0760	0.7387	1.0115	336.5178
0.2515	1.2667	1.9016	1.0750	0.7387	1.0115	336.7655
0.2515	1.2673	1.9022	1.0746	0.7388	1.0115	336.9308
0.2515	1.2662	1.9025	1.0754	0.7389	1.0115	336.7664
0.2516	1.2654	1.9020	1.0759	0.7388	1.0115	336.6902
0.2515	1.2661	1.9016	1.0754	0.7387	1.0115	336.7395
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7802
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.7165
0.2516	1.2661	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6886
0.2515	1.2664	1.9019	1.0752	0.7387	1.0115	336.7166
0.2515	1.2665	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7379
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6777

0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6569
0.2515	1.2666	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7175
0.2515	1.2667	1.9021	1.0750	0.7388	1.0115	336.7552
0.2515	1.2664	1.9022	1.0752	0.7388	1.0115	336.5852
0.2515	1.2662	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.5348
0.2515	1.2670	1.9020	1.0748	0.7388	1.0115	336.7541
0.2515	1.2672	1.9023	1.0746	0.7388	1.0115	336.8777
0.2515	1.2662	1.9024	1.0753	0.7389	1.0115	336.7292
0.2516	1.2656	1.9020	1.0757	0.7388	1.0115	336.6647
0.2515	1.2663	1.9017	1.0752	0.7387	1.0115	336.7325
0.2515	1.2666	1.9020	1.0750	0.7388	1.0115	336.7834
0.2515	1.2663	1.9022	1.0753	0.7388	1.0115	336.7160
0.2516	1.2661	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6867
0.2515	1.2664	1.9019	1.0752	0.7387	1.0115	336.7173
0.2515	1.2665	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7404
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6785
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6568
0.2515	1.2666	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7176
0.2515	1.2667	1.9021	1.0750	0.7388	1.0115	336.7559
0.2515	1.2664	1.9022	1.0752	0.7388	1.0115	336.5946
0.2515	1.2662	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.5460
0.2515	1.2670	1.9020	1.0748	0.7388	1.0115	336.7502
0.2515	1.2672	1.9023	1.0747	0.7388	1.0115	336.8664
0.2515	1.2662	1.9024	1.0753	0.7388	1.0115	336.5462
0.2516	1.2657	1.9020	1.0757	0.7388	1.0115	336.4391
0.2515	1.2672	1.9018	1.0747	0.7387	1.0115	336.7778
0.2515	1.2677	1.9024	1.0743	0.7388	1.0115	336.9846
0.2516	1.2661	1.9026	1.0754	0.7389	1.0115	336.7348
0.2516	1.2651	1.9019	1.0761	0.7387	1.0115	336.6281
0.2515	1.2663	1.9015	1.0753	0.7387	1.0115	336.7512
0.2515	1.2668	1.9020	1.0749	0.7388	1.0115	336.8418
0.2515	1.2662	1.9022	1.0753	0.7388	1.0115	336.7418
0.2516	1.2658	1.9020	1.0756	0.7388	1.0115	336.6954
0.2515	1.2663	1.9018	1.0753	0.7387	1.0115	336.7257
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7507
0.2515	1.2663	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6972
0.2515	1.2662	1.9020	1.0753	0.7388	1.0115	336.6762
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7143
0.2515	1.2666	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7402
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6454
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6157
0.2515	1.2667	1.9020	1.0750	0.7388	1.0115	336.7293
0.2515	1.2669	1.9022	1.0749	0.7388	1.0115	336.7957
0.2515	1.2663	1.9023	1.0752	0.7388	1.0115	336.5319
0.2516	1.2660	1.9020	1.0755	0.7388	1.0115	336.4512
0.2515	1.2673	1.9019	1.0746	0.7387	1.0115	336.7767
0.2515	1.2677	1.9024	1.0743	0.7389	1.0115	336.9641
0.2516	1.2661	1.9026	1.0754	0.7389	1.0115	336.6409
0.2516	1.2652	1.9019	1.0760	0.7387	1.0115	336.5178
0.2515	1.2667	1.9016	1.0750	0.7387	1.0115	336.7655
0.2515	1.2673	1.9022	1.0746	0.7388	1.0115	336.9307
0.2515	1.2662	1.9025	1.0754	0.7389	1.0115	336.7663
0.2516	1.2654	1.9020	1.0759	0.7388	1.0115	336.6901
0.2515	1.2661	1.9016	1.0754	0.7387	1.0115	336.7395
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7802



