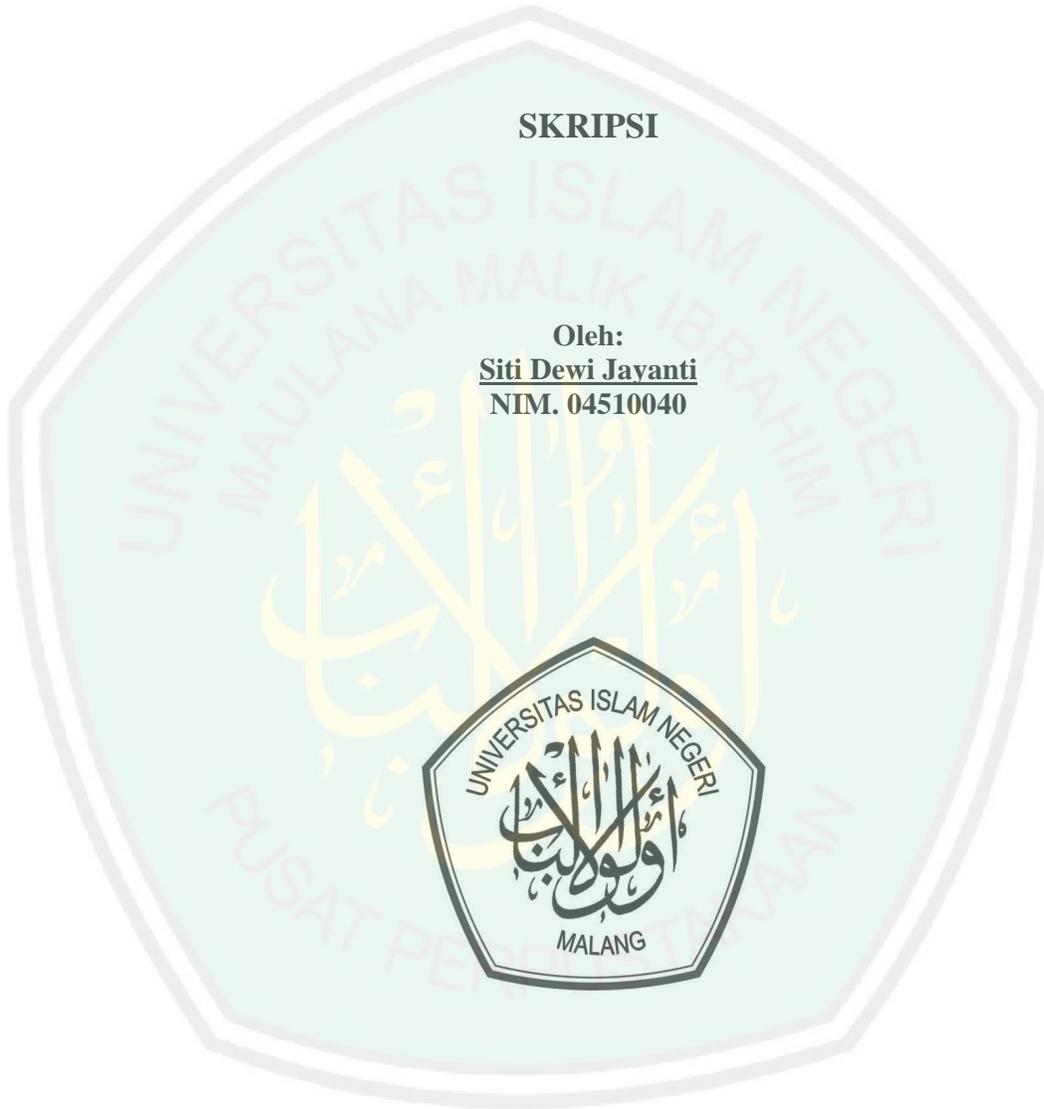


**ANALISIS MODEL MATEMATIKA PADA
SISTEM IMUN DENGAN LCMV (*LYMPOCYTIC
CHORIOMENINGITIS VIRUS*)**

SKRIPSI

Oleh:
Siti Dewi Jayanti
NIM. 04510040



**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN) MALANG
MALANG
2009**

HALAMAN PENGAJUAN

**ANALISIS MODEL MATEMATIKA PADA
SISTEM IMUN DENGAN LCMV (*LYMPOCYTIC
CHORIOMENINGITIS VIRUS*)**

SKRIPSI

**Diajukan Kepada:
Universitas Islam Negeri (UIN) Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam Memperoleh
Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:
Siti Dewi Jayanti
NIM. 04510040**



**JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN) MALANG
MALANG
2009**

HALAMAN PERSETUJUAN

**ANALISIS MODEL MATEMATIKA PADA
SISTEM IMUN DENGAN LCMV (*LYMPOCYTIC
CHORIOMENINGITIS VIRUS*)**

SKRIPSI

Oleh:
Siti Dewi Jayanti
NIM. 04510040

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji
Tanggal: 4 April 2009

Pembimbing I

Pembimbing II

Usman Pagalay, M.Si
NIP. 150 327 240

Achmad Nashichuddin, MA
NIP. 150 302 531

Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika

Sri Harini, M.Si
NIP. 150 318 321

**ANALISIS MODEL MATEMATIKA PADA
SISTEM IMUN DENGAN LCMV (*LYMPOCYTIC
CHORIOMENINGITIS VIRUS*)**

SKRIPSI

Oleh:
Siti Dewi Jayanti
NIM. 04510040

Telah dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)

Tanggal: 13 April 2009

Susunan Dewan Penguji:

Tanda Tangan

- | | | |
|-----------------------|--|-----|
| 1. Penguji Utama | : <u>Drs. H. Turmudi, M.Si</u>
NIP. 150 209 630 | () |
| 2. Ketua Penguji | : <u>Sri Harini, M.Si</u>
NIP. 150 318 32 | () |
| 3. Sekretaris Penguji | : <u>Usman Pagalay, M.Si</u>
NIP. 150 327 240 | () |
| 4. Anggota Penguji | : <u>Achmad Nashichuddin, MA</u>
NIP. 150 302 531 | () |

**Mengetahui dan Mengesahkan
Ketua Jurusan Matematika**

Sri Harini, M.Si
NIP. 150 318 321

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Siti Dewi Jayanti

NIM : 04510040

Jurusan : Matematika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 4 April 2009

Yang membuat pernyataan

Siti Dewi Jayanti

NIM. 04510040

MOTTO

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."

Skripsi ini penulis persembahkan

Teruntuk..

Ibunda tercinta

Hj. Sukarti

dan Alm. H. Soedarsono

serta

Kakak-kakakku tersayang

Mas Bashith dan Mbak Mimin, Mas Reza dan Mbak Sulis,

Mbak Ninna, dan Adikku Ikhtwan

Serta Ponakan-ponakan yang tersayang, Iffah dan Rifqi

yang telah meridhoi dan banyak berkorban baik materiil maupun moril, serta spirituil

yang berupa do'a yang selalu mengiringi setiap langkah penulis

Abah Masduqi dan Umi yang senantiasa membimbing dan memberikan penyinaran hati

tentang ilmu agama.

Ucapan terima kasih buat teman-teman terbaik "Luluk, Lilik, Maftu, Ifa, Erlina,

Muhajir, Zainal" yang selalu memberikan dorongan dan semangat kepada penulis agar

penulisan skripsi ini cepat selesai.

Teman-teman mahasiswa matematika angkatan 2004 (Titin, Ifa, Ririn, Era, Lilik, Hamzah, Nanik dll) yang telah memotivasi penulis untuk segera menyelesaikan skripsi.

Teman-teman Pondok Nurul Huda Mergosono (mbak Washik, mbak Ita, mbak Hanif, mbak Atik dll) yang selama ini telah memberikan motivasi dan bantuan.

Semua pihak yang tak bisa saya sebutkan satu persatu terima kasih sudah bersedia mendengarkan keluhan penulis dan selalu membantu dalam menyelesaikan laporan ini

KATA PENGANTAR



Assalamu'alaikum Wr.Wb.

Syukur alhamdulillah ke hadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahNya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “**Analisis Model Matematika pada Sistem Imun dengan LCMV (*Lymphocytic Choriomeningitis Virus*)**”.

Shalawat serta salam senantiasa turunkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW yang telah menunjukkan dari jalan yang gelap menuju jalan yang terang benderang yaitu Ad-dinul Islam.

Dalam penulisan skripsi ini, penulis menyadari bahwa tidak akan mendapatkan hasil yang baik tanpa adanya bimbingan, bantuan, dorongan, saran serta do'a dari berbagai pihak. Maka dalam kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H. Imam Suprayogo selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Malang.
2. Prof. Drs. Sutiman Bambang Sumitro, SU., DSc selaku Dekan Fakultas Saintek Universitas Islam Negeri (UIN) Malang.
3. Sri Harini, M.Si selaku Ketua Jurusan Matematika Universitas Islam Negeri (UIN) Malang.
4. Usman Pagalay, M.Si selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan bimbingannya kepada kami.
5. Achmad Nashichuddin, MA juga selaku dosen pembimbing keagamaan.

Semoga Allah SWT membalas kebaikan mereka semua. Penulis berharap, semoga skripsi ini bermanfaat. Amiin.

Wassalamua'alaikun Wr. Wb.

Malang, 4 April 2009

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PENGAJUAN	
HALAMAN PERSETUJUAN	
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	
HALAMAN MOTTO	
HALAMAN PERSEMBAHAN	
KATA PENGANTAR	
DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iii
ABSTRAK	
BAB I : PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Pembahasan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Pembahasan	5
1.6 Metode Penelitian	5
1.7 Sistematika Pembahasan	6
BAB II : KAJIAN PUSTAKA	7
2.1 Persamaan Diferensial	7
2.2 Persamaan Diferensial Linier	9
2.3 Sistem Persamaan Diferensial linier.....	10
2.4 Model Matematika.....	12
2.5 LCMV (<i>Lymphocytic Choriomeningitis Virus</i>).....	15
2.6 Sistem Imun	17
2.6.1 Sistem Imun Non Spesifik	18
2.6.2 Sistem Imun Spesifik.....	19

2.7 Pentingnya Menjaga Kesehatan Dalam Kajian Islam	33
2.7.1 Kesehatan Fisik	33
2.7.2 Kesehatan Mental.....	37
BAB III : PEMBAHASAN	42
3.1 Analisis Pembentukan Model Matematika pada Sistem Imun dengan LCMV.....	42
3.2 Analisis Model Matematika.....	47
3.2.1 Sel-T CD 8 ⁺ pada epitop NP118.....	47
3.2.2 Sel-T CD 8 ⁺ pada epitop GP283	52
3.3 Sistem Imun, LCMV dan Pemodelan Matematika dalam Prospektif Islam.	57
BAB IV : PENUTUP.....	61
4.1 Kesimpulan	61
4.2 Saran	62
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Grafik perubahan jumlah populasi sel-sel aktif terhadap waktu dengan $f(t) = 0$ pada epitop NP 118.....	48
Gambar 2 Grafik perubahan jumlah populasi sel-sel memori terhadap waktu dengan $f(t) = 0$ pada epitop NP 118.....	50
Gambar 3 Gambar 3. Grafik perubahan jumlah populasi sel-sel aktif terhadap waktu dengan $f(t) = 1$ pada epitop NP 118.....	51
Gambar 4 Grafik perubahan jumlah populasi sel-sel aktif terhadap waktu dengan $f(t) = 0$ pada epitop GP283.....	53
Gambar 5 Grafik perubahan jumlah populasi sel-sel memori terhadap waktu dengan $f(t) = 0$ pada epitop GP283.....	55
Gambar 6 Grafik perubahan jumlah populasi sel-sel aktif terhadap waktu dengan $f(t) = 1$ pada epitop GP283.....	56

ABSTRAK

Jayanti, Siti Dewi. 2009. *Analisis Model Matematika pada Sistem Imun dengan LCMV (Lymphocytic Choriomeningitis Virus)*. Skripsi, Jurusan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Malang
Pembimbing: Usman Pagalay, M.Si
Achmad Nashichuddin, MA

Kata kunci: Analisis Model Matematika, Sistem Imun, LCMV.

Model matematika adalah suatu representasi dari suatu persamaan atau sekumpulan persamaan yang mengungkapkan perilaku suatu sistem. Model matematika merupakan suatu proses yang melalui tiga tahap yaitu perumusan model matematika, penyelesaian dan/atau analisis model matematika serta penginterpretasikan hasil ke situasi nyata.

Imunitas adalah keadaan kebal (imun) terhadap satu infeksi atau efek patologic suatu substansi. Kekebalan (imunitas) itu merupakan daya ketahanan tubuh terhadap segala suatu yang asing bagi tubuh. Sedangkan sumsum tulang belakang, timus, limpa, kelenjar limfe dan jaringan limfoid traktus gastrointestinalis merupakan organ-organ utama yang menyusun susunan (sistem) imunologik.

LCMV merupakan singkatan dari *Lymphocytic Choriomeningitis Virus*' satu-satunya virus yang dapat menembus dinding plasenta dalam rahim Seorang janin dalam rahim yang terinfeksi penyakit ini biasanya lahir dalam keadaan cacat atau bahkan meninggal. Jika sistem imun dalam tubuh melemah, maka kemampuan melindungi tubuh juga berkurang, sehingga menyebabkan [patogen](#) (penyebab penyakit), termasuk LCMV dapat berkembang dalam tubuh. Pada binatang pengerat liar pasti akan ditemukan LCMV ini.

Stimulasi antigenik dari Sel-sel T CD8⁺ dengan menggunakan fungsi $f(t)$, yang membutuhkan hanya dua nilai, yaitu 0 ketika tidak ada aktifasi, dan 1 pada saat ada aktifasi penuh. Stimulasi antigenik berubah “on” pada waktu T_{on} dan “off” pada waktu T_{off} , dengan menggunakan fungsi aktifasi f .

$$f(t) = \begin{cases} 0 & \text{jika } t < T_{on} \\ 1 & \text{jika } T_{on} \leq t < T_{off} \\ 0 & \text{jika } t \geq T_{off} \end{cases}$$

Sehingga diperoleh persamaan yang berbeda sebagai berikut:

$$\frac{dA}{dt} = f(t)(aM + \rho A) - [1 - f(t)](r + \alpha)A \quad (1)$$

$$\frac{dM}{dt} = r[1 - f(t)]A - af(t)M - \delta_M M \quad (2)$$

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

LCMV (*Lymphocytic Choriomeningitis Virus*) adalah satu-satunya virus yang dapat menembus dinding plasenta dalam rahim. Seorang janin dalam rahim yang terinfeksi penyakit ini biasanya lahir dalam keadaan cacat atau bahkan meninggal. Jika sistem imun dalam tubuh melemah, maka kemampuan melindungi tubuh juga berkurang, sehingga menyebabkan patogen, termasuk LCMV dapat berkembang dalam tubuh.

Sistem imun adalah ibarat departemen pertahanan beserta pasukan tentaranya (terdiri dari : Sel Limfosit-Monosit, Sel-B, Sel-T, dan sebagainya), Dengan keberadaan sistem imun yang salah satunya berupa sel-T CD-8⁺. Sementara otak ibarat Panglimanya. Secara alamiah, saat ada sistem tubuh yang terganggu atau ada penyusup, otak akan menerima laporan dari sistem tersebut melalui sistem penghubung seperti sistem syaraf, cairan tubuh atau aliran darah. Kemudian otak akan memeriksa apakah gangguan itu sudah pernah terjadi atau berada dalam memorinya atau belum. Selanjutnya otak akan memerintahkan sel-sel imun untuk bersiaga dengan memperbanyak diri, jika perlu memperkuat diri. Jika gangguan atau penyusupan itu terdeteksi merupakan ancaman bagi tubuh maka kesiagaan itu berganti dengan aksi penyerangan dan penyergapan langsung ke pokok permasalahan. Masalahnya, pendeteksian ini dipengaruhi oleh memori sistem imun itu sendiri, jika penyusup itu pernah masuk sebelumnya dan pernah

diatasi, pasti akan lebih cepat dideteksi dan disergap. Akan tetapi jika belum, tubuh baru akan bisa menang setelah beberapa kali sistem imun memperbanyak diri lagi, karena keadaan menyerang dan mati, maka sebenarnya sistem imun berusaha menyimpan memori tentang penyusup tersebut.

Islam mengajarkan bagaimana cara menjaga diri dan kesehatan tubuh serta memeliharanya. Sebagaimana yang disabdakan oleh Rosulullah SAW yang menceritakan bagaimana pentingnya kedudukan kesehatan (Al Jauziyah, 1994: 1).

Dari Ibnu Abbas RS. Ia berkata: "Seorang Arab dusun kepada Rasulullah SAW. Lalu ia bertanya kepada Rasulullah: 'Apakah yang (baik) aku minta kepada Allah setelah selesai melakukan shalat lima waktu?' Rasulullah menjawab: 'Mintalah kesehatan.' Orang Arab dusun itu masih tetap mengulangi pertanyaannya. Maka untuk yag ketiga kalinya Rasulullah mengatakan: 'Mintalah kesehatan dunia dan di akhirat.'"

Allah menciptakan manusia dengan bentuk yang sangat sempurna dengan diletakkannya sistem imun pada tubuh agar dapat terhindar dari berbagai penyakit, sebagaimana firmanNya dalam surat At-tin [95] ayat 4.

لَقَدْ خَلَقْنَا الْإِنْسَانَ فِي أَحْسَنِ تَقْوِيمٍ ﴿٤﴾

Artinya: "Sesungguhnya kami Telah menciptakan manusia dalam bentuk yang sebaik-baiknya"

Sehingga dengan demikian, hal ini menunjukkan bahwa kesehatan merupakan nikmat Allah yang terbesar bagi hambaNya setelah nikmat Iman dan Islam serta pentingnya menjaga kesehatan dari hal-hal yang dapat membahayakan tubuh.

Dewasa ini semakin banyak disiplin ilmu yang menggunakan model matematika maupun penalaran matematika sebagai alat bantu dalam

menyelesaikan permasalahan yang dihadapi. Penggunaan model matematika telah banyak membantu menyelesaikan masalah-masalah di berbagai bidang sains, ekonomi dan teknik. Dengan matematika diharapkan akan diperoleh solusi akhir yang tepat, valid dan dapat diterima secara ilmiah oleh dunia ilmu pengetahuan. Pemodelan matematika merupakan salah satu cara untuk mengetahui sistem imun dalam menghadapi LCMV.

Berdasarkan paparan di atas, penulis ingin mengangkat tema tulisan ini dengan judul ” **ANALISIS MODEL MATEMATIKA PADA SISTEM IMUN DENGAN LCMV (*LYMPOCYTIC CHORIOMENINGITIS VIRUS*)**”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalahnya adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana analisis pembentukan model matematika pada sistem imun dengan LCMV?
2. Bagaimana analisis model matematika pada sistem imun dengan LCMV?

1.3 Tujuan Pembahasan

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari pembahasan ini adalah:

1. Mengetahui analisis pembentukan model matematika pada sistem imun dengan LCMV.

2. Mengetahui hasil analisis model matematika pada sistem imun dengan LCMV.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penulisan ini, penulis menganalisis model matematika pada sistem imun dengan LCMV dengan menggunakan semua parameter yang berperan di dalam model tersebut, kemudian diinterpretasikan dan memberikan batasan pembahasan pada sistem imun khususnya pada sel-T CD8⁺ dengan epitop NP118 dan epitop GP283 dengan LCMV. Dengan menggunakan fungsi aktivasi f , sebagai berikut:

$$f(t) = \begin{cases} 0 & \text{jika } t < T_{on} \\ 1 & \text{jika } T_{on} \leq t < T_{off} \\ 0 & \text{jika } t \geq T_{off} \end{cases}$$

Parameter-parameter T_{on} dan T_{off} adalah waktu antara konsentrasi virus dianggap cukup besar untuk memperbolehkan peningkatan jumlah sel-T maksimal. Parameter T_{on} akan ditunjukkan sebagai penambahan waktu. Pada model ini, yang kita sebut dengan model on-off atau model dasar, kami mengesampingkan sub-populasi naive dan menganggap bahwa antara waktu 0 dan waktu T_{on} , semua antigen tertentu naive menjadi aktif.

Sehingga diperoleh persamaan yang berbeda sebagai berikut:

$$\frac{dA}{dt} = f(t)(aM + \rho A) - [1 - f(t)](r + \alpha)A \quad (1)$$

$$\frac{dM}{dt} = r[1 - f(t)]A - af(t)M - \delta_M M \quad (2)$$

1.5 Manfaat Pembahasan

Penelitian ini diharapkan penulis mampu mengetahui, menelaah, memahami, dan menganalisa pemodelan matematika serta mengetahui, memperdalam pengetahuan tentang model matematika pada sistem imun dalam tubuh manusia dengan LCMV (*Lymphocytic Choriomeningitis Virus*).

1.6 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam skripsi ini adalah metode penelitian pustaka (*Library research*), yaitu dengan mengumpulkan data dan informasi dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, atau makalah-makalah. Penelitian dilakukan dengan melakukan kajian terhadap buku-buku diferensial dan jurnal-jurnal atau makalah-makalah yang memuat topik tentang sistem imun dan LCMV (*lymphocytic choriomeningitis virus*). Langkah selanjutnya adalah mendalami, mencermati, menelaah, dan mengidentifikasi pengetahuan yang ada dalam kepustakaan, langkah-langkahnya adalah:

- a. Memformulasikan model real (identifikasi masalah).
- b. Mengasumsikan untuk model sistem imun dengan LCMV.
- c. Memformulasikan masalah matematika.
- d. Menyelesaikan masalah matematika.
- e. Menginterpretasikan model matematika pada sistem imun dengan LCMV.
- f. Validitas model matematika pada sistem imun dengan LCMV.
- g. Menganalisis parameter ketika diperoleh grafik.
- h. Membuat kesimpulan.

1.7 Sistematika Pembahasan

BAB I: Pendahuluan

Pada bab ini penulis paparkan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan pembahasan, batasan masalah, manfaat pembahasan, metode penelitian serta sistematika pembahasan.

BAB II: Kajian Pustaka

Penulis membahas tentang landasan teori yang dijadikan ukuran standarisasi dalam pembahasan pada bab yang merupakan tinjauan teoritis yang terdiri atas persamaan diferensial, persamaan diferensial linier, sistem persamaan diferensial linier, LCMV, sistem imun serta pentingnya menjaga kesehatan dalam kajian Islam.

BAB III: Pembahasan

Pembahasan pada bab ini yaitu tentang pembentukan model matematika pada LCMV, analisis model matematika, Interpretasi model matematika pada Sistem Imun dengan LCMV dan pemodelan matematika dalam prospektif islam.

BAB IV: Penutup

Penulis pada bab ini membahas tentang kesimpulan dari hasil penelitian serta saran.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Persamaan Diferensial

Definisi 1.

Persamaan diferensial adalah persamaan yang memuat turunan satu (atau beberapa) fungsi yang tak diketahui (Finizio dkk, 1982 : 1).

Definisi 2.

Sebuah persamaan yang mengandung derivatif atau diferensial dari suatu atau lebih variabel terikat terhadap suatu atau lebih variabel bebas disebut persamaan diferensial (PD). Jika hanya satu variabel bebasnya, maka persamaannya disebut persamaan diferensial biasa. Sedangkan jika variabel bebasnya lebih dari satu maka persamaannya disebut persamaan diferensial parsial (Baiduri, 2002: 2).

Definisi 3.

Persamaan yang menyangkut satu atau lebih fungsi (peubah tak bebas) beserta turunannya terhadap satu atau lebih peubah bebas disebut persamaan diferensial (Pamuntjak dkk, 1990: 11).

Meskipun persamaan seperti itu seharusnya disebut “persamaan turunan”, namun istilah “persamaan diferensial” (aeoquatio differentialis) yang

diperkenalkan oleh Leibniz dalam tahun 1676 sudah umum digunakan. Sebagai contoh,

$$1) \quad y' + xy = 3$$

$$2) \quad y'' + 5y' + 6y = \cos x$$

$$3) \quad y'' = (1 + y'^2)(x^2 + y^2)$$

$$4) \quad \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0$$

adalah persamaan-persamaan differensial. Dalam persamaan (1)-(3) fungsi yang tidak diketahui dinyatakan y dan x dianggap sebagai satu peubah bebas, yaitu $y=y(x)$. Argumen x dalam $y(x)$ (dan turunan-turunannya) biasanya dihilangkan untuk penyederhanaan notasi. Lambang y' dan y'' dalam persamaan (1)-(3) berturut-turut menyatakan turunan pertama dan kedua dari fungsi $y(x)$ terhadap x . Dalam persamaan (4) fungsi yang tak diketahui u dianggap sebagai fungsi dua peubah bebas t dan x , yaitu $u=u(t,x)$, $\partial^2 u / \partial t^2$ dan $\partial^2 u / \partial x^2$ berturut-turut adalah turunan parsial kedua dari fungsi $u(t,x)$ terhadap t dan x . Persamaan (4) memuat turunan-turunan parsial dan disebut *persamaan differensial parsial*. Persamaan-persamaan (1)-(3) memuat turunan biasa dan disebut *persamaan differensial biasa* (Finizio dkk, 1982 : 1).

2.2 Persamaan Diferensial Linier

Definisi 4.

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

$$a_m(x) \frac{d^m y}{dx^m} + a_{m-1}(x) \frac{d^{(m-1)} y}{dx^{(m-1)}} + \cdots + a_1(x) \frac{dy}{dx} + a_0(x)y = r(x) \quad (2.1)$$

Dengan $a_i(x)$, $i=1,2,\dots,m$ didefinisikan pada suatu selang I

Jika $\exists x \in I \ni a_i(x) \neq 0$ maka persamaan di atas ialah persamaan linier tingkat m .

Suatu persamaan diferensial linier orde n adalah persamaan yang berbentuk :

$$a_n(x)y^{(n)} + a_{n-1}(x)y^{(n-1)} + \cdots + a_1(x)y' + a_0(x)y = f(x) \quad (2.2)$$

Disini selalu memisalkan bahwa koefisien-koefisien $a_n(x), a_{n-1}(x), \dots, a_0(x)$ dan fungsi $f(x)$ merupakan fungsi-fungsi yang kontinu pada selang I dan bahwa koefisien pertama $a_n(x) \neq 0$ untuk setiap $x \in I$. Selang I disebut *selang definisi* (selang asal) *dari persamaan diferensial* itu. Jika fungsi f identik dengan nol, kita sebut persamaan (2.1) *homogen*. Jika $f(x)$ tak identik dengan nol, Persamaan (2.1) disebut *takhomogen*. Bila semua koefisien $a_n(x), a_{n-1}(x), \dots, a_0(x)$ adalah tetap, Persamaan (2.1) dikatakan sebagai persamaan diferensial linier dengan *koefisien konstanta*, di lain pihak, adalah persamaan diferensial dengan koefisien-koefisien peubah, berikut ini adalah contoh-contoh persamaan diferensial linier:

$$1) xy' - 2y = x^3, \quad x \neq 0$$

$$2) y'' + 2y' + 3y = \cos x$$

$$3) y^{(4)} + y = 0$$

Persamaan (1) adalah suatu persamaan diferensial linier *takhomogen* orde 1 dengan koefisien konstanta. Persamaan (2) adalah persamaan diferensial linier tak homogen orde 2 dengan koefisien konstanta. Persamaan (3) adalah persamaan diferensial linier homogen orde 4 dengan koefisien konstanta. Istilah linier berkaitan dengan kenyataan bahwa tiap suku dalam persamaan diferensial itu, peubah y, y', \dots, y^n berderajat satu atau nol (Finizio dkk, 1988: 58).

Sebuah persamaan diferensial dikatakan linier bila memenuhi 2 hal berikut:

1. Variabel-variabel terikat dan turunannya paling tinggi pangkat satu.
2. Tak mengandung bentuk perkalian antara sebuah variabel terikat dengan variabel terikat lainnya, atau turunan yang satu dengan turunan lainnya, atau variabel terikat dengan sebuah turunan (Kusumah, 1989:4).

2.3 Sistem Persamaan Diferensial Linier

Sistem persamaan diferensial linier adalah persamaan yang terdiri lebih dari satu persamaan yang saling terkait. Sistem dari dua persamaan diferensial dengan dua fungsi yang tak diketahui berbentuk:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= a_{11}(t)x_1 + a_{12}(t)x_2 + f_1(t) \\ \dot{y}_1 &= a_{21}(t)x_1 + a_{22}(t)x_2 + f_2(t) \end{aligned} \quad (2.3)$$

Dimana koefisien $a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}$ dan f_1, f_2 merupakan fungsi t yang kontinu pada suatu selang I dan x_1, x_2 adalah fungsi t yang tak diketahui. Sistem

(2.2) memiliki penyelesaian eksplisit jika koefisien-koefisien a_{11}, a_{12}, a_{21} dan a_{22} semuanya konstanta.

Sistem persamaan diferensial linier dengan n buah fungsi-fungsi yang tak diketahui berbentuk:

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= a_{11}(t)x_1 + a_{12}(t)x_2 + \dots + a_{1n}(t)x_n + f_1(t) \\ \dot{x}_2 &= a_{21}(t)x_1 + a_{22}(t)x_2 + \dots + a_{2n}(t)x_n + f_2(t) \\ &\vdots \\ \dot{x}_n &= a_{n1}(t)x_1 + a_{n2}(t)x_2 + \dots + a_{nn}(t)x_n + f_n(t)\end{aligned}\quad (2.4)$$

Atau secara singkat:

$$\dot{x}_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}(t)x_j + f_i(t), \quad i=1,2,\dots,n.$$

Dalam matematika lanjutan, sains dan teknik, banyak ditemukan sistem persamaan diferensial yang memuat dua persamaan atau lebih. Persamaan seperti ini termasuk sebuah sistem persamaan yang simultan. Dengan bantuan penyelesaian sistem persamaan diferensial, model matematika yang diperoleh dapat dicari penyelesaiannya.

Bentuk umum dari sebuah sistem persamaan diferensial dalam n fungsi yang tidak diketahui dalam variabel x_1, x_2, \dots, x_n adalah

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} &= a_{11}(t)x_1 + a_{12}(t)x_2 + \dots + a_{1n}(t)x_n + F_1(t) \\ \frac{dx_2}{dt} &= a_{21}(t)x_1 + a_{22}(t)x_2 + \dots + a_{2n}(t)x_n + F_2(t) \\ &\vdots \\ \frac{dx_m}{dt} &= a_{m1}(t)x_1 + a_{m2}(t)x_2 + \dots + a_{mn}(t)x_n + F_m(t)\end{aligned}\quad (2.6)$$

Dengan $a_{ij}(t)$, $i=1,2,\dots,n$ dan $j=1,2,\dots,m$ (Kusumah, 1989: 417).

atau dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\frac{dx}{dt} &= P(x, y) \\ \frac{dy}{dt} &= Q(x, y)\end{aligned}\tag{2.7}$$

P dan Q mempunyai turunan parsial yang kontinu untuk semua (x, y) dengan

$$\frac{dy}{dt} = \frac{Q(x, y)}{P(x, y)}, \quad \frac{dx}{dt} = \frac{Q(x, y)}{P(x, y)}\tag{2.8}$$

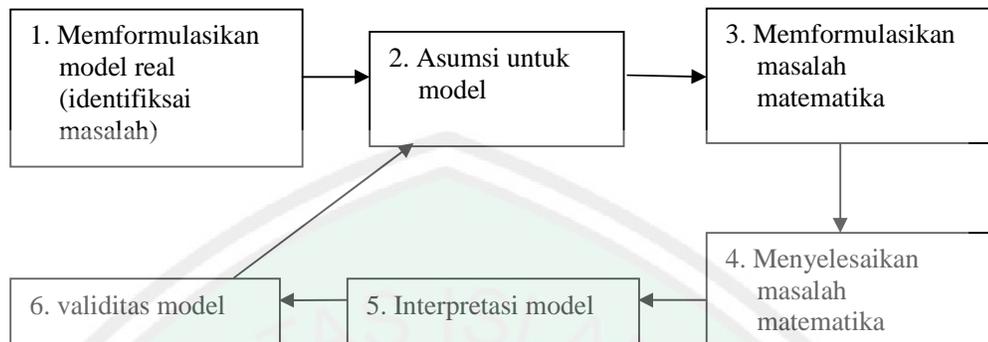
2.4 Model Matematika

Pemodelan matematika adalah suatu proses yang menjalani tiga tahap berikut:

- a. Perumusan model matematika
- b. Penyelesaian dan/atau analisis model matematika
- c. Penginterpretasian hasil ke situasi nyata (Pamuntjak, 1990: 1).

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 kita lakukan atau apa yang kita inginkan. Pemodel harus mempunyai kemampuan yang cukup dalam formulasi verbal agar masalah bisa ditranslansikan ke dalam bahasa matematika. Translansi ini akan terus diselesaikan pada langkah berikutnya.

Langkah 2: Membuat Asumsi

Secara umum kita tidak bisa menganggap bahwa semua faktor yang berpengaruh pada peristiwa yang sedang kita amati 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. Kita juga boleh memilih variabel mana yang mesti diabaikan.

- b. Menentukan interelasi antara variabel yang terseleksi untuk dipelajari

Sebelum kita membuat hipotesa tentang relasi antara variabel, secara umum kita membuat beberapa penyederhanaan tambahan. Persoalan mungkin cukup kompleks bahwa relasi antara semua variabel tidak bisa dilihat secara permulaan. Dalam kasus ini kita 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 kita perhatikan semua submodel untuk melihat apakah model yang disusun sudah cukup. Selanjutnya model tersebut akan diselesaikan secara matematika. Dalam hal ini model yang kita gunakan dan penyelesaiannya menggunakan persamaan diferensial. Sering kali di sini kita mengalami kesulitan untuk menyelesaikan model dan interpretasi model. Dalam kondisi ini kita 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 kita menyimpang dari isu utama seperti yang dikonstruksi dalam model? Kedua, apakah model membuat pemikiran yang sehat? Ketiga, bisakah kita mengumpulkan data untuk menguji dan mengoperasikan model dan apakah model memenuhi syarat bila di uji? Dalam mendesain sebuah tes untuk model yang kita buat, kita sebaiknya menggunakan data aktual yang diperoleh dari observasi empirik (Baiduri, 2002: 15).

2.5 LCMV (*Lymphocytic Choriomeningitis Virus*)

2.5.1 Definisi

Lymphocytic Choriomeningitis Virus adalah penyakit yang disebabkan oleh virus, biasanya menyebabkan penyakit yang menyerupai influenza.

2.5.2 Penyebab

Virus ini biasa ditemukan pada binatang pengerat, terutama tikus liar. Binatang ini biasanya terinfeksi virus selama hidupnya dan akan mengeluarkan virus dalam bentuk air kemih, tinja, semen dan sekret dari hidungnya. Infeksi pada manusia terjadi karena pemaparan dari debu atau makanan yang terkontaminasi. Penyakit ini timbul pada musim dingin dimana tikus liar bersembunyi di dalam rumah.