0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.7165
0.2516	1.2661	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6886
0.2515	1.2664	1.9019	1.0752	0.7387	1.0115	336.7167
0.2515	1.2665	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7379
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6777
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6569
0.2515	1.2666	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7175
0.2515	1.2667	1.9021	1.0750	0.7388	1.0115	336.7553
0.2515	1.2664	1.9022	1.0752	0.7388	1.0115	336.5853
0.2515	1.2662	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.5349
0.2515	1.2670	1.9020	1.0748	0.7388	1.0115	336.7540
0.2515	1.2672	1.9023	1.0746	0.7388	1.0115	336.8777
0.2515	1.2662	1.9024	1.0753	0.7389	1.0115	336.7292
0.2516	1.2656	1.9020	1.0757	0.7388	1.0115	336.6647
0.2515	1.2663	1.9017	1.0752	0.7387	1.0115	336.7325
0.2515	1.2666	1.9020	1.0750	0.7388	1.0115	336.7835
0.2515	1.2663	1.9022	1.0753	0.7388	1.0115	336.7160
0.2516	1.2661	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6867
0.2515	1.2664	1.9019	1.0752	0.7387	1.0115	336.7174
0.2515	1.2665	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7404
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6785
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6568
0.2515	1.2666	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7177
0.2515	1.2667	1.9021	1.0750	0.7388	1.0115	336.7559
0.2515	1.2664	1.9022	1.0752	0.7388	1.0115	336.5946
0.2515	1.2662	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.5461
0.2515	1.2670	1.9020	1.0748	0.7388	1.0115	336.7502
0.2515	1.2672	1.9023	1.0747	0.7388	1.0115	336.8664
0.2515	1.2662	1.9024	1.0753	0.7388	1.0115	336.5463
0.2516	1.2657	1.9020	1.0757	0.7388	1.0115	336.4393
0.2515	1.2672	1.9018	1.0747	0.7387	1.0115	336.7778
0.2515	1.2677	1.9024	1.0743	0.7388	1.0115	336.9845
0.2516	1.2661	1.9026	1.0754	0.7389	1.0115	336.7347
0.2516	1.2651	1.9019	1.0761	0.7387	1.0115	336.6281
0.2515	1.2663	1.9015	1.0753	0.7387	1.0115	336.7511
0.2515	1.2668	1.9020	1.0749	0.7388	1.0115	336.8418
0.2515	1.2662	1.9022	1.0753	0.7388	1.0115	336.7418
0.2516	1.2658	1.9020	1.0756	0.7388	1.0115	336.6954
0.2515	1.2663	1.9018	1.0753	0.7387	1.0115	336.7257
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7507
0.2515	1.2663	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6972
0.2515	1.2662	1.9020	1.0753	0.7388	1.0115	336.6762
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7143
0.2515	1.2666	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7402
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6454
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6157
0.2515	1.2667	1.9020	1.0750	0.7388	1.0115	336.7293
0.2515	1.2669	1.9022	1.0749	0.7388	1.0115	336.7958
0.2515	1.2663	1.9023	1.0752	0.7388	1.0115	336.5320
0.2516	1.2660	1.9020	1.0755	0.7388	1.0115	336.4514
0.2515	1.2673	1.9019	1.0746	0.7387	1.0115	336.7767
0.2515	1.2677	1.9024	1.0743	0.7389	1.0115	336.9640
0.2516	1.2661	1.9026	1.0754	0.7389	1.0115	336.6409
0.2516	1.2652	1.9019	1.0760	0.7387	1.0115	336.5179
0.2515	1.2667	1.9016	1.0750	0.7387	1.0115	336.7654