2.5.3 Gejala

Sakit yang menyerupai influenza terjadi dalam 1-3 minggu setelah terinfeksi.

Demam bisa mencapai 38,3-41,3 derajat Celsius, bisa disertai menggigil. Gejala lainnya adalah perasaan tidak enak badan, mual, lemah, nyeri otot, sakit kepala di belakang mata yang bertambah bila melihat cahaya terang dan nafsu makan yang menurun. Bisa terjadi nyeri tenggorokan, nyeri persendian dan muntah-muntah. Penyakit ini juga meliputi pembengkakan sendi jari-jari tangan dan peradangan buah zakar. Bisa terjadi kerontokan rambut kepala. Penyakit ini sering terjadi dalam 2 (dua) fase:

1. Peradangan selaput otak (meningitis) yang terjadi dalam 1-2 minggu setelah sakit yang menyerupai influenza. Penderita meningitis mengalami sakit kepala dan kaku leher. Mereka biasanya sembuh total.
2. Peradangan otak (ensefalitis), dimana timbul sakit kepala dan perasaan mengantuk. Bisa juga terjadi kerusakan saraf menetap, walaupun jarang.

2.5.4 Diagnosa

Selama minggu pertama, gejala-gejala yang timbul mirip dengan influenza atau infeksi virus lainnya, sehingga biasanya belum dilakukan pemeriksaan. Pemeriksaan rontgen dada bisa menunjukkan beberapa peradangan paru-paru. Pemeriksaan darah menunjukkan penurunan jumlah sel darah putih dan faktor

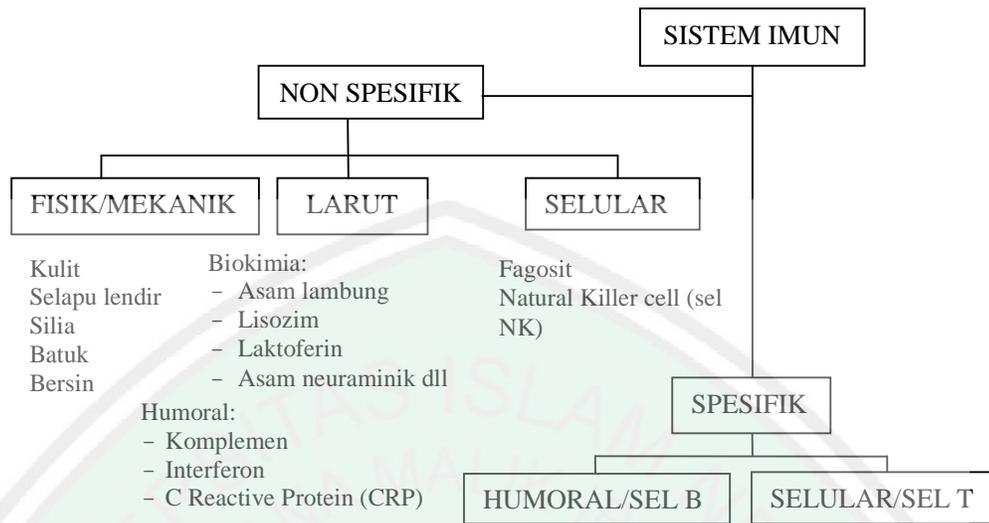
pembekuan. Bila gejalanya mengarah ke meningitis, dilakukan pemeriksaan terhadap cairan serebrospinal. Biasanya cairan serebrospinal akan mengandung banyak sel darah putih, terutama limfosit. Diagnosis ditegakkan dengan ditemukannya virus dalam cairan serebrospinal atau kenaikan kadar antibodi di dalam darah.

2.6 Sistem Imun

Imunitas adalah keadaan kebal (imun) terhadap satu infeksi atau efek patologic suatu substansi. Kekebalan (imunitas) itu merupakan daya ketahanan tubuh terhadap segala suatu yang asing bagi tubuh. Imunitas itu bukan suatu pelindung yang statis, seperti halnya tengkorak yang melindungi otak, akan tetapi suatu daya ketahanan yang dinamis. Setiap kali ada bahaya unsur-unsur tertentu dari tubuh digiatkan untuk mengadakan perlawanan/pembelaan. Reaksi tubuh tersebut disebut reaksi imunologik dan respon imunologik.

Sumsum tulang belakang, timus, limpa, kelenjar limfe dan jaringan limfoid traktus gastrointestinalis merupakan organ-organ utama yang menyusun susunan (sistem) imunologik. Sel-sel limfoid primitif dari sumsum tulang berdiferensiasi sehingga menjadi dua menjadi dua kelompok sel mononuklear, yakni limfosit (sel T, sel B) dan makrofag (Mardjono dkk, 2006: 335).

Keutuhan tubuh dipertahankan oleh sistem pertahanan badan yang terdiri atas sistem imun nonspesifik (natural/innate) dan spesifik (adaptive/acquired) (Gambar 2.5).



Gambar 2.5. Sistem imun (Barathawidjaya, 1988: 3).

2.6.1 Sistem imun non spesifik

Sistem imun non spesifik merupakan pertahanan tubuh terdepan dalam menghadapi serangan berbagai mikroorganisme, oleh karena dapat memberikan respon langsung terhadap antigen, sedang sistem imun spesifik membutuhkan waktu untuk mengenal antigen terlebih dahulu sebelum dapat memberikan responnya. Sistem tersebut disebut nonspesifik karena tidak ditujukan terhadap mikroorganisme tertentu. Komponen-komponen sistem imun nonspesifik terdiri atas:

- Pertahanan fisik dan mekanik
- Pertahanan biokimiawi (bahan larut)
- Pertahanan humoral (bahan larut)
- Pertahanan selular (Baratawidjaya, 1988: 3).

2.6.2 Sistem imun spesifik

Berbeda dengan sistem imun nonspesifik, sistem imun spesifik mempunyai kemampuan untuk mengenal benda yang dianggap asing bagi dirinya. Benda asing yang pertama kali muncul dalam badan segera dikenal oleh sistem imun spesifik sehingga terjadi sensitisasi sel-sel sistem imun tersebut. Bila sel sistem imun tersebut berpapasan kembali dengan benda asing yang sama, maka benda asing yang terakhir ini akan dikenal lebih cepat, kemudian dihancurkan olehnya.

Oleh karena sistem tersebut hanya dapat menghancurkan benda asing yang sudah dikenal sebelumnya, maka sistem itu disebut spesifik.

Sistem imun spesifik dapat bekerja tanpa bantuan sistem imun non spesifik untuk menghancurkan benda asing yang berbahaya bagi badan, tetapi pada umumnya terjalin kerjasama yang baik antara antibodi komplemen-fagosit dan antara sel T-makrofag.

a. Sistem imun spesifik humoral

Yang berperan dalam sistem imun spesifik humoral adalah limfosit B atau sel B. Sel B tersebut berasal dari sel asal multipoten. Pada unggas asal tersebut akan berdiferensiasi menjadi sel B di dalam alat yang disebut *Bursa Fabricius* yang terletak dekat kloaka. Bila sel B dirangsang oleh benda asing, maka sel tersebut akan berproliferasi dan berkembang menjadi sel plasma yang dapat membentuk zat antibodi. Antibodi yang dilepas dapat ditemukan di dalam serum. Fungsi utama antibodi ini ialah untuk pertahanan terhadap infeksi virus, bakteri (ekstraselular), dan dapat menetralkan toksinnya.

b. Sistem imun spesifik selular

Yang berperan dalam sistem imun spesifik selular adalah limfosit T atau sel T. sel tersebut juga berasal dari sel asal yang sama seperti sel B. Pada orang dewasa sel T dibentuk di dalam sumsum tulang tetapi proliferasi dan diferensiasinya terjadi di dalam kelenjar timus atas pengaruh berbagai faktor asal timus. Faktor timus yang disebut timosin dapat ditemukan dalam peredaran darah sebagai hormon asli (true) dan dapat memberikan pengaruhnya terhadap diferensiasi sel T di perifer. Berbeda dengan sel B, sel T terdiri atas beberapa sel subset yang mempunyai fungsi yang berlainan. Fungsi utama sistem imun spesifik selular ialah untuk pertahanan terhadap bakteri yang hidup intraselular, virus, jamur, parasit dan keganasan.

Imunitas spesifik dapat terjadi sebagai berikut:

- Alamiah

1. Pasif

Imunitas alamiah pasif ialah pemindahan antibodi atau sel darah putih yang disensitisasi dari badan seorang yang imun ke orang lain yang nonimun, misalnya melalui plasenta dan kolostrum dari ibu ke anak.

2. Aktif

Imunitas alamiah aktif dapat terjadi bila suatu mikroorganisme secara alamiah masuk ke dalam tubuh dan menimbulkan pembentukan antibodi atau sel yang tersensitisasi.

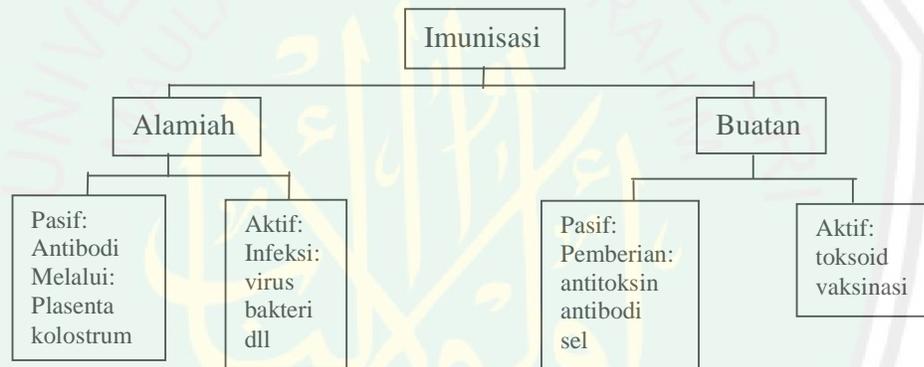
- Buatan

1. Pasif

Imunitas buatan pasif dilakukan dengan memberikan serum, antibodi, antitoksin misalnya pada tetanus, difetri, gangren gas, gigitan ular dan defisiensi imun atau pemberian sel yang sudah disensitisasi pada tuberkulosis dan lepra.

2. Aktif

Imunitas buatan dapat ditimbulkan dengan vaksinasi melalui pemberian toksoid tetanus, antigen mikroorganisme baik yang mati maupun yang hidup (tetapi telah dilemahkan)



Gambar 2.6. Terjadinya imunitas spesifik (Baratawidjaya, 1988: 10)

➤ Respon Imun

Bila sistem imun terpapar pada zat yang dianggap asing, maka ada dua jenis respon imun yang mungkin terjadi, yaitu respon imun spesifik dan respon imun non spesifik.

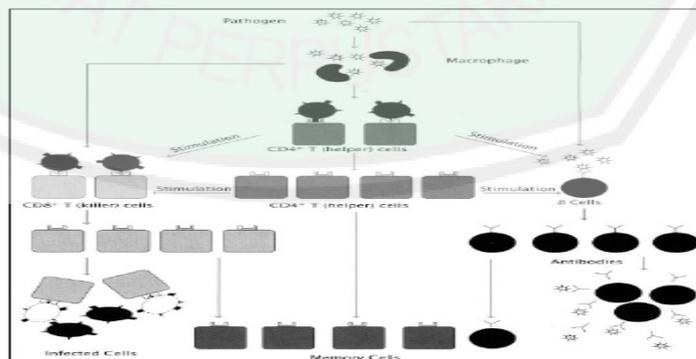
a. Respon Imun Spesifik

Respon imun spesifik merupakan respon yang didapat (acquired) yang timbul terhadap antigen tertentu, terhadap mana tubuh pernah terpapar sebelumnya (Kresno, 2003: 5). Spesifikasi merupakan kemampuan memilih respon imun dengan kepekaan yang tinggi, produk-produk respon imun akan

bereaksi seluruhnya dengan benda yang identik dengan benda terdahulu yang memulai respon. Heterogeneitas yaitu suatu sifat dimana berbagai jenis sel dan produk sel dipengaruhi untuk berinteraksi dengan macam-macam respon yang berbeda dan menghasilkan produk populasi sel yang heterogen pula, misalkan antibodi. Memori merupakan sifat yang dapat mempercepat dan memperbesar respon spesifik dengan cara proliferasi dan diferensiasi sel-sel yang telah disensitisasi (sensitized cell).

1. Imunitas humoral

Imunitas humoral ditangani oleh sekelompok limfosit yang berdiferensi di sumsum tulang dan diberi nama limfosit asal sumsum tulang (bone marrow derived) atau limfosit B. Antibodi adalah produk dari elemen sel B (limfosit B dan sel plasma), baik yang terikat dengan sel maupun disekresi sebagai produk ekstraseluler. Ia mampu bereaksi dengan benda-benda yang merangsang pembentukan imunogen/antigen. Pada manusia antibodi berhubungan dengan lima kelompok protein utama (imunoglobulin) yang dapat dideferensiasi satu sama lain atas dasar ukuran molekul, fungsi biologik atau sifat-sifat kimianya.



Gambar 2.7. Diagram skematik cara kerja sistem imun (Diambil dari Krischner. 1996)

2. Imunitas seluler

Imunitas seluler ditengahi oleh sekelompok limfosit yang berdiferensiasi di bawah pengaruh timus (Thymus), sehingga diberi nama sel T. Cabang efektor imunitas spesifik ini dilaksanakan langsung oleh limfosit yang tersensitisasi spesifik atau oleh produk-produk sel spesifik yang dibentuk pada interaksi antara imunogen dengan limfosit-limfosit tersensitisasi spesifik. Produk-produk sel spesifikasi ini ialah limfokin-limfokin termasuk penghambat migrasi (Migration Inhibition Factor = MIF), sitotoksin, interferon dan lain sebagainya yang menjadi efektor molekul-molekul dari imunitas seluler.

b. Respon Imun Nonspesifik

Respon imun nonspesifik umumnya merupakan imunitas bawaan (*innate immunity*) dalam arti bahwa respons terhadap zat asing dapat terjadi walaupun tubuh sebelumnya tidak pernah terpapar pada zat tersebut (Kresno, 2003: 5). Pertemuan antara hospes dengan benda asing menimbulkan respon elemen fagosit ke daerah tempat benda asing tersebut masuk. Hal ini dapat terjadi sebagai bagian dari respon inflamatoris.

1. Inflamasi

Setelah ancaman injuri jaringan, terjadi perluasan seluler dan sistematik, dimana hospes mencoba untuk menormalkan dan memelihara homeostatis dari lingkungan yang merugikan. Bersamaan dengan respon inflamatoris timbul beberapa kejadian sistematik yang melibatkan demam dan beberapa fenomena hematologik. Respon demam ini diduga menggambarkan peningkatan aktifitas metabolik setelah injuri. Mekanisme terjadinya demam diduga akibat lepasnya

pirogen endogen dari leukosit hospes. Kenaikan angka leukosit pada saat infeksi bakteri atau ada injuri jaringan.

2. Fagositosis

Sekali bergerak sel-sel fagositosis melakukan serangan pada sarannya dengan proses yang disebut fagositosis yaitu suatu upaya multiphase yang memerlukan langkah-langkah sebagai berikut: pengenalan (recognition) dari benda yang akan dicerna, gerakan ke arah obyek (kemotaksis), perlekatan, penelanan (ingestion) intraseluler oleh mekanisme mikroba-mikroba. Banyak mikroorganisme menghasilkan faktor kemotaksis yang menarik sel-sel fagositosis. Kerusakan dalam kemotaksis mungkin menyebabkan kerentangan yang luar biasa terhadap infeksi tertentu.

➤ Respon Imun Terhadap Infeksi Secara Umum

Ada beberapa gambaran umum respon imun terhadap mikroba yang dapat dirangkum sebagai berikut: a) Pertahanan terhadap mikroba diperantarai oleh mekanisme efektor imunitas bawaan (non spesifik) maupun imunitas didapat (spesifik). Berbagai jenis mikroba dapat melawan respon imun non spesifik, dan dalam keadaan demikian proteksi terhadap mikroba tersebut sangat bergantung pada respon imun spesifik, dalam arti bahwa sistem imun spesifik meningkatkan fungsi sistem imun non spesifik. b) Respon imun non spesifik terhadap mikroba memegang peranan penting dalam menentukan respon imun spesifik yang akan berlangsung. c) Dalam upaya melawan mikroba secara efektif, sistem imun dapat memberikan respon yang spesialistik dan berbeda terhadap berbagai jenis mikroba. Karena berbagai mikroba berbeda satu dengan lain dalam pola invasi

dan kolonisasi dalam pejamu, maka eliminasinya memerlukan sistem efektor yang berbeda-beda. d) Survival dan patogenesis mikroba sangat dipengaruhi oleh kemampuan mikroba itu untuk menghindari dari sistem imun pejamu. e) Kerusakan jaringan dan penyakit sebagai konsekuensi infeksi pada umumnya disebabkan oleh respon pejamu terhadap mikroba serta produknya dan bukan disebabkan oleh mikroba bersangkutan.

1. Mekanisme pertahanan pada permukaan tubuh

Pertama pertahanan tubuh terhadap mikroba diperankan oleh mekanisme *barrier* pada permukaan tubuh, misalnya kulit dan permukaan epitel yang mempunyai akses dengan dunia luar. Pada umumnya respon imun pada bagian tubuh ini merupakan mekanisme respon imun bawaan atau non spesifik. Respon imun non spesifik alamiah selain mencakup *barrier* pada permukaan tubuh, juga mencakup sekresi substansi-substansi tertentu, misalnya asam lemak yang diproduksi oleh kulit yang biasanya toksik untuk sebagian mikroba, lisosim dalam saliva, air mata dan sekret hidung, IgA, aktivitas fagosit dan komplemen serta aktivitas flora normal yang merupakan sistem pertahanan eksternal.

2. Mekanisme pertahanan sistematis

Mekanisme pertahanan didapat (*acquired*) yang umumnya merupakan respon imun seluler yang melibatkan limfosit dan makrofag. Pada awal induksi imunitas, terjadi interaksi antara makrofag dengan limfosit T. Limfosit T yang tersensitisasi dengan antigen memproduksi limfokin yang menyebabkan monosit berkumpul di tempat terjadinya infeksi. Di samping itu limfosit yang tersensitisasi dengan antigen mikroba tertentu dapat memproduksi substansi yang

meningkatkan kemampuan makrofag untuk membunuh mikroorganisme bersangkutan. Respon imun selular, khususnya terhadap mikroorganisme intraselular, dapat berlangsung melalui beberapa mekanisme, yaitu: 1) melalui sel T sitotoksik $CD8^+$ yang dapat mengenal antigen tertentu secara spesifik disertai interaksi dengan MHC kelas I melisiskan sel yang terinfeksi. 2) melalui sel NK yang tanpa harus mengenal antigen bersangkutan sebelumnya dan tanpa melalui interaksi dengan MHC dapat melisiskan sel yang terinfeksi. 3) melalui ADCC, yang diperankan oleh sel-sel yang sama dengan sel NK tetapi yang memerlukan antibodi sebagai opsonin pada permukaan sel sasaran sebelum sel NK dapat menghancurkannya. Mekanisme ADCC tidak memerlukan pengenalan antigen terlebih dahulu dan juga tidak memerlukan interaksi dengan MHC. Namun demikian, unsur utama respon imun selular adalah sel T yang diaktivasi oleh APC. Baik sel T $CD4^+$ maupun $CD8^+$ memberikan respon terhadap antigen mikroba kelas II. Sel $CD4^+$ berdiferensiasi menjadi sel Th1 atas pengaruh IL-12 yang diproduksi oleh makrofag.

Peran sistem humoral dalam pertahanan sistemik terhadap infeksi berlangsung melalui pembentukan dan aktivasi antibodi, komplemen dan mediator lain. Antibodi dapat menghancurkan mikroorganisme tertentu secara langsung, khususnya bakteri ekstraselular, tetapi untuk jenis lainnya, misalkan virus, antibodi berfungsi menghambat interaksi virus dengan sel sasaran dengan cara menetralisasi atau melapisi virus bersangkutan sehingga virus tidak dapat melekat atau menembus sel sasaran.

Walaupun respon spesifik pada umumnya memerlukan bantuan APC, tetapi akhir-akhir ini diketahui bahwa ada antigen bakteri, yang disebut superantigen, yang tidak memerlukan pemrosesan terlebih dahulu menjadi peptida, tetapi dapat langsung berinteraksi dengan MHC kelas II pada APC. Hal ini mengakibatkan semua sel T dengan rantai V- β yang sesuai, teraktivasi. Superantigen demikian dijumpai pada stafilokus, mikroplasma dan mungkin juga mikobakteri.

➤ **Respon Imun Terhadap Infeksi Virus**

Virus mempunyai sifat-sifat khusus, diantaranya 1) dapat menginfeksi jaringan tanpa menimbulkan respon inflamasi; 2) dapat berkembang biak dalam sel pejamu tanpa merusaknya; 3) ada kalanya mengganggu fungsi khusus sel yang terinfeksi tanpa merusaknya secara nyata; 4) kadang-kadang virus merusak sel atau mengganggu perkembangan sel kemudian menghilang dari tubuh.

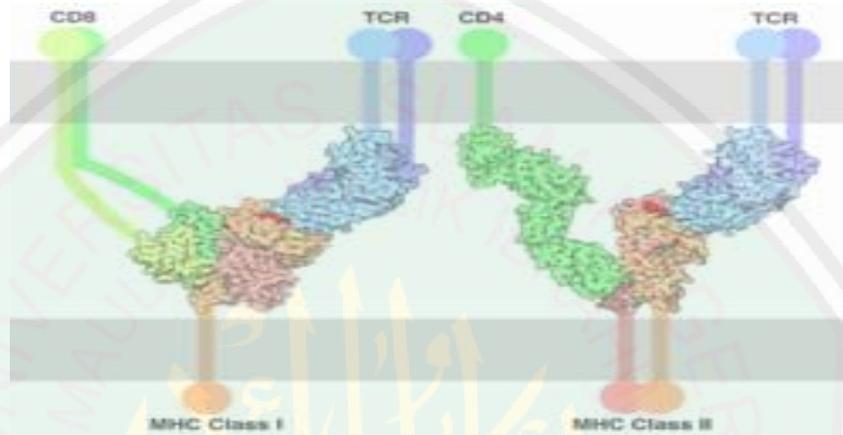
Untuk membatasi penyebaran virus dan mencegahnya reinfeksi, sistem imun harus mampu menghambat masuknya virion ke dalam sel dan memusnahkan sel yang terinfeksi. Antibodi spesifik mempunyai peranan penting pada awal terjadinya infeksi dimana ia dapat menetralkan antigen virus dan melawan virus sitopatik yang dilepaskan oleh sel yang mengalami lisis.

Disamping respon antibodi, respon imun selular merupakan respon yang paling penting, terutama pada infeksi virus yang nonsitopatik. Respon imun melibatkan T sitotoksik, sel NK, ADCC dan interaksi MHC kelas I.

➤ **Sel T**

Sel T adalah sel yang masuk kedalam grup sel darah putih yang diketahui sebagai limfosit dan memainkan peran utama pada sistem kekebalan tubuh.

Mereka dapat dibedakan dari tipe limfosit lainnya, seperti sel B dan sel NK dengan kehadiran reseptor spesial pada permukaan sel mereka yang disebut reseptor sel T. "T" pada kata sel T merupakan thymus yang merupakan organ penting pada perkembangan mereka.



Hubungan molekular antara sel CD8+ T dengan MHC kelas I dan sel CD4+ T dengan MHC kelas II

Sel T merupakan 65-80% dari semua limfosit dalam sirkulasi. Di bawah mikroskop biasa, sel T tidak dapat dibedakan dari sel B. Sel T mempunyai reseptor pada permukaan sel yang dapat mengikat sel darah merah biri-biri. Petanda permukaan (surface maker) tersebut dapat digunakan untuk membedakannya dari sel B dengan pemeriksaan rosette. Atas dasar adanya petanda permukaan lain, sel T dapat pula dibedakan dari sel B dengan teknik imunofluoresen. Selanjutnya, perbedaan yang ada pada petanda-petanda permukaan sel-sel subset T, dengan bantuan teknik imunofluoresensi yang memakai antibodi monoklonal dapat digunakan untuk membedakan subset yang satu dengan yang lain. Kebanyakan sel T mempunyai 3 glikoprotein permukaan

yang dapat diketahui dengan antibodi monoklonal T₁₁, T₁ dan T₃ (singkatan T berasal dari Ortho yang membuat antibodi tersebut)

Fungsi sel T umumnya ialah:

- Membantu sel B dalam memproduksi antibodi
- Mengenal dan menghancurkan sel yang diinfeksi virus
- Mengaktifkan makrofag dalam fagositosis
- Mengontrol ambang dan kualitas sistem imun (Baratawidjaya, 1988: 36).

Diantara fungsi lain sel T yaitu:

- 1) Fungsi efektor: reaksi imunitas berperantara sel dan reaksi hipersensitivitas tipe lambat terutama ditunjukkan untuk melawan antigen parasit intrasel, termasuk virus, jamur, beberapa protozoa dan bakteri. Defisiensi imunitas berperantara sel menampilkan dirinya terutama sebagai keadaan yang sangat rentan terhadap infeksi oleh parasit dan terhadap tumor tertentu.
- 2) Fungsi perantara: sel T memainkan peranan penting dalam mengatur imunitas humoral (berperan antibodi) maupun imunitas seluler (berperantara sel). Produksi sel B biasanya membutuhkan keikutsertaan sel T penolong (respon yang bergantung sel T), tetapi antibodi terhadap beberapa antigen adalah hasil respon tidak bergantung pada sel T. Dalam respon berperantara sel, antigen diolah oleh makrofag dan fragmen dibawa bersama dengan molekul MHC kelas II pada permukaan makrofag. Peristiwa ini berinteraksi dengan reseptor sel T dan sel T penolong, yang memproduksi limfoid untuk merangsang pertumbuhan sel CD4 atau CD8.

➤ Aktivasi Sel T

Poliferasi 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 menstranduksi tanda untuk sitoplasma yang mengakibatkan peristiwa biokimiawi seperti meningkatnya Ca 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.

Sel utama yang berperan pada respon imun selular adalah sel T-sitotoksik yang dapat melakukan fungsi sitotoksitas apabila antigen dipresentasikan oleh MHC yang sesuai (*MHC-restricted*). Tetapi selain itu ada juga jenis sel lain yang tidak memerlukan presentasi oleh MHC (*MHC-unrestricted*), misalnya NK, sel LAK yang diduga berasal dari sel NK yang diaktivasi limfokin dan populasi sel lain dengan kemampuan membunuh secara non-spesifik. Banyak percobaan telah dilakukan untuk mengetahui mekanisme sitotoksitas oleh sel T-sitotoksik. Salah

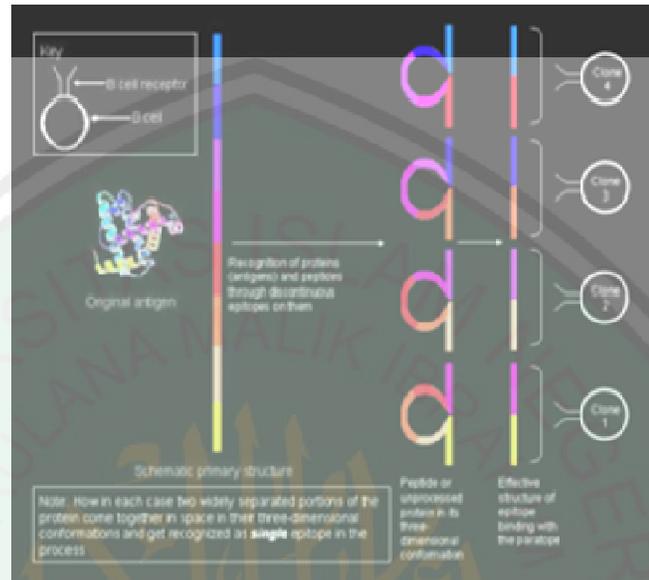
satu kesimpulan dari hasil percobaan yang dilakukan, mengindikasikan bahwa reseptor sel T-sitotoksik mempunyai peran penting pada pembunuhan sel sasaran, dan bahwa pengikatan antigen melalui reseptor tersebut merangsang sekresi berbagai limfokin. Sel T-sitotoksik yang teraktivasi, yaitu sel T-sitotoksik yang pernah terpapar pada antigen tertentu dan diprogramkan untuk berproliferasi bila terpapar lagi pada antigen bersangkutan, tidak akan berfungsi sebagai sitotoksik kalau reseptor selnya tidak terikat pada antigen. Pengikatan antigen pada reseptor merupakan sinyal yang diteruskan ke dalam sel untuk melakukan aktifitas. Tetapi disamping itu, untuk membunuh sel sasaran sel T-sitotoksik harus melakukan kontak langsung atau berada dekat dengan sel sasaran. Kontak langsung atau berada dekat sekali dengan sel sasaran. Kontak langsung, seperti diuraikan di atas dimungkinkan antara lain melalui interaksi *leucocyte functional antigen* (LFA1) dan molekul permukaan lain dengan molekul adhesi.

Secara singkat, pola pembunuhan sel sasaran oleh sel T- sitotoksik berlangsung dalam 3 fase: 1) sel T terikat pada sel sasaran; 2) isi vesikel berupa berbagai substansi seperti disebut di atas dilepaskan, sehingga dengan demikian sel sasaran mengalami kerusakan; 3) fase akhir, setelah sel sasaran mati (Kresno, 2003: 127).

➤ **Epitop**

Epitop adalah faktor penentu antigenik. Berupa makro molekul dalam sistem kekebalan tubuh yaitu zat penyerang kuman, sel B, atau sel T. Bagian dari suatu zat penyerang kuman yang mengenali epitop disebut paratop. Walaupun

epitop pada umumnya diperoleh dari selain protein itu sendiri, urutan dalam memperoleh dapat digolongkan seperti epitop.



Pengenalan konformasi epitop dengan sel B. Secara luas dipisahkan ke dalam struktur yang utama dalam kontak ke tiga struktur tersier dimensional yang membentuk bagian dari epitop yang sama. Suatu konformasi epitop adalah suatu urutan subunit, penyusunan suatu antigen yang masuk kontak langsung dengan suatu sel yang peka rangsangan pada sistem kekebalan. Respon kekebalan dominan dan sub-dominan CD8⁺ ditunjukkan pada epitope NP118 dan GP283 (Rob De Boer dkk, 2001 : 22).

2.7 Pentingnya Menjaga Kesehatan Dalam Kajian Islam

Menurut WHO (World Health Organization), sehat adalah “memperbaiki kondisi manusia, baik jasmani, rohani ataupun akal, sosial dan bukan semata-mata memberantas penyakit” (Al Fanjari, 2005 : 4). Sedangkan dalam kamus

lengkap biologi dijelaskan bahwa sehat itu dalam keadaan baik seluruh badan serta bagian-bagiannya, bebas dari sakit.

M. Quraish Shihab dalam bukunya wawasan Al-Quran menjelaskan bahwa Islam menetapkan tujuan pokok kehadirannya untuk memelihara agama, jiwa, akal, jasmani, harta dan keturunan. Setidaknya tiga dari yang disebut di atas berkaitan dengan kesehatan. Tidak heran jika ditemukan bahwa Islam amat kaya dengan tuntunan kesehatan.

2.7.1 Kesehatan Fisik

Majelis Ulama Indonesia (MUI), misalnya, dalam Musyawarah Nasional Ulama tahun 1983 merumuskan kesehatan sebagai “ketahanan jasmaniah, ruhaniah, dan sosial yang dimiliki manusia, sebagai karunia Allah yang wajib disyukuri dengan mengamalkan (tuntunan-Nya), dan memelihara serta mengembangkannya”.

Memang banyak sekali tuntunan agama yang merujuk kepada ketiga jenis kesehatan itu. Dalam konteks kesehatan fisik, misalnya ditemukan sabda Nabi Muhammad SAW:

Sesungguhnya badanmu mempunyai hak atas dirimu (HR. Bukhori).

Demikian Nabi SAW menegur beberapa sahabatnya yang bermaksud melampaui batas beribadah, sehingga kebutuhan jasmaniahnya terabaikan dan kesehatannya terganggu. Pembicaraan literatur keagamaan tentang fisik, dimulai dengan meletakkan prinsip:

“Pencegahan lebih baik dari pada pengobatan.”

Karena itu, dalam konteks kesehatan ditemukan sekian banyak petunjuk kitab suci dan sunnah Nabi SAW. Yang pada dasarnya mengarah pada upaya pencegahan. Salah satu sifat manusia yang secara tegas dicintai Allah adalah orang yang menjaga kebersihan. Kebersihan dikaitkan dengan taubat dalam surat A-Baqarah [2]: 222 yang berbunyi:

إِنَّ اللَّهَ يُحِبُّ التَّوَّابِينَ وَيُحِبُّ الْمُتَطَهِّرِينَ

Artinya: "Sesungguhnya Allah senang kepada orang yang bertaubat, dan senang kepada orang yang membersihkan diri"

Taubat menghasilkan kesehatan mental sedangkan kebersihan lahiriyah menghasilkan kesehatan fisik (Shihab, 2007: 241).

Para ulama sering mengaitkan penyakit dengan siksa Allah. Al-Biq'a'i dalam tafsirnya mengenai surat Al-Fatihah mengemukakan sabda Nabi SAW.

"Penyakit adalah cambuk Tuhan di bumi ini, dengannya Dia mendidik hamba-hambaNya".

Pendapat ini didukung oleh kandungan pengertian takwa yang pada dasarnya berarti menghindari dari siksa Allah di dunia dan akhirat. Siksa Allah di dunia, adalah akibat pelanggaran terhadap hukum-hukum alam. Hukum alam antara lain membuktikan bahwa makanan yang kotor mengakibatkan penyakit. Seorang yang makan makanan kotor pada hakikatnya melanggar perintah Tuhan, sehingga penyakit merupakan siksaNya di dunia yang harus dihindari oleh orang yang bertakwa (Shihab, 2007: 246).

Dari sini dapat dimengerti bahwa Islam memerintahkan agar berobat pada saat ditimpa penyakit.

Rasulullah bersabda:

“Setiap penyakit pasti ada obatnya, maka apabila ditemukan obatnya, sembuhlah ia dengan izin Allah”

Rasulullah SAW bersabda:

“Sesungguhnya Allah tidak menurunkan sesuatu penyakit melainkan telah ada obatnya kecuali satu. Mereka bertanya: “Apakah itu?”. Jawab Nabi: Penyakit tua” (Al Fanjari, 2005: 38).

Dan diantara lain hadis Nabi yang menjelaskan bahwa setiap penyakit ada obatnya yaitu:

Jabbir ibn Abdullah ra. Berkata:

“saya mendengar Nabi SAW, bersabda: jika telah ada pada sesuatu dari obat-obat atau akan ada pada sesuatu dari obat-obatmu, kebajikan, maka pada gurisam bekam atau minuman madu atau sengatan api pasti sesuai dengan penyakit dan aku tidak suka menggosok gigi dengan api panas.” (Al Bukhary 76: 4; Muslim 39: 26; Al Lu’lu-u wal Marjan 3: 81-82)

Ibnu Umar ra. Berkata:

“Nabi SAW bersabda: demam itu dari api neraka, maka dinginkanlah dengan air.” (Al Bukhary 76: 28; Muslim 39: 26; Al Lu’lu-u wal Marjan 3: 83).