0.2515	1.2673	1.9022	1.0746	0.7388	1.0115	336.9306
0.2515	1.2662	1.9025	1.0754	0.7389	1.0115	336.7662
0.2516	1.2654	1.9020	1.0759	0.7388	1.0115	336.6901
0.2515	1.2661	1.9016	1.0754	0.7387	1.0115	336.7395
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7802
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.7165
0.2516	1.2661	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6886
0.2515	1.2664	1.9019	1.0752	0.7387	1.0115	336.7167
0.2515	1.2665	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7379
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6777
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6569
0.2515	1.2666	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7175
0.2515	1.2667	1.9021	1.0750	0.7388	1.0115	336.7553
0.2515	1.2664	1.9022	1.0752	0.7388	1.0115	336.5853
0.2515	1.2662	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.5349
0.2515	1.2670	1.9020	1.0748	0.7388	1.0115	336.7540
0.2515	1.2672	1.9023	1.0746	0.7388	1.0115	336.8776
0.2515	1.2662	1.9024	1.0753	0.7389	1.0115	336.7291
0.2516	1.2656	1.9020	1.0757	0.7388	1.0115	336.6647
0.2515	1.2663	1.9017	1.0752	0.7387	1.0115	336.7325
0.2515	1.2666	1.9020	1.0750	0.7388	1.0115	336.7835
0.2515	1.2663	1.9022	1.0753	0.7388	1.0115	336.7160
0.2516	1.2661	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6866
0.2515	1.2664	1.9019	1.0752	0.7387	1.0115	336.7174
0.2515	1.2665	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7404
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6785
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6568
0.2515	1.2666	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7177
0.2515	1.2667	1.9021	1.0750	0.7388	1.0115	336.7559
0.2515	1.2664	1.9022	1.0752	0.7388	1.0115	336.5946
0.2515	1.2662	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.5461
0.2515	1.2670	1.9020	1.0748	0.7388	1.0115	336.7501
0.2515	1.2672	1.9023	1.0747	0.7388	1.0115	336.8664
0.2515	1.2662	1.9024	1.0753	0.7388	1.0115	336.5464
0.2516	1.2657	1.9020	1.0757	0.7388	1.0115	336.4394
0.2515	1.2672	1.9018	1.0747	0.7387	1.0115	336.7777
0.2515	1.2677	1.9024	1.0743	0.7388	1.0115	336.9844
0.2516	1.2661	1.9026	1.0754	0.7389	1.0115	336.7347
0.2516	1.2651	1.9019	1.0761	0.7387	1.0115	336.6280
0.2515	1.2663	1.9015	1.0753	0.7387	1.0115	336.7511
0.2515	1.2668	1.9020	1.0749	0.7388	1.0115	336.8418
0.2515	1.2662	1.9022	1.0753	0.7388	1.0115	336.7418
0.2516	1.2658	1.9020	1.0756	0.7388	1.0115	336.6954
0.2515	1.2663	1.9018	1.0753	0.7387	1.0115	336.7257
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7507
0.2515	1.2663	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6972
0.2515	1.2662	1.9020	1.0753	0.7388	1.0115	336.6762
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7143
0.2515	1.2666	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7402
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6454
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6157
0.2515	1.2667	1.9020	1.0750	0.7388	1.0115	336.7293
0.2515	1.2669	1.9022	1.0749	0.7388	1.0115	336.7958
0.2515	1.2663	1.9023	1.0752	0.7388	1.0115	336.5320
0.2516	1.2660	1.9020	1.0755	0.7388	1.0115	336.4514

0.2515	1.2673	1.9019	1.0746	0.7387	1.0115	336.7767
0.2515	1.2677	1.9024	1.0743	0.7389	1.0115	336.9639
0.2516	1.2661	1.9026	1.0754	0.7389	1.0115	336.6409
0.2516	1.2652	1.9019	1.0760	0.7387	1.0115	336.5179
0.2515	1.2667	1.9016	1.0750	0.7387	1.0115	336.7654
0.2515	1.2673	1.9022	1.0746	0.7388	1.0115	336.9306
0.2515	1.2662	1.9025	1.0754	0.7389	1.0115	336.7662
0.2516	1.2654	1.9020	1.0759	0.7388	1.0115	336.6901
0.2515	1.2661	1.9016	1.0754	0.7387	1.0115	336.7395
0.2515	1.2665	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7802
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.7165
0.2516	1.2661	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6886
0.2515	1.2664	1.9019	1.0752	0.7387	1.0115	336.7167
0.2515	1.2665	1.9021	1.0751	0.7388	1.0115	336.7379
0.2515	1.2664	1.9021	1.0752	0.7388	1.0115	336.6777
0.2515	1.2663	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.6569
0.2515	1.2666	1.9020	1.0751	0.7388	1.0115	336.7175
0.2515	1.2667	1.9021	1.0750	0.7388	1.0115	336.7553
0.2515	1.2664	1.9022	1.0752	0.7388	1.0115	336.5853
0.2515	1.2662	1.9021	1.0753	0.7388	1.0115	336.5349
0.2515	1.2670	1.9020	1.0748	0.7388	1.0115	336.7540
0.2515	1.2672	1.9023	1.0746	0.7388	1.0115	336.8776
0.2515	1.2662	1.9024	1.0753	0.7389	1.0115	336.7291
0.2516	1.2656	1.9020	1.0757	0.7388	1.0115	336.6647
0.2515	1.2663	1.9017	1.0752	0.7387	1.0115	336.7325
0.2515	1.2666	1.9020	1.0750	0.7388	1.0115	336.7835
0.2515	1.2663	1.9022	1.0753	0.7388	1.0115	336.6944
0.2516	1.2661	1.9020	1.0754	0.7388	1.0115	336.6592
0.2515	1.2665	1.9019	1.0751	0.7387	1.0115	336.7208
0.2515	1.2666	1.9021	1.0750	0.7388	1.0115	336.7630
0.2515	1.2664	1.9022	1.0752	0.7388	1.0115	
0.2515	1.2662	1.9021	1.0754	0.7388	1.0115	
		1.9020		0.7388	1.0115	

LAMPIRAN 6

Perhitungan Nilai Eigen Pada Titik Tetap yang Pertama

```

> with(Student [LinearAlgebra]) :
> A:=Matrix ([[lambda+alpha[1], -alpha[2], -alpha[3],
-alpha[4], -alpha[5], 0, 0], [0, lambda-alpha[6], 0,
alpha[7], 0, 0, 0], [0, 0, lambda-alpha[8], -alpha[9],
-alpha[10], 0, 0], [0, -alpha[11], 0, lambda-alpha[12], 0, 0, 0],
[0, -alpha[13], 0, -alpha[14], lambda-alpha[15], 0, 0],
[0, -alpha[16], -alpha[17], 0, 0, lambda-alpha[18], 0],
[0, -alpha[19], -alpha[20], 0, 0, 0, lambda-alpha[21]]]);

```

$$A := \begin{bmatrix} \lambda + \alpha_1 & -\alpha_2 & -\alpha_3 & -\alpha_4 & -\alpha_5 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda - \alpha_6 & 0 & -\alpha_7 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda - \alpha_8 & -\alpha_9 & -\alpha_{10} & 0 & 0 \\ 0 & -\alpha_{11} & 0 & \lambda - \alpha_{12} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\alpha_{13} & 0 & -\alpha_{14} & \lambda - \alpha_{15} & 0 & 0 \\ 0 & -\alpha_{16} & -\alpha_{17} & 0 & 0 & \lambda - \alpha_{18} & 0 \\ 0 & -\alpha_{19} & -\alpha_{20} & 0 & 0 & 0 & \lambda - \alpha_{21} \end{bmatrix}$$

```

> Determinant (A) ;
(\lambda^2 - \lambda \alpha_{12} - \alpha_6 \lambda + \alpha_6 \alpha_{12} - \alpha_7 \alpha_{11}) (\lambda - \alpha_{15}) (\lambda - \alpha_8) (\lambda + \alpha_1) (\lambda - \alpha_{18}) (\lambda - \alpha_{21})