Rasulullah saw. Menerangkan, bahwa beliau sendiri tidak suka berobat dengan jalan menggosok badan dengan besi panas. Hal ini memberi pengertian, bahwa kita harus mencari obat yang lain lebih dahulu dan berobat dengan gosokan besi panas adalah obat yang terakhir apabila tidak ada lagi obat-obat yang lain. Nabi tidak mau berobat dengan gosokan besi panas, sama dengan Nabi tidak mau memakan daging dhab, padahal beliau membiarkan orang lain memakannya.

Nabi menerangkan, bahwa demam panas adalah dari panasnya api neraka yang dikirimkan bagi yang bukan belian mencari kaffarat dosa. Maka sebagaimana panas api dihilangkan dengan air, begitu jugalah panas demam dihilangkan dengan air (Ash Shiddieqy, 2003: 409).

Dapat ditambahkan bahwa Al-Quran menegaskan bahwa “*Barang siapa yang menghidupkan seseorang, maka dia bagaikan menghidupkan manusia semuanya...*” (QS. Al-Maidah [5]: 32). “*Menghidupkan*” disini bukan saja berarti “*memelihara kehidupan*”, tetapi juga dapat mencakup upaya “*mempertpanjang harapan hidup*” dengan cara apapun yang tidak melanggar hukum.

Demikian satu contoh, bagaimana ayat-ayat Al-Quran dipahami dalam konteks peristiwa paling mutakhir dalam bidang kesehatan.

Namun, dalam ajaran Islam juga ditekankan bahwa obat dan upaya hanyalah “sebab”, sedangkan penyebab sesungguhnya di balik sebab atau upaya itu adalah Allah SWT, seperti ucapan Nabi Ibrahim a.s. yang diabadikan Al-Quran dalam surat Al-Syu’ara’ [26]: 80.

وَإِذَا مَرَضْتُ فَهُوَ يَشْفِينِ

Artinya: “*Apabila aku sakit, Dialah (Allah) yang menyembuhkan aku*”
(Shihab, 2007: 249)

2.7.2 Kesehatan Mental

Nabi SAW juga mengisyaratkan bahwa ada keluhan fisik yang terjadi karena gangguan mental. Seseorang datang mengeluhkan penyakit perut yang

diderita saudaranya setelah diberi obat berkali-kali, tetapi tidak kunjung sembuh dinyatakan oleh Nabi SAW, bahwa “*Perut saudaramu berbohong*” (HR Bukhari).

Al-Quran Al-Karim memang banyak berbicara tentang penyakit jiwa. Mereka yang lemah iman dinilai oleh Al-Quran sebagai orang yang memiliki penyakit di dalam dadanya. Dari hadis-hadis Nabi diperoleh petunjuk bahwa sebagian kompleks kejiwaan tercipta pada saat janin masih berada di perut ibu, atau bahkan pada saat hubungan seks (pertemuan sperma dan ovum), demikian juga ketika masih bayi dalam buaian.

Penyaki-penyakit kejiwaan pun beraneka ragam dan bertingkat-tingkat. Sikap angkuh, benci, dendam, fanatisme, loba dan kikir yang antara lain disebabkan bentuk keberlebihan seseorang. Sedangkan rasa takut, cemas, pesimisme, rendah diri dan lain-lain adalah kekurangannya.

Yang akan memperoleh keberuntungan di hari kemudian adalah mereka yang terbebas dari penyakit-penyakit tersebut, seperti bunyi firman Allah dalam surat Al-Syu'ara' [26]: 88-89:

يَوْمَ لَا يَنْفَعُ مَالٌ وَلَا بَنُونَ ﴿٨٨﴾ إِلَّا مَنْ أَتَى اللَّهَ بِقَلْبٍ سَلِيمٍ ﴿٨٩﴾

Artinya: ”Pada hari (akhirat) harta dan anak-anak tidak berguna, (tetapi yang berguna tiada lain) kecuali yang datang kepada Allah dengan hati yang sehat”.

Islam mendorong manusia agar memiliki kalbu yang sehat dari segala macam penyakit dengan jalan bertaubat, dan mendekatkan diri kepada Tuhan, karena:

الَّذِينَ ءَامَنُوا وَتَطْمَئِنُّ قُلُوبُهُمْ بِذِكْرِ اللَّهِ أَلَا بِذِكْرِ اللَّهِ تَطْمَئِنُّ الْقُلُوبُ ﴿٢٨﴾

Artinya: " Sesungguhnya dengan mengingat Allah, jiwa akan memperoleh ketenangan" (QS. Al-Ra'd [13]: 28) (Shihab, 2007: 251).

Allah SWT dan RosulNya SAW senantiasa menekankan umat manusia (terutama kaum muslimin) agar selalu memperhatikan semua fitrah yang telah dianugerahkan Allah SWT kepadanya, agar manusia dapat memelihara kesehatan tubuh dan mempertahankan kehidupannya, seperti yang telah dinyatakan Allah SWT dalam firmanNya QS. Al-Qoshosh: 77, yaitu manusia membutuhkan makanan, minuman, pakaian, tempat tinggal dan pernikahan.

Allah SWT memelihara kesehatan tubuh manusia dengan menciptakan bahan-bahan makanan di bumi dan menghalalkan serta memerintahkan manusia untuk mendapatkan dan menggunakannya dengan cara yang baik dan tidak berlebih-lebihan, seperti yang dinyatakan dalam beberapa firmanNya:

يٰۤاَيُّهَا الَّذِيْنَ ءَامَنُوْا كُلُوْا مِنْ طَيِّبٰتِ مَا رَزَقْنٰكُمْ وَاَشْكُرُوْا لِلّٰهِ اِنْ كُنْتُمْ اِيَّاہُ

تَعْبُدُوْنَ ﴿١٧٢﴾

Artinya: "Hai orang-orang yang beriman, makanlah diantara rezeki yang baik-baik, yang Kami berikan kepadamu dan bersyukurlah kepada Allah, jika benar-benar hanya kepada Allah kamu menyembah" (QS. Al-Baqoroh [2]: 172)

Nabi Muhammad juga menunjukkan fitrah-fitrah lainnya yang harus dipelihara manusia untuk memelihara kesehatan tubuhnya, diantaranya seperti yang dinyatakan dalam beberapa sabda Beliau SAW (yang artinya):

"Sepuluh hal (perangai) yang termasuk fitrah (kesucian) adalah : berkhitan, mencukur kumis, membiarkan jenggot, siwak, istinsyaq (memasukkan air ke dalam hidung), memotong kuku, mencuci celah-celah jemari tangan dan

kaki, mencabut bulu ketiak, mencukur rambut kemaluan, dan istinja (cebok)” (Hendrik, 2007: 33-35).

Nabi Muhammad SAW adalah orang yang paling menginginkan kebaikan dan sangat sayang kepada umatnya. Beliau tidak pernah meninggalkan satu kebaikanpun kecuali telah beliau tunjukkan kepada umatnya, dan tidak membiarkan satu kejelekanpun kecuali telah beliau peringatkan dan larang kepada umatnya. Beliau SAW menganjurkan kepada umatnya sesuatu hal yang dapat menjaga kesehatan dan mencegah hal-hal yang dapat menimbulkan penyakit pada badan dan ruh mereka. Nabi Muhammad SAW juga memperingatkan dan melarang umatnya dari segala hal yang dapat membahayakannya dan memerintahkan umatnya untuk menghindari segala mudharat yang akan senantiasa mengenainya.

Beberapa firman Allah SWT dan hadis Nabi Muhammad SAW yang menjelaskan dan menunjukkan mengenai pentingnya menjaga kesehatan tubuh agar selalu optimis adalah:

Firman-firman Allah dalam Al Quran:

فَمَنْ كَانَ مِنْكُمْ مَّرِيضًا أَوْ عَلَىٰ سَفَرٍ فَعِدَّةٌ مِّنْ أَيَّامٍ أُخَرَ ﴿١٨٤﴾

Artinya: ... Maka jika diantara kamu ada yang sakit atau dalam perjalanan (lalu ia berbuka), maka (wajiblah baginya berpuasa) sebanyak hari yang ditinggalkan itu pada hari-hari yang lain... (QS. Al-Baqoroh [2]: 184).

وَإِنْ كُنْتُمْ مَّرْضَىٰ أَوْ عَلَىٰ سَفَرٍ أَوْ جَاءَ أَحَدٌ مِّنْكُمْ مِنَ الْغَايِبِ أَوْ لَمَسْتُمُ النِّسَاءَ فَلَمْ

تَجِدُوا مَاءً فَتَيَمَّمُوا صَعِيدًا طَيِّبًا ﴿١٨٥﴾

Artinya: ... dan jika kamu sakit atau sedang dalam perjalanan (safar) atau kembali dari tempat buang air atau kamu telah menyentuh perempuan, kemudian kamu tidak mendapatkan air, maka bertayamumlah kamu dengan tanah yang baik (suci) (QS. An Nisaa' [4]: 43).

Sabda-sabda Nabi Muhammad SAW (yang artinya):

“Sesungguhnya Allah Ta’ala membebaskan separuh sholat dan puasa bagi musafir, dan (membebaskan) puasa bagi wanita yang menyusui dan wanita yang hamil...”

“... Dan Rosulullah tidak memerintahkan untuk menggodlo sholat selama masa nifas (selama 40 malam)”

Jadi penjelasan dari beberapa ayat dan hadis tersebut adalah Allah dan RosulNya memperhatikan kesehatan tubuh manusia dengan memberi beberapa keringanan (rukhsah) dan petunjuk kepada manusia yang sedang dalam keadaan lemah dan kesusahan untuk beribadah kepadaNya, agar manusia selalu memelihara kesehatan dan memperkuat kondisi tubuhnya (Hendrik, 2007: 40-42).

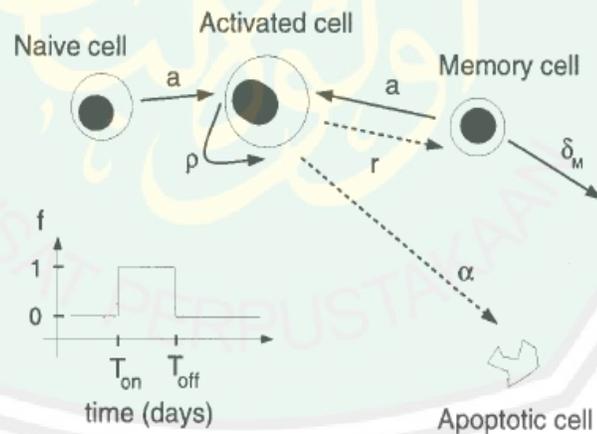
BAB III

PEMBAHASAN

3.1 Analisis Pembentukan Model Matematika pada Sistem Imun dengan LCMV

LCMV (*Lymphocytic Choriomeningitis Virus*) merupakan suatu virus yang menyebabkan infeksi peradangan, gejala yang ditimbulkan apabila terinfeksi LCMV adalah demam, nyeri otot, kelelahan dan masalah pada gastrointestinal. LCMV ini dibawa oleh binatang pengerat seperti tikus, tupai dan hamster. Pada binatang pengerat liar pasti akan ditemukan LCMV ini.

Binatang pengerat dapat menyebarkan virus LCMV melalui kontak langsung, air liur, air seni, tinja, dan darah.



Bagan model dasar tersebut menggambarkan aktivasi sel dari sel naive berubah ke sel aktif, dimana kondisi pada sel aktif ini belum mengenal lawan (penyakit), setelah sel ini mengenal lawan maka sel ini berubah menjadi sel memori, dan apabila sel memori tersebut mengalami kekalahan terhadap penyakit,

sel tersebut akan mati atau disebut apoptosis. Langkah fungsi $f(t)$ pada model ini, kami menganggap bahwa semua sel-sel T naive diaktifkan ketika peningkatan jumlah dimulai pada T_{on} . Pada model kedua fungsi langkah $f(t)$ adalah diganti oleh fungsi selanjutnya, $0 < f(t) < 1$, yang kemudian diikuti perubahan pada muatan virus.

Keterangan: Garis padat: Menunjukkan proses yang secara positif dipengaruhi oleh fungsi aktif. Garis putus-putus: Menunjukkan proses yang dipengaruhi oleh antigen.

Kemudian menaksir stimulasi antigenik dari Sel-sel T CD8⁺ dengan menggunakan fungsi $f(t)$, yang membutuhkan hanya dua nilai, yaitu 0 ketika tidak ada aktivasi, dan 1 pada saat ada aktivasi penuh. Stimulasi antigenik berubah “on” pada waktu T_{on} dan “off” pada waktu T_{off} , dengan menggunakan fungsi aktivasi f .

$$f(t) = \begin{cases} 0 & \text{jika } t < T_{on} \\ 1 & \text{jika } T_{on} \leq t < T_{of} \\ 0 & \text{jika } t \geq T_{of} \end{cases}$$

Parameter-parameter T_{on} dan T_{off} adalah waktu antara yang mana konsentrasi virus dianggap cukup besar untuk memperbolehkan peningkatan jumlah sel-T maksimal. Parameter T_{on} akan ditunjukkan sebagai penambahan waktu. Pada model ini, yang disebut dengan model on-off atau model dasar, penulis mengesampingkan sub-populasi naive dan menganggap bahwa antara waktu 0 dan waktu T_{on} , semua antigen-tertentu naive sel-sel T CD8⁺ menjadi aktif.

Dalam pembahasan ini, penulis mengkhususkan pada kemungkinan mekanisme proses sistem imun menanggapi LCMV secara spesifik. Imunitas ini

ditengahi oleh sekelompok limfosit yang berdiferensiasi dibawah pengaruh timus.

Kemudian digunakan parameter-parameter berikut (Rob J. De Boer dkk, 2001:22)

No.	Simbol	Parameter	Satuan	Uji	
1.	A	sel-sel aktif			
2.	M	sel-sel memori			
3.	$f(t)$	fungsi	$t < T_{on}$ dan	0	
		aktifasi	$t \geq T_{off}$		
			$T_{on} \leq 1 < T_{off}$	1	
4.	ρ	laju perkembangan	perhari	2,9	
5.	α	laju apoptosis	perhari	0,51	
6.	r	sel memori formatif	perhari	0,011	
7.	a_{NP118}	aktifasi sel NP118	hari	1,1	
	a_{GP283}	aktifasi sel GP283	hari	5,5	
8.	T	T_{on}	waktu pengerahan on	hari	1,2
		T_{off}	waktu pengerahan off	hari	5,8
9.	δ_M	nilai yang ditentukan	perhari	10^{-5}	

Pada model dasar on-off ini, dinamika dari respon sel-T CD8⁺ diberikan oleh persamaan berikut ini:

Saat $t < T_{on}$ tidak akan ada stimulasi antigenic, dan $M(t) = 0$. Sel-sel naive menjadi aktif selama interval waktu ini, berdasarkan pada dinamika-dinamika tak menentu, jadi pada T_{on} , semua naive penting menjadi sel-sel aktif.

Untuk $T_{on} \leq t < T_{off}$, misalnya $f(t) = 1$, sel-sel memori masih tidak ada dan sel-sel aktif meluas pada perbandingan ρ , jadi solusinya menggunakan

$$A(t) = A(0) \exp[\rho(t - T_{on})], M(t) = 0 \quad (1)$$

Artinya, jumlah sel-sel aktif pada saat sel-sel memori sama dengan 0 adalah sel-sel aktif pada saat $t = 0$ pangkat laju waktu perkembangan dikurangi laju waktu pengerahan on.

Mengikuti puncaknya, misalnya, untuk $t \geq T_{off}$, $f(t) = 0$ dan selanjutnya populasi-populasi sel menggunakan model linear berikut:

$$\frac{dA}{dt} = -(\alpha + r)A \quad (2)$$

$$\frac{dM}{dt} = rA - \delta_M M \quad (3)$$

Artinya, faktor yang mempengaruhi perubahan jumlah populasi sel-sel aktif terhadap waktu adalah negatif laju apoptosis sel-sel aktif dikurangi sel memori formatif dari sel-sel aktif. Dan faktor yang mempengaruhi perubahan jumlah populasi sel-sel memori terhadap waktu adalah sel memori formatif dari sel-sel aktif dikurangi parameter yang ditentukan perhari 10^{-5} dari sel-sel memori.