```

## LAMPIRAN 7

## Perhitungan Nilai Eigen Pada Titik Tetap yang Pertama Setelah

## Mensubstitusikan Nilai Parameter pada Tabel 3.1

```

> with(Student [LinearAlgebra]) :
> A:=Matrix ([[lambda+0.011,-0.02,-
0.35,0.2045454545454545,0.02272727272727
,0,0],[0,lambda+0.41127218848553,0,-0.18181818181818
,0,0,0],[0,0,lambda+0.311,-0.02727272727273,-
0.02727272727273 ,0,0],[0,-
20.01088689839572,0,lambda+4.56011072261072 ,0,0,0],[0,-
4.48911262083505,0,-4.54545454545455
,lambda+0.011,0,0],[0,-0.00006,-
0.0002,0,0,lambda+0.01,0],[0,-0.00294117647059,-
0.00980392156863,0,0,0,lambda+0.68]]);
A :=
[
lambda + 0.011, -0.02, -0.35, 0.2045454545454545, 0.02272727272727, 0, 0
0, lambda + 0.41127218848553, 0, -0.18181818181818, 0, 0, 0
0, 0, lambda + 0.311, -0.02727272727273, -0.02727272727273, 0, 0
0, -20.01088689839572, 0, lambda + 4.56011072261072, 0, 0, 0
0, -4.48911262083505, 0, -4.54545454545455, lambda + 0.011, 0, 0
0, -0.00006, -0.0002, 0, 0, lambda + 0.01, 0
0, -0.00294117647059, -0.00980392156863, 0, 0, 0, lambda + 0.68
]
> Determinant (A) ;
(lambda^2 + 4.971382912 lambda - 1.762896355) (lambda + 0.011)^2 (lambda + 0.311) (lambda + 0.01) (lambda + 0.68)
> B:=factor (lambda^2+4.971382912*lambda-1.762896355) ;
B := (lambda + 5.303768525) (lambda - 0.3323856135)
> evalf (B) ;
(lambda + 5.303768525) (lambda - 0.3323856135)

```

## LAMPIRAN 8

## Perhitungan Nilai Eigen Pada Titik Tetap yang Kedua

```

> with (Student [LinearAlgebra]) :
> A:=Matrix ([ [lambda+5212.769711, -0.02, -
0.35, 0.002374263043, 0.00003868515084 , 0, 0], [-
0.2072660692, lambda+0.4116230430, 0, -0.002335577893
, 0.001440352339, 0.1281130552*10^(-7), 0.02342558573], [-
0.02351827845, 0, lambda+0.289, -0.00007044131746, -
0.00007044131746 , 0, 0], [-5.168209230, -
20.02492046, 0.134425000, lambda+0.1730771745, 0.2111081285*
10^(-18), -0.1387255605*10^(-17), 510.6036317], [-
5.181651730, -30.91548338, 0, -0.05838944733
, lambda+0.2160214197, 0.1387255605*10^(-
17), 0.9369614280], [0, -0.00006023132383, -
0.0002007710794, 0, 0, lambda+0.009886419651, 0], [0, -
0.006761227101, -0.02253742367, 0, 0, -
0.01274988636, lambda+0.2070449225]]);
A :=
  [λ + 5212.769711 , -0.02 , -0.35 , 0.002374263043 , 0.00003868515084 , 0 , 0]
  [-0.2072660692 , λ + 0.4116230430 , 0 , -0.002335577893 , 0.001440352339 ,
  0.1281130552 10-7 , 0.02342558573 ]
  [-0.02351827845 , 0 , λ + 0.289 , -0.00007044131746 , -0.00007044131746 , 0 , 0]
  [-5.168209230 , -20.02492046 , 0.134425000 , λ + 0.1730771745 ,
  0.2111081285 10-18 , -0.1387255605 10-17 , 510.6036317 ]
  [-5.181651730 , -30.91548338 , 0 , -0.05838944733 , λ + 0.2160214197 ,
  0.1387255605 10-17 , 0.9369614280 ]
  [0 , -0.00006023132383 , -0.0002007710794 , 0 , 0 , λ + 0.009886419651 , 0]
  [0 , -0.006761227101 , -0.02253742367 , 0 , 0 , -0.01274988636 ,
  λ + 0.2070449225 ]
> Determinant (A) ;
8.951216 λ + 911.771119 λ3 + 130.308347 λ2 + 3468.387673 λ4 + 6811.946494 λ5
+ 0.076938 + 5214.076360 λ6 + 0.9999950008 λ7
>
B:=factor (8.95122*lambda+130.3083465*lambda^2+911.771119*
lambda^3+3468.387673*lambda^4+6811.946494*lambda^5+5214.0
76360*lambda^6+.76938e-1+.9999950008*lambda^7) ;
B := 0.9999950008 (λ + 5212.795773) (λ + 0.5161946534) (λ + 0.009936305914)
(λ2 + 0.5167543302 λ + 0.07473870555) (λ2 + 0.2637677072 λ + 0.03850244649)

```



## LAMPIRAN 9

**Simulasi Numerik Untuk Menampilkan Grafik dengan Menggunakan ODE 45  
Berbantuan Program Matlab**

```

function dy=tuberkulosis2(x,y)
dy=zeros(7,1);
dy(1)=5000+0.05*(y(3)+0.4*y(2))+ 0.01*y(1)*((y(4)+y(5))/(y(4)+y(5)+1000000))-
    0.4*((y(4)*y(1))/(y(4)+1000000))-0.011*y(1)-
    0.03*y(1)*((y(4)+y(5))/(y(4)+y(5)+500000))+0.3*y(3)
dy(2)=0.4*((y(4)*y(1))/(y(4)+1000000))-0.4*y(2)-
    0.000000125*y(2)*(y(7)/(y(7)+1000))-
    0.000000125*(y(2)/(1+500000*y(5)))*(y(6)/(y(6)+1000))-
    0.00000185*y(2)*y(7)-0.011*y(2)
dy(3)=0.03*y(1)*((y(4)+y(5))/(y(4)+y(5)+500000))-0.011*y(3)-0.3*y(3)
dy(4)=50*0.4*y(2)+0.000000125*40*(y(2)/(1+500000*y(5)))*(y(6)/(y(6)+1000))+0
    .00000185*40*y(2)*y(7)+0.1*y(4)-0.4*25*y(1)*(y(4)/(y(4)+1000000))-
    0.85*y(4)*(y(7)/(y(7)+1000))-0.000000125*y(4)*y(3)-
    0.0000000125*y(4)*y(1)
dy(5)=0.49*50*y(2)*(1-y(5)^2/(y(5)^2+(50*y(2))^2+10))-0.4*50*y(2)-
    0.000000125*30*y(2)*(y(7)/(y(7)+1000))+0.4*25*y(1)*(y(4)/(y(4)+1000000
    ))-0.000000125*40*(y(2)/(1+500000*y(5)))*(y(6)/(y(6)+1000))-
    0.00000185*40*y(2)*y(7)-0.011*y(5)
dy(6)=100+0.03*((y(3)+0.3*y(2))/(y(3)+0.3*y(2)+1500000))*y(6)-0.01*y(6)
dy(7)=100+0.01*((y(3)+0.3*y(2))*y(6)*y(7))/(y(3)+0.3*y(2)+1500000))-0.68*y(7)

figure(1)
[x,y]=ode45(@tuberkulosis2,[0 2000],[100000 0 0 2000 0 500 140])
plot(x,y(:,1))
title('Grafik MR(t) terhadap t')
xlabel('waktu (hari)')
ylabel('MR(t) (sel/mililiter)')
axis([0 2000 0 160000])
grid on

figure(2)
plot(x,y(:,2))
title('Grafik MI(t) terhadap t')
xlabel('waktu (hari)')
ylabel('MI(t) (sel/mililiter)')
axis([0 2000 0 40000])
grid on

```

```
figure(3)
plot(x,y(:,3))
title('Grafik MA(t) terhadap t')
xlabel('waktu (hari)')
ylabel('MA(t) (sel/mililiter)')
axis([0 2000 0 40000])
grid on
```

```
figure(4)
plot(x,y(:,4))
title('Grafik TBE(t) terhadap t')
xlabel('waktu (hari)')
ylabel('TBE(t) (sel/mililiter)')
axis([0 2000 0 3500000])
grid on
```

```
figure(5)
plot(x,y(:,5))
title('Grafik TBI(t) terhadap t')
xlabel('waktu (hari)')
ylabel('TBI(t) (sel/mililiter)')
axis([0 2000 0 2000000])
grid on
```

```
figure(6)
plot(x,y(:,6))
title('Grafik CD4+(t) terhadap t')
xlabel('waktu (hari)')
ylabel('CD4+(t) (sel/mililiter)')
axis([0 2000 0 11000])
grid on
```

```
figure(7)
plot(x,y(:,7))
title('Grafik CD8+(t) terhadap t')
xlabel('waktu (hari)')
ylabel('CD8+(t) (sel/mililiter)')
axis([0 2000 0 350])
grid on
```