Dengan solusi

$$A(t) = A(T_{off}) \exp[-(r + \alpha)(t - T_{off})] \quad (4)$$

$$M(t) = \frac{r}{r + \alpha - \delta_M} \{A(T_{off}) \exp[-\delta_M (t - T_{off})] - A(t)\} \quad (5)$$

Artinya, faktor yang mempengaruhi perubahan jumlah sel-sel aktif terhadap perubahan waktu adalah jumlah sel-sel aktif pada saat pengerahan off pangkat negatif jumlah sel memori formatif terhadap waktu ditambah jumlah sel memori

formatif terhadap waktu pengerahan off dikurangi laju apoptosis terhadap waktu ditambah laju apoptosis terhadap waktu pengerahan off. Dan faktor yang mempengaruhi perubahan jumlah sel-sel memori terhadap perubahan waktu adalah jumlah sel memori formatif dibagi jumlah sel memori formatif dengan laju apoptosis yang dikurangi oleh parameter yang ditentukan per harinya yang bernilai 10^{-5} , kemudian dikali dengan jumlah sel-sel aktif terhadap waktu pengerahan off pangkat negatif parameter yang ditentukan perhari terhadap waktu ditambah parameter yang ditentukan perhari terhadap waktu pengerahan off dikurangi jumlah sel-sel aktif terhadap waktu. Saat jumlah sel-sel aktif terhadap waktu pengerahan off dipengaruhi saat sel-sel aktif pada waktu sama dengan 0 pangkat laju perkembangan pada waktu pengerahan off dikurangi laju perkembangan pada waktu pengerahan on.

$$A(T_{off}) = A(0) \exp[\rho(T_{off} - T_{on})].$$

Sehingga diperoleh persamaan yang berbeda sebagai berikut:

$$\frac{dA}{dt} = f(t)(aM + \rho A) - [1 - f(t)](r + \alpha) A \quad (1)$$

$$\frac{dM}{dt} = r[1 - f(t)]A - af(t)M - \delta_M M \quad (2)$$

Persamaan pertama menunjukkan bahwa faktor yang mempengaruhi perubahan jumlah populasi sel-sel aktif terhadap waktu adalah fungsi aktivasi (waktu pengerahan) terhadap aktivasi dan sel-sel memori ditambah rata-rata perkembangan sel terhadap sel-sel aktif dikurangi sel memori formatif terhadap sel sel-sel aktif dikurangi laju apoptosis terhadap sel-sel aktif ditambah fungsi

aktifasi terhadap sel memori formatif dan sel-sel memori ditambah fungsi aktifasi terhadap laju apoptosis dan sel-sel aktif.

Persamaan kedua menunjukkan bahwa faktor yang mempengaruhi perubahan jumlah populasi sel-sel memori terhadap waktu adalah sel memori formatif terhadap sel-sel aktif dikurangi sel memori formatif terhadap fungsi aktifasi sel-sel aktif dikurangi aktifasi sel terhadap fungsi dan sel-sel memori dikurangi parameter yang ditentukan terhadap sel-sel memori.

3.2 Analisis Model Matematika

Berdasarkan persamaan yang terbentuk pada sistem imun dengan LCMV yang terdiri dari 2 persamaan yang berbeda, yakni:

$$\frac{dA}{dt} = f(t)(aM + \rho A) - [1 - f(t)](r + \alpha)A \quad (1)$$

$$\frac{dM}{dt} = r[1 - f(t)]A - af(t)M - \delta_M M \quad (2)$$

3.2.1 Sel-T CD8⁺ pada epitop NP118

Pada epitop NP 118 mempunyai nilai aktifasi sel atau $a = 1,1$

1. Jika $t < T_{on}$ dan $t \geq T_{off}$, maka $f(t) = 0$

Sehingga sistem diferensialnya menjadi

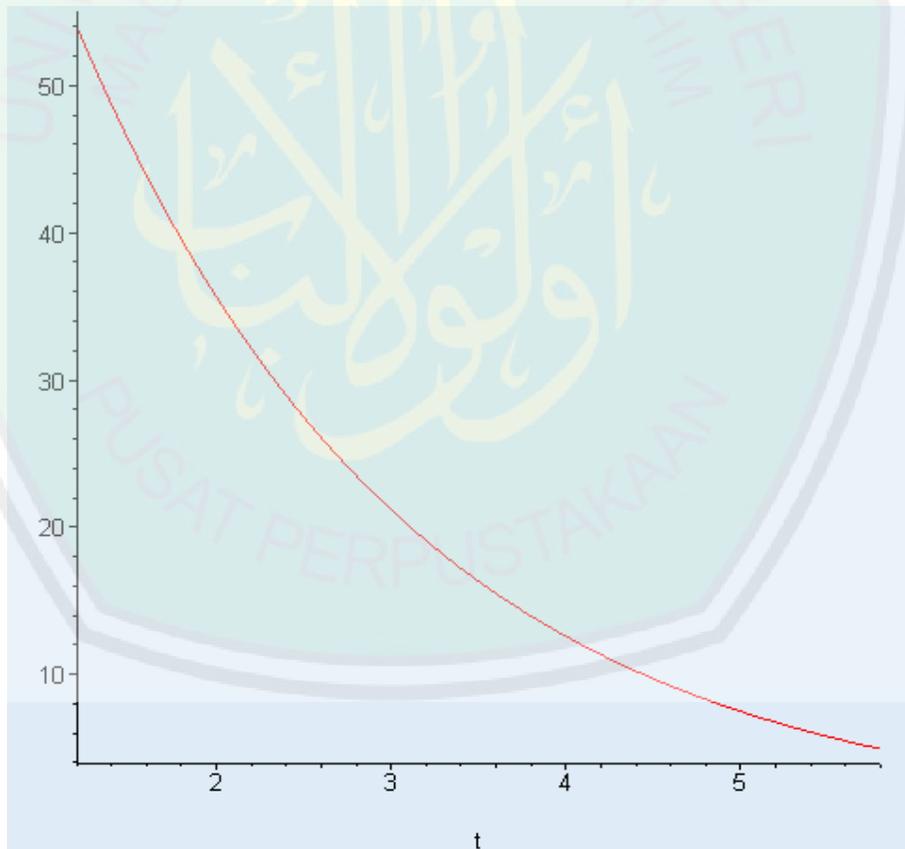
$$\begin{aligned} \frac{dA}{dt} &= 0(1,1M + 2,9A) - [1 - 0](0,011 + 0,51)A \\ &= -(0,011 + 0,51)A \\ &= -0,011A - 0,51A \\ &= -0,521A \end{aligned}$$

Artinya, bahwa perubahan jumlah populasi sel-sel aktif pada epitop NP118 terhadap waktu akan berkurang 0,521 sel-sel aktif, disaat waktu kurang dari waktu pengerahan on dan lebih besar atau sama dengan waktu pengerahan off.

Dengan menggunakan program maple diperoleh hasil:

Misal: $A = x$ dan $M = y$, maka

$$x(t) = \frac{60 e^{\left(-\frac{521 t}{1000}\right)}}{e^{\left(\frac{-521}{1000}\right)}}$$



Gambar 1. Grafik perubahan jumlah populasi sel-sel aktif terhadap waktu dengan $f(t) = 0$ pada epitop NP 118

Grafik tersebut menunjukkan bahwa perubahan jumlah populasi sel-sel aktif pada epitop NP 118 saat $t < T_{on}$ dan $t \geq T_{off}$ akan semakin turun. Hal ini menunjukkan bahwa sel-sel aktif pada sistem kekebalan tubuh semakin menurun bila terus dibiarkan karena perubahan waktu yang semakin lama akan mengakibatkan LCMV akan terus menyebar di dalam tubuh manusia yang dapat mengakibatkan sel-sel aktif dalam tubuh akan bernilai 0 atau tidak adanya lagi sel-sel aktif di dalam tubuh,

dan

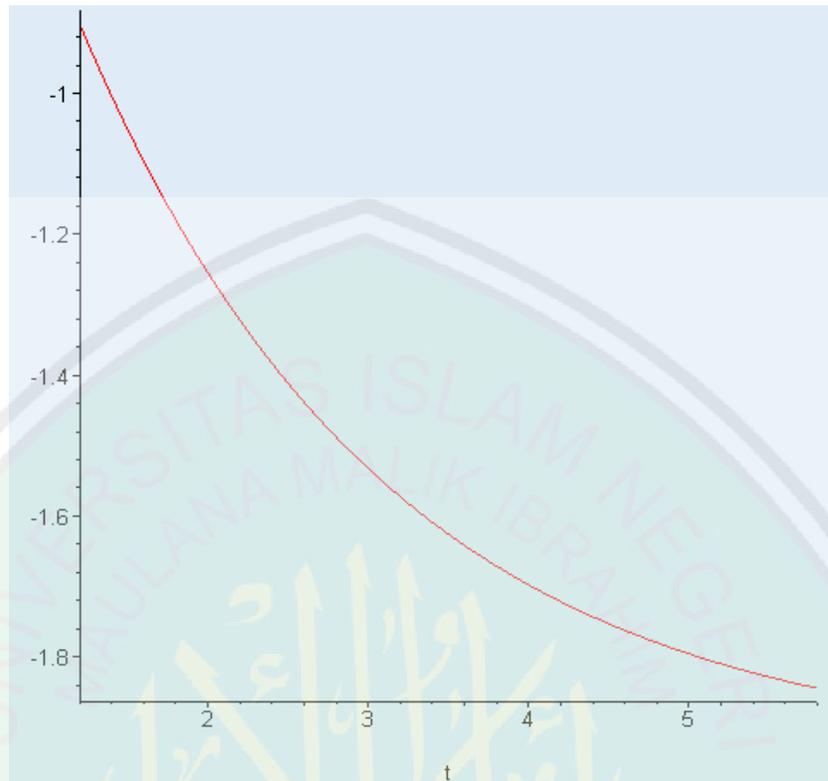
$$\begin{aligned}\frac{dM}{dt} &= 0,011[1-0]A - 1,1(0)M - 10^{-5}M \\ &= 0,011A - 10^{-5}M\end{aligned}$$

Artinya, bahwa perubahan jumlah populasi sel-sel memori pada epitop NP118 terhadap waktu akan berkurang $0,011 \cdot 10^{-5}$ sel-sel memori, disaat waktu kurang dari waktu pengerahan on dan lebih besar atau sama dengan waktu pengerahan off.

Dengan menggunakan program maple diperoleh hasil:

Misal: $A = x$ dan $M = y$, maka

$$y(t) = \frac{60000}{52099} \frac{e^{\left(\frac{-521}{1000}t\right)}}{e^{\left(\frac{-521}{1000}t\right)}} - \frac{60000}{52099} \frac{e^{\left(-\frac{t}{100000}\right)}}{e^{\left(\frac{-521}{1000}t\right)}}$$



Gambar 2. Grafik perubahan jumlah populasi sel-sel memori terhadap waktu dengan $f(t) = 0$ pada epitop NP 118

Grafik tersebut menunjukkan bahwa perubahan jumlah populasi sel-sel memori pada epitop NP 118 saat $t < T_{on}$ dan $t \geq T_{off}$ akan semakin turun. Hal ini menunjukkan bahwa sel-sel memori pada sistem kekebalan tubuh semakin menurun bila terus dibiarkan karena perubahan waktu yang semakin lama akan mengakibatkan LCMV akan terus menyebar di dalam tubuh manusia yang dapat mengakibatkan sel-sel memori dalam tubuh akan bernilai 0 atau tidak adanya lagi sel-sel memori di dalam tubuh.

2. Jika $T_{on} \leq 1 < T_{off}$, maka $f(t) = 1$

Sehingga sistem persamaannya menjadi

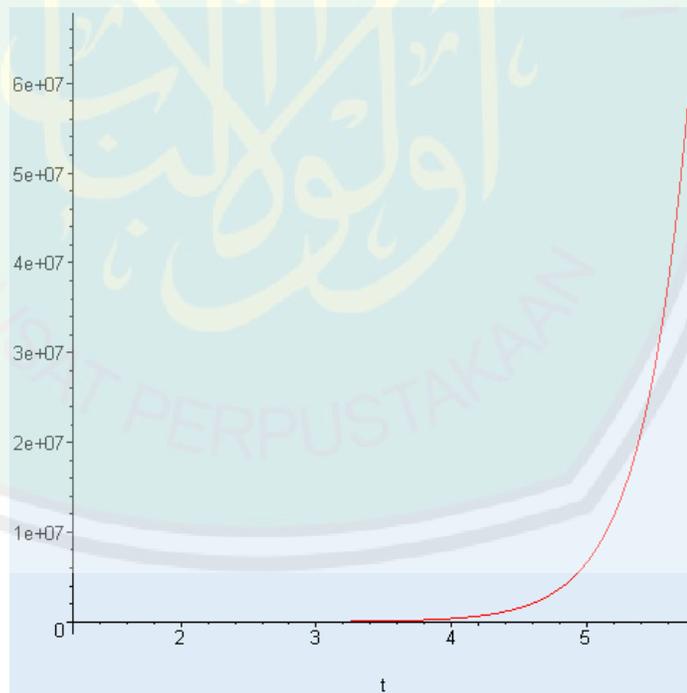
$$\begin{aligned}\frac{dA}{dt} &= 1(1,1M + 2,9A) - [1-1](0,011 + 0,51)A \\ &= 1,1M + 2,9A\end{aligned}$$

Artinya, bahwa perubahan jumlah populasi sel-sel aktif pada epitop NP118 terhadap waktu akan bertambah 1,1 sel-sel aktif dan 2,9 sel-sel memori, disaat waktu pengerahan on kurang dari sama dengan 1 dan waktu pengerahan off lebih besar dari 1.

Dengan menggunakan program maple diperoleh hasil:

Misal: $A = x$ dan $M = y$, maka

$$x(t) = \frac{60 e^{\left(\frac{29t}{10}\right)}}{e^{\left(\frac{29}{10}\right)}}$$



Gambar 3. Grafik perubahan jumlah populasi sel-sel aktif terhadap waktu dengan $f(t) = 1$ pada epitop NP 118

Grafik tersebut menunjukkan bahwa perubahan jumlah populasi sel-sel aktif pada epitop NP 118 saat $T_{on} \leq 1 < T_{off}$ akan semakin meningkat. Saat $t = 0$ sampai $t = 4$ laju perkembangan populasi sel-sel aktif sangat lambat, akan tetapi saat $t = 5$ sel-sel aktif berkembang sangat pesat. Hal ini menunjukkan bahwa sel-sel aktif pada sistem kekebalan tubuh semakin meningkat karena perubahan waktu yang semakin lama akan mengakibatkan sel-sel aktif terus berkembang untuk melawan LCMV yang menyebar di dalam tubuh manusia,

dan

$$\begin{aligned}\frac{dM}{dt} &= 0,011[1-1]A - 1,1(1)M - 10^{-5}M \\ &= -1,1M - 10^{-5}M \\ &= -1,10001M\end{aligned}$$

Artinya, bahwa perubahan jumlah populasi sel-sel memori pada epitop NP118 terhadap waktu akan berkurang 1,10001 sel-sel memori, disaat waktu pengerahan on kurang dari sama dengan 1 dan waktu pengerahan off lebih besar dari 1.

Dengan menggunakan program maple diperoleh hasil:

Misal: $A = x$ dan $M = y$, maka

$$y(t) = 0$$

Hal ini menunjukkan bahwa perubahan jumlah populasi sel-sel memori pada epitop NP 118 saat $T_{on} \leq 1 < T_{off}$ adalah 0.

3.2.2 Sel-T CD 8⁺ pada epitop GP283

Pada epitop GP283 mempunyai nilai aktivasi sel atau $a = 5,5$

1. Jika $t < T_{on}$ dan $t \geq T_{off}$, maka $f(t) = 0$

Sehingga sistem diferensialnya menjadi

$$\begin{aligned}\frac{dA}{dt} &= 0(5,5M + 2,9A) - [1 - 0](0,011 + 0,51)A \\ &= -(0,011 + 0,51)A \\ &= -0,011A - 0,51A \\ &= -0,521A\end{aligned}$$

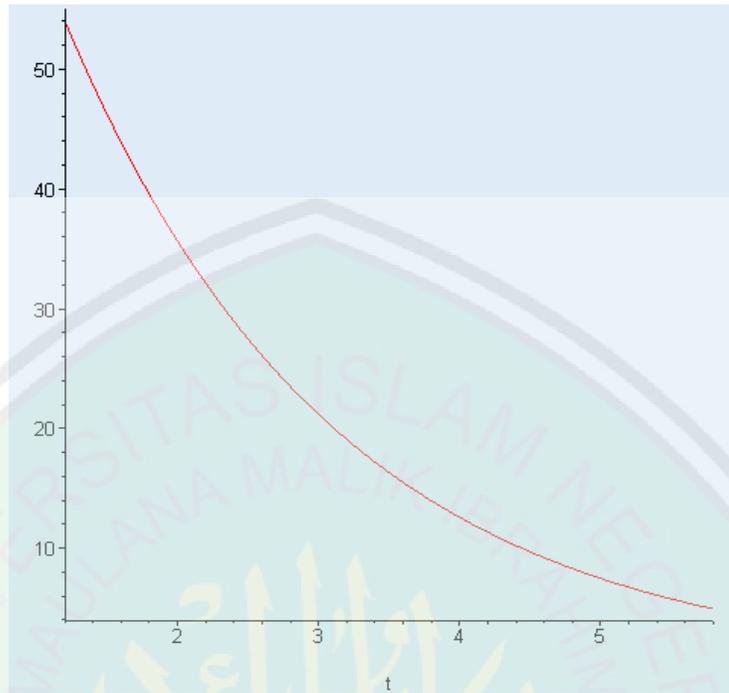
Artinya, bahwa perubahan jumlah populasi sel-sel aktif pada epitop NP118 terhadap waktu akan bertambah 1,1 sel-sel aktif dan 2,9 sel-sel memori, disaat waktu pengerahan on kurang dari sama dengan 1 dan waktu pengerahan off lebih besar dari 1.

Dengan menggunakan program maple diperoleh hasil:

Misal: $A = x$ dan $M = y$, maka

Diperoleh hasil yang sama dengan epitop NP118, sehingga solusinya

$$x(t) = \frac{60 e^{\left(-\frac{521 t}{1000}\right)}}{e^{\left(\frac{-521}{1000}\right)}}$$



Gambar 5. Grafik perubahan jumlah populasi sel-sel aktif terhadap waktu dengan $f(t) = 0$ pada epitop GP283

Grafik tersebut menunjukkan bahwa perubahan jumlah populasi sel-sel aktif pada epitop GP283 saat $t < T_{on}$ dan $t \geq T_{off}$ akan semakin menurun. Hal ini menunjukkan bahwa sel-sel aktif pada sistem kekebalan tubuh semakin menurun bila terus dibiarkan karena perubahan waktu yang semakin lama akan mengakibatkan LCMV akan terus menyebar di dalam tubuh manusia yang dapat mengakibatkan sel-sel aktif dalam tubuh akan bernilai 0 atau tidak adanya lagi sel-sel aktif di dalam tubuh.