## LAMPIRAN 10

**Simulasi Numerik untuk Menampilkan Grafik TBE-1, TBE-2, TBE-3 dengan  
Masing-masing Nilai Awal 20, 2000, dan 20000**

```
function dy=tuberkulosis3(x,y)
dy=zeros(7,1);
dy(1)=5000+0.05*(y(3)+0.4*y(2))+0.01*y(1)*((y(4)+y(5))/(y(4)+y(5)+1000000))-
    0.4*((y(4)*y(1))/(y(4)+1000000))-0.011*y(1)-
    0.03*y(1)*((y(4)+y(5))/(y(4)+y(5)+500000))+0.3*y(3)
dy(2)=0.4*((y(4)*y(1))/(y(4)+1000000))-0.4*y(2)-
    0.000000125*y(2)*y(7)/(y(7)+1000))-
    0.000000125*(y(2)/(1+500000*y(5)))*y(6)/(y(6)+1000))-
    0.00000185*y(2)*y(7)-0.011*y(2)
dy(3)=0.03*y(1)*((y(4)+y(5))/(y(4)+y(5)+500000))-0.011*y(3)-0.3*y(3)
dy(4)=50*0.4*y(2)+0.000000125*40*(y(2)/(1+500000*y(5)))*y(6)/(y(6)+1000))+0
    .00000185*40*y(2)*y(7)+0.195866*y(4)-
    0.4*25*y(1)*y(4)/(y(4)+1000000))-0.85*y(4)*y(7)/(y(7)+1000))-
    0.000000125*y(4)*y(3)-0.000000125*y(4)*y(1)
dy(5)=0.49*50*y(2)*(1-(y(5)^2/(y(5)^2+(50*y(2))^2+10)))-0.4*50*y(2)-
    0.000000125*30*y(2)*y(7)/(y(7)+1000))+0.4*25*y(1)*y(4)/(y(4)+1000000
    ))-0.000000125*40*(y(2)/(1+500000*y(5)))*y(6)/(y(6)+1000))-
    0.00000185*40*y(2)*y(7)-0.011*y(5)
dy(6)=100+0.03*((y(3)+0.3*y(2))/(y(3)+0.3*y(2)+1500000))*y(6)-0.01*y(6)
dy(7)=100+0.01*((y(3)+0.3*y(2))*y(6)*y(7))/(y(3)+0.3*y(2)+1500000))-0.68*y(7)
```

figure(1)

```
[x,y]=ode45(@tuberkulosis3,[0 2000],[100000 0 0 20 0 500 140])
plot(x,y(:,4),'-b')
title('Grafik TBE(t) terhadap t')
xlabel('waktu (hari)')
ylabel('TBE(t) (sel/mililiter)')
legend('TBE-1','TBE-2','TBE-3')
axis([0 2000 0 120000000000])
grid on
hold on
```

```

[x,y]=ode45(@tuberkulosis3,[0 2000],[100000 0 0 2000 0 500 140])
plot(x,y(:,4),'-r')
title('Grafik TBE(t) terhadap t')
xlabel('waktu (hari)')
ylabel('TBE(t) (sel/mililiter)')
legend('TBE-1','TBE-2','TBE-3')
axis([0 2000 0 1200000000000])
grid on
hold on

```

```

[x,y]=ode45(@tuberkulosis3,[0 2000],[100000 0 0 20000 0 500 140])
plot(x,y(:,4),'k')
title('Grafik TBE(t) terhadap t')
xlabel('waktu (hari)')
ylabel('TBE(t) (sel/mililiter)')
legend('TBE-1','TBE-2','TBE-3')
axis([0 2000 0 1200000000000])
grid on
hold on

```