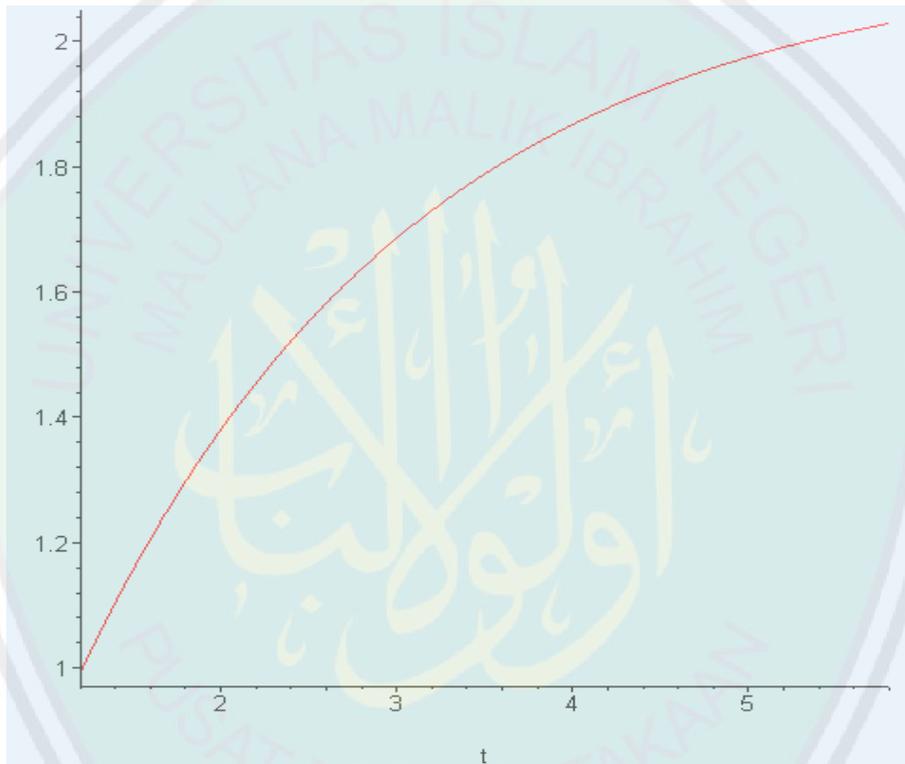
dan

$$\begin{aligned} \frac{dM}{dt} &= 0,011[1-0]A - 5,5(0)M - 10^{-5}M \\ &= 0,011A - 10^{-5}M \end{aligned}$$

Dengan menggunakan program maple diperoleh hasil:

Misal: $A = x$ dan $M = y$, maka

$$y(t) = \frac{66000}{52099} e^{\left(-\frac{521t}{1000}\right)} + \frac{66000}{52099} e^{\left(-\frac{t}{100000}\right)}$$



Gambar 6. Grafik perubahan jumlah populasi sel-sel memori terhadap waktu dengan $f(t) = 0$ pada epitop GP28 3

Grafik tersebut menunjukkan bahwa perubahan jumlah populasi sel-sel memori pada epitop GP283 saat $t < T_{on}$ dan $t \geq T_{off}$ akan semakin meningkat. Saat $t = 1$, perubahan jumlah populasi sel-sel memori mulai terlihat. Hal ini menunjukkan bahwa sel-sel memori pada sistem kekebalan tubuh semakin meningkat karena

perubahan waktu yang semakin lama akan mengakibatkan sel-sel memori terus berkembang untuk melawan LCMV yang menyebar di dalam tubuh manusia

2. Jika $T_{on} \leq 1 < T_{off}$, maka $f(t) = 1$

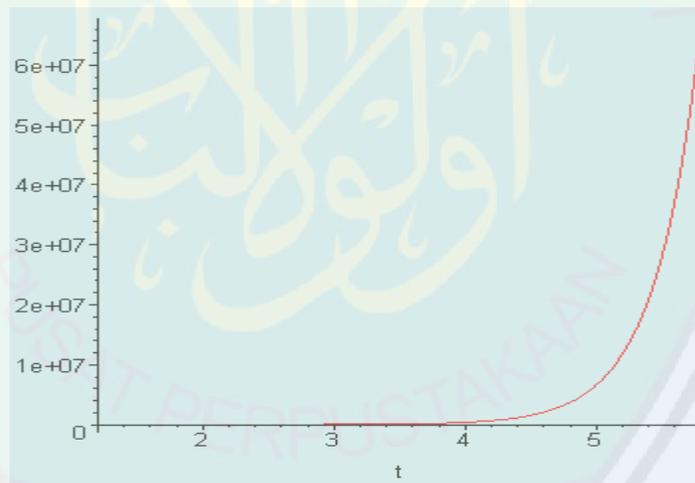
Sehingga sistem persamaannya menjadi

$$\begin{aligned}\frac{dA}{dt} &= 1(5,5M + 2,9A) - [1 - 1](0,011 + 0,51)A \\ &= 5,5M + 2,9A\end{aligned}$$

Dengan menggunakan program maple diperoleh hasil:

Misal: $A = x$ dan $M = y$, maka

$$x(t) = \frac{60 e^{\left(\frac{29t}{10}\right)}}{e^{\left(\frac{29}{10}\right)}}$$



Gambar 7. Grafik perubahan jumlah populasi sel-sel aktif terhadap waktu dengan $f(t) = 1$ pada epitop GP283

Grafik tersebut menunjukkan bahwa perubahan jumlah populasi sel-sel aktif pada epitop GP283 saat $T_{on} \leq 1 < T_{off}$ akan semakin meningkat. Saat $t = 0$ sampai $t = 4$ laju perkembangan populasi sel-sel aktif sangat lambat, akan tetapi saat $t = 5$ sel-sel aktif berkembang sangat pesat. Hal ini menunjukkan bahwa sel-sel aktif

pada sistem kekebalan tubuh semakin meningkat karena perubahan waktu yang semakin lama akan mengakibatkan sel-sel aktif terus berkembang untuk melawan LCMV yang menyebar di dalam tubuh manusia,

dan

$$\begin{aligned}\frac{dM}{dt} &= 0,011[1-1]A - 5,5(1)M - 10^{-5}M \\ &= 5,5M - 10^{-5}M \\ &= -5,50001M\end{aligned}$$

Dengan menggunakan program maple diperoleh hasil:

Misal: $A = x$ dan $M = y$, maka

$$y(t) = 0$$

Hal ini menunjukkan bahwa perubahan jumlah populasi sel-sel memori pada epitop GP283 saat $T_{on} \leq 1 < T_{off} = 0$

3.3 Sistem Imun, LCMV dan Pemodelan Matematika dalam Prospektif Islam.

Sistem imun (kekebalan tubuh) merupakan hal yang sangat penting bagi tubuh, sehingga sangat perlu kita jaga. Allah menciptakan manusia memang dengan bentuk yang sangat sempurna. Sebagaimana firman-Nya Allah dalam surat At-Tin ayat 4 yang telah disebutkan pada bab I.

Allah bersumpah bahwa Dia telah menciptakan manusia dalam sebaik-baik bentuk. Kalimat yang menjadi sumpah ini ditegaskan dengan tiga bentuk penegasan: Sumpah, huruf *laam* dan *qad*. Allah bersumpah bahwa Dia telah menciptakan manusia “*dalam bentuk yang paling baik,*” yakni dalam keadaan dan rupa yang paling baik secara fitrah. Karena kenyataannya tidak ada makhluk yang

lebih baik bentuknya dari pada bani Adam. Seluruh makhluk yang ada di bumi keelokannya jauh dibawah keelokan bani Adam Karena Allah telah berfirman:

“Sesungguhnya kami Telah menciptakan manusia dalam bentuk yang sebaik-baiknya” (QS. At-tin [95]: 4) (Al Utsaimin: 468).]

Suatu pengaruh sistem imun dalam tubuh terhadap suatu virus, termasuk LCMV dapat dibentuk (dimodelkan) secara matematika sebagai berikut:

$$\frac{dA}{dt} = f(t)(aM + \rho A) - [1 - f(t)](r + \alpha) A \quad (1)$$

$$\frac{dM}{dt} = r[1 - f(t)]A - af(t)M - \delta_M M \quad (2)$$

dimana keterangannya sudah dijelaskan di subbab 3.1.

Dengan adanya sistem imun ini, kita akan terjaga dari berbagai macam penyakit yang menyerang tubuh kita. Persamaan di atas menggambarkan faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi banyaknya sel-sel aktif dan sel-sel memori dalam sistem imun dan faktor-faktor yang mempengaruhi rusaknya sistem imun dalam tubuh.

Islam meletakkan suatu kaidah kesehatan yang sangat penting untuk mengantisipasi penyakit menular, seperti kolera, tha'un, sopak dan juga LCMV.

Kaidah ini bersumber dari sabda Rasulullah SAW:

“Apabila kamu mendengar terjadinya suatu wabah (penyakit) pada suatu daerah, maka janganlah kamu memasukinya, dan apabila disuatu daerah berjangkit itu, sedangkan kamu berada di dalamnya, maka janganlah lari meninggalkannya” (Al Fanjari, 2005: 40).

Rosulullah SAW, melarang mengeluh atau mengumpat terhadap suatu penyakit yang menimpa sekalipun dalam keadaan marah. Mengumpat bukan

akhlak seorang muslim, apalagi ia tidak akan membantu menyembuhkannya.

Dalam hal ini Rasulullah SAW. Bersabda:

“Janganlah kamu mencaci-maki suatu penyakit, sesungguhnya ia menghilangkan kesalahan-kesalahan bani Adam sebagaimana tukang besi menghilangkan karatnya”.

Tawakkal adalah menjadikan Allah sebagai wakil, sehingga mengharuskan seseorang menyakini bahwa Allah yang mewujudkan segala sesuatu yang terjadi di alam raya, sebagaimana dia harus menjadikan kehendak dan tindakannya sejalan dengan kehendak dan ketentuan Allah SWT. Seorang muslim dituntut untuk berusaha sambil berdo'a dan setelah itu ia dituntut lagi untuk berserah diri kepada Allah. Sebagaimana firman Allah dalam surat Ar-Ra'd [13] ayat 11

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.”

Ayat di atas menjelaskan bahwa jika manusia ingin merubah nasibnya maka manusia harus berusaha merubah nasibnya sendiri tanpa terlepas dari berdo'a kepada Allah. Manusia dituntut melaksanakan kewajibannya kemudian menaati hasilnya sebagaimana kehendak dan ketetapan (qadla dan qadar) Allah. Dengan adanya qadla Allah, maka manusia dituntut untuk berikhtiyar agar dapat mendapatkan takdir sesuai yang direncanakan dan diakhiri dengan tawakkal kepada Allah.

BAB IV PENUTUP

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan pada bab III, maka dapat ditarik sebuah kesimpulan bahwa:

1. Model matematika pada sistem imun dengan LCMV membentuk sebuah sistem persamaan diferensial linier orde satu yang terdiri atas 2 persamaan yang berbeda, yaitu:

$$\frac{dA}{dt} = f(t)(aM + \rho A) - [1 - f(t)](r + \alpha)A$$

$$\frac{dM}{dt} = r[1 - f(t)]A - af(t)M - \delta_M M$$

Analisis model matematika dari 2 persamaan di atas adalah:

- Persamaan pertama menunjukkan bahwa faktor yang mempengaruhi perubahan jumlah populasi sel-sel aktif terhadap waktu adalah fungsi aktivasi (waktu pengerahan) terhadap aktivasi dan sel-sel memori ditambah rata-rata perkembangan sel terhadap sel-sel aktif dikurangi sel memori formatif terhadap sel-sel aktif dikurangi laju apoptosis terhadap sel-sel aktif ditambah fungsi aktivasi terhadap sel memori formatif dan sel-sel memori ditambah fungsi aktivasi terhadap laju apoptosis dan sel-sel aktif.
- Persamaan kedua menunjukkan bahwa faktor yang mempengaruhi perubahan jumlah populasi sel-sel memori terhadap waktu adalah sel memori formatif terhadap sel-sel aktif dikurangi sel memori formatif terhadap fungsi aktivasi sel-sel aktif dikurangi aktivasi sel terhadap fungsi dan sel-sel memori dikurangi parameter yang ditentukan terhadap sel-sel memori.

2. Pada Sel-T CD 8⁺ pada epitop NP118 yang mempunyai nilai aktivasi sel atau

$a = 1,1$ dengan $t < T_{on}$ dan $t \geq T_{off}$, diperoleh

$$x(t) = \frac{60 e^{\left(-\frac{521 t}{1000}\right)}}{e^{\left(\frac{-521}{1000}\right)}} \quad \text{dan} \quad y(t) = \frac{60000 e^{\left(-\frac{521 t}{1000}\right)}}{52099 e^{\left(\frac{-521}{1000}\right)}} - \frac{60000 e^{\left(-\frac{t}{100000}\right)}}{52099 e^{\left(\frac{-521}{1000}\right)}}$$

Pada Sel-T CD 8⁺ pada epitop NP118 yang mempunyai nilai aktivasi sel atau

$a = 1,1$ dengan $T_{on} \leq 1 < T_{off}$, diperoleh

$$x(t) = \frac{60 e^{\left(\frac{29 t}{10}\right)}}{e^{\left(\frac{29}{10}\right)}} \quad \text{dan} \quad y(t) = 0$$

Pada Sel-T CD 8⁺ pada epitop GP283 yang mempunyai nilai aktivasi sel atau

$a = 5,5$ dengan $t < T_{on}$ dan $t \geq T_{off}$, diperoleh

$$x(t) = \frac{60 e^{\left(-\frac{521 t}{1000}\right)}}{e^{\left(\frac{-521}{1000}\right)}} \quad \text{dan} \quad y(t) = \frac{66000 e^{\left(-\frac{521 t}{1000}\right)}}{52099 e^{\left(\frac{-521}{1000}\right)}} + \frac{66000 e^{\left(-\frac{t}{100000}\right)}}{52099 e^{\left(\frac{-521}{1000}\right)}}$$

Pada Sel-T CD 8⁺ pada epitop GP283 yang mempunyai nilai aktivasi sel atau a

$= 5,5$ dengan $T_{on} \leq 1 < T_{off}$, diperoleh

$$x(t) = \frac{60 e^{\left(\frac{29 t}{10}\right)}}{e^{\left(\frac{29}{10}\right)}} \quad \text{dan} \quad y(t) = 0$$

4.2 Saran

Pembahasan mengenai model matematika ini masih terbuka bagi peneliti lain untuk melanjutkan penelitian ini pada aplikasinya dan bisa juga mengadakan penelitian yang sejenis dengan jenis-jenis penyakit yang berbeda, misalnya demam berdarah, malaria, kanker, tumor, dan lain sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- Al Fanjari, Ahmad Syaumi. 2005. *Nilai Kesehatan dalam Syariat Islam*. Jakarta: Bumi Aksara.
- Al-Jauziyah, Ibnul Qayyim. 1994. *Sistem Kedokteran Nabi, Kesehatan dan Pengobatan Menurut Petunjuk Nabi Muhammad SAW*. Semarang: Dina Utama Semarang.
- Ash Shiddieqy, Teuku M. H. 2003. *Mutiara Hadits 6*. Semarang: Pustaka Rizki Putra.
- Baiduri. 2002. *Persamaan Diferensial dan Matematika Model*. Malang: UMM press.
- Baratawidjaya, Karnen Garna. 1988. *Imunologi Dasar*. Jakarta: UI.
- De, Boer Rob dkk. 2001. *Recruitment Times, Proliferation, and Apoptosis Rates during the CD8⁺ T-Cell Response to Lymphocytic Choriomeningitis Virus*. vol. 75, no. 22
- Finizio dan Ladas. 1988. *Persamaan Diferensial Biasa dengan Penerapan Modern*. Jakarta: Erlangga.
- Hendrik. 2007. *Habbatus Saauda' Tibbun Nabawy dalam Menangani Berbagai Penyakit dan Memelihara Kesehatan Tubuh*. Surakarta: Pustaka Al-Ummat.
- Kresno, Siti Boedina. 2003. *Imunologi: Diagnosis dan Prosedur Laboratorium*. Jakarta: UI.
- Kusumah, Yaya S. 1989. *Persamaan Diferensial*. Jakarta: Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Mardjono, Mahar & Shidarta, Priguna. 2006. *Neurologi Klinis Dasar*. Jakarta: Dian Rakyat.
- Pamuntjak dkk. 1990. *Persamaan Diferensial Biasa*. Bandung: ITB.
- Shihab, Quraish. 2007. *Wawasan Al Quran; Tafsir Tematik atas Pelpagai Persoalan Umat*. Bandung: Mizan

LAMPIRAN LAMPIRAN

Lampiran 1

Daftar Istilah

Antigen	= Suatu zat yang dapat menginduksi respon imun yang dapat dideteksi bila masuk ke dalam hewan.
Antibodi	= Zat yang dibentuk dalam darah untuk memusnahkan bakteri virus atau untuk melawan toksin yang dihasilkan oleh bakteri.
Apoptosis	= Kematian sel
Defisiensi	= Kekurangan suatu zat atau bahan aktif.
Diferensiasi	= Modifikasi struktural dan fungsional suatu sel tidak khusus menjadi sel khusus.
Denaturasi	= Membuat tidak alamiah.
Efektor	= Struktur tubuh yang digunakan organisme untuk beraksi, seperti otot dan kelenjar.
Epitop	= Faktor penentu antigenik.
Ekstraseluler	= Ada atau terjadi di luar sel.
Fagositosis	= Suatu proses penelanan partikel padat oleh sel.
Fagosit	= Suatu sel darah putih yang mampu menelan partikel asing.
Imunitas humoral	= Kekebalan yang terbentuk dalam cairan tubuh. Di dalam cairan itu terkandung antibodi yang dihasilkan oleh sel B.
Imunogen	= Antigen.
Imunoglobulin	= Glikoprotein yang terdiri atas rantai H dan L yang berfungsi sebagai antibodi.
Inflamatoris	= Tanggapan jaringan terhadap luka, bercirikan peningkatan aliran darah, naiknya suhu, akumulasi leukosit dan adanya rasa nyeri.
Patogen	= Kemampuan suatu penyebab infeksi untuk menimbulkan penyakit
Reaksi imun	= Terjadinya reaksi pengebalan tubuh kerana kemasukan benda asing (kuman penyakit, jaringan asing). Mula-mula makrofag memproses antigen dari benda asing itu, lalu diserahkan kepada sel B, sehingga sel ini tersensitisasi untuk respon imun. Sel ini akan bertransformasi menjadi plasmatisit, dan sel belakangan berpoliferasi membentuk klon yang semua menghasilkan antibodi khas untuk antigen dari benda asing semula. Antibodi dilepaskan dari membran sel

- dan dibawah darah dan getah bening ke seluruh tubuh dan jaringan yang terinfeksi.
- Sel = Suatu fungsi dan struktur organ hidup yang berasal dari sel yang telah ada.
- Sel B = Jenis limfosit yang dibentuk di bursa atau sumsum tulang dan yang dianggap berperan pada imunitas humoral.
- Sel T = Limfosit T, masa embrio berasal dari timus, bekerja merespon imun seluler dan menolong sel B tersentisasi respon imun jumor al.
- Sel T supresor = Anak perangkat limfosit T yang mengatur tanggapan kekebalan melalui kontrol negatif anak perangkat sel T yang lain.
- Timus = Suatu jaringan limfoid yang terletak di bagian atas jantung dan pembuluh-pembuluh besar.
- Virion = Satu butir virus yang lengkap memiliki selaput dan teras.
- Virus = Mikroorganisme yang tidak dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop biasa, hanya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop elektron, yang menyebabkan dan menularkan penyakit seperti cacar, influenza dan rabies.

Lampiran 2

Daftar Singkatan

LCMV	=	Lymphocytic Choriomeningitis Virus
CD4	=	Cluster of Differentiation 4.
CD8	=	Cluster of Differentiation 8.
CTL	=	Cytotoxic T Lymphocyte
WHO	=	World Health Organization.
Gp41	=	Glycoprotein 41.
NK	=	Natural Killer.
Th-1	=	T helper-1
IL-1	=	Interleukin 1
IL-2	=	Interleukin 2
IL-12	=	Interleukin 12
LFA1	=	Leucocyte Functional Antigen 1.



Lampiran 3.

Program Maple perubahan jumlah populasi sel-sel aktif dan sel-sel memori terhadap waktu dengan $f(t)=0$ pada epitop NP 118

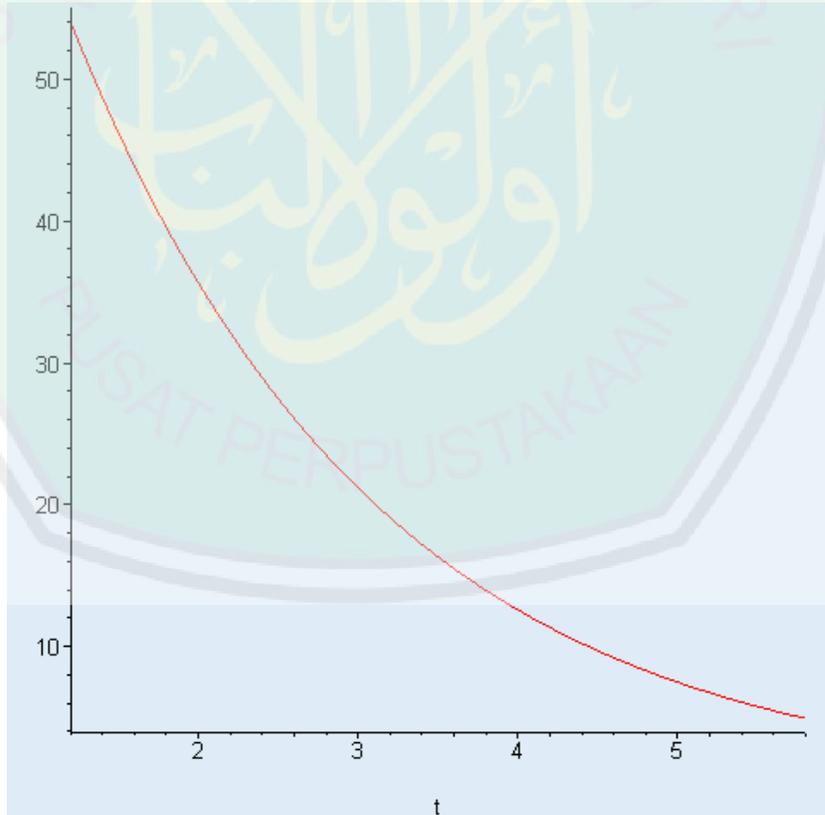
```
> restart;
> eq1:=diff(x(t),t)=-0.521*x(t);
eq2:=diff(y(t),t)=-0.01*x(t)-10^(-5)*y(t);
dsolve({eq1,eq2,x(1,2)=60,y(0)=0},{x(t),y(t)});
```

$$eq1 := \frac{d}{dt} x(t) = -0.521 x(t)$$

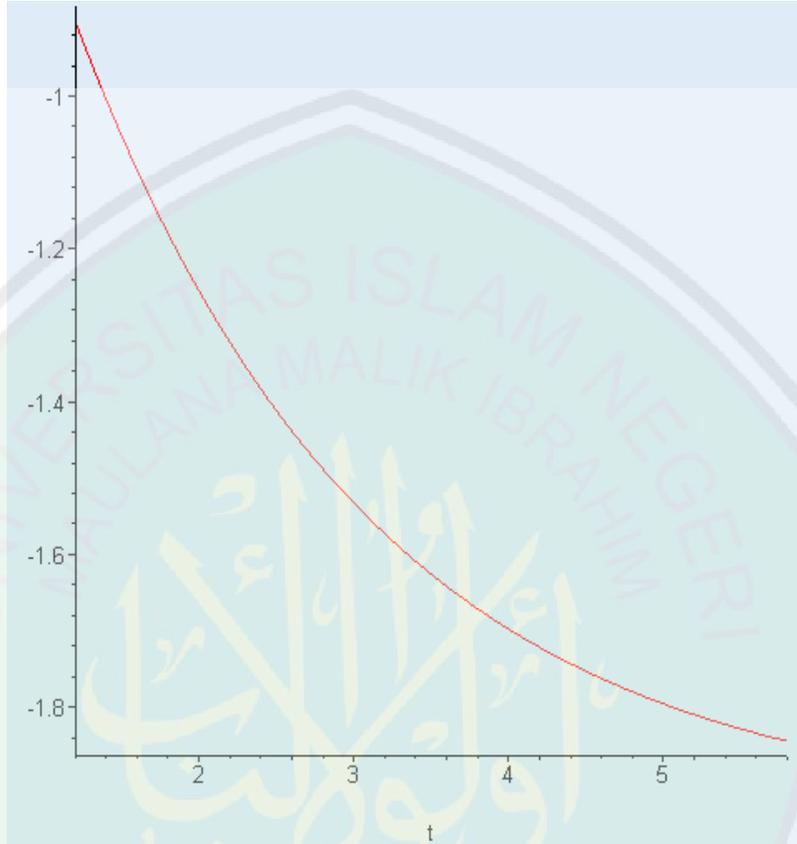
$$eq2 := \frac{d}{dt} y(t) = -0.01 x(t) - \frac{1}{100000} y(t)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x(t) = \frac{60 e^{\left(-\frac{521 t}{1000}\right)}}{e^{\left(\frac{-521}{1000}\right)}}, y(t) = \frac{60000 e^{\left(-\frac{521 t}{1000}\right)}}{52099 e^{\left(\frac{-521}{1000}\right)}} - \frac{60000 e^{\left(-\frac{t}{100000}\right)}}{52099 e^{\left(\frac{-521}{1000}\right)}} \end{array} \right.$$

```
> plot(60/exp(-521/1000)*exp(-521/1000*t),t=1..5.8);
```



```
> plot(60000/52099*1/exp(-521/1000)*exp(-521/1000*t)-  
60000/52099*exp(-1/100000*t)/exp(-  
521/1000),t=1.2..5.8);
```



Lampiran 4

Program Maple Perubahan Jumlah Sel-Sel Aktif dan Sel-Sel Memori terhadap waktu dengan $f(t)=1$ pada Epitop NP 118

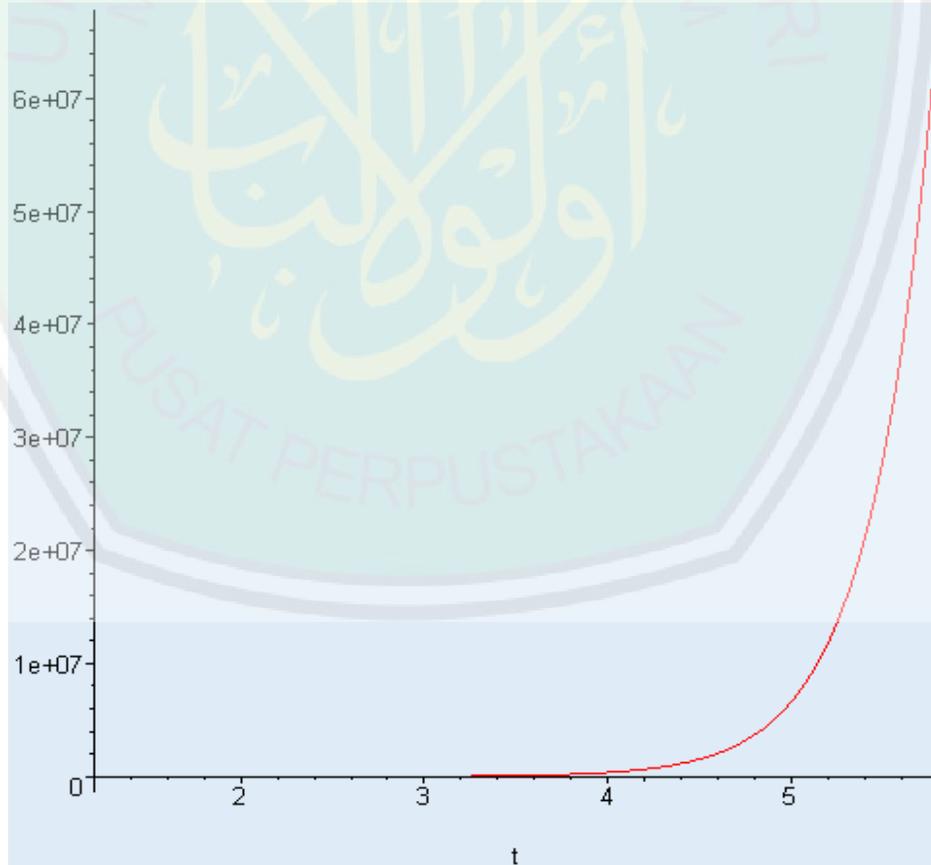
```
> restart;  
> eq1:=diff(x(t),t)=1.1*y(t)+2.9*x(t);  
eq2:=diff(y(t),t)=-1.10001*y(t);  
dsolve({eq1,eq2,x(1,2)=60,y(0)=0},{x(t),y(t)});
```

$$eq1 := \frac{d}{dt} x(t) = 1.1 y(t) + 2.9 x(t)$$

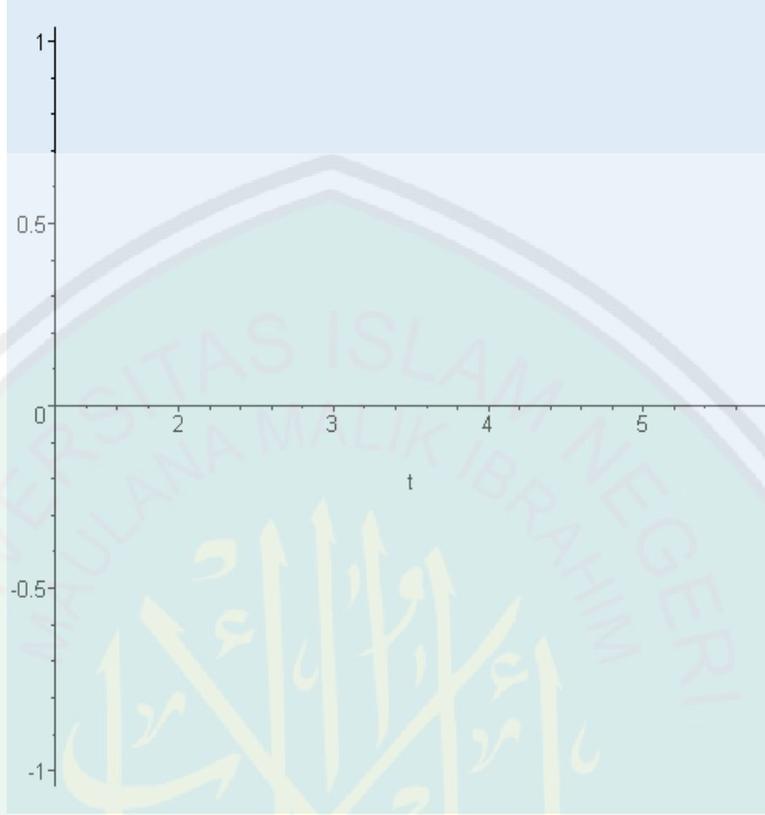
$$eq2 := \frac{d}{dt} y(t) = -1.10001 y(t)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} x(t) = \frac{60 e^{\left(\frac{29}{10}t\right)}}{e^{\left(\frac{29}{10}\right)}}, y(t) = 0 \end{array} \right.$$

```
> plot(60*exp(29/10*t)/exp(29/10),t=1..5.8);
```



```
> plot( 0,t=1.2..5.8);
```



Lampiran 5.

Program Maple Perubahan Jumlah Populasi Sel-Sel Aktif dan Sel-Sel Memori terhadap Waktu dengan $f(t)=0$ pada Epitop GP283

> **restart:**

> **eq1:=diff(x(t),t)=-0.521*x(t);**

eq2:=diff(y(t),t)=0.011*x(t)-10⁽⁻⁵⁾*y(t);

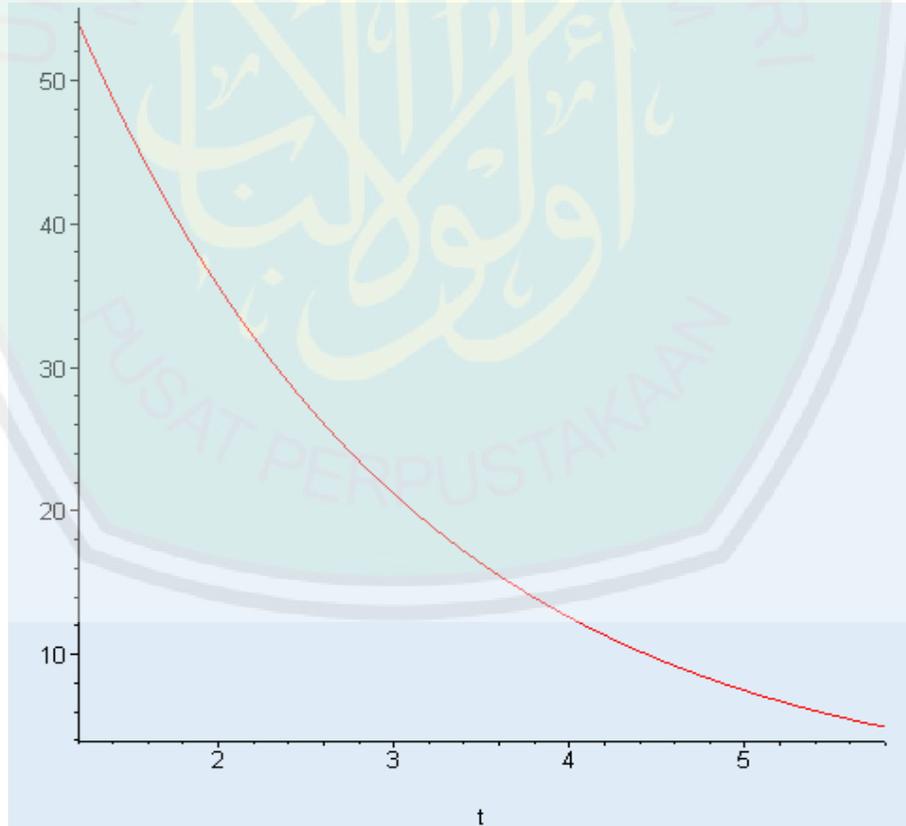
dsolve({eq1,eq2,x(1,2)=60,y(0)=0},{x(t),y(t)});

$$eq1 := \frac{d}{dt} x(t) = -0.521 x(t)$$

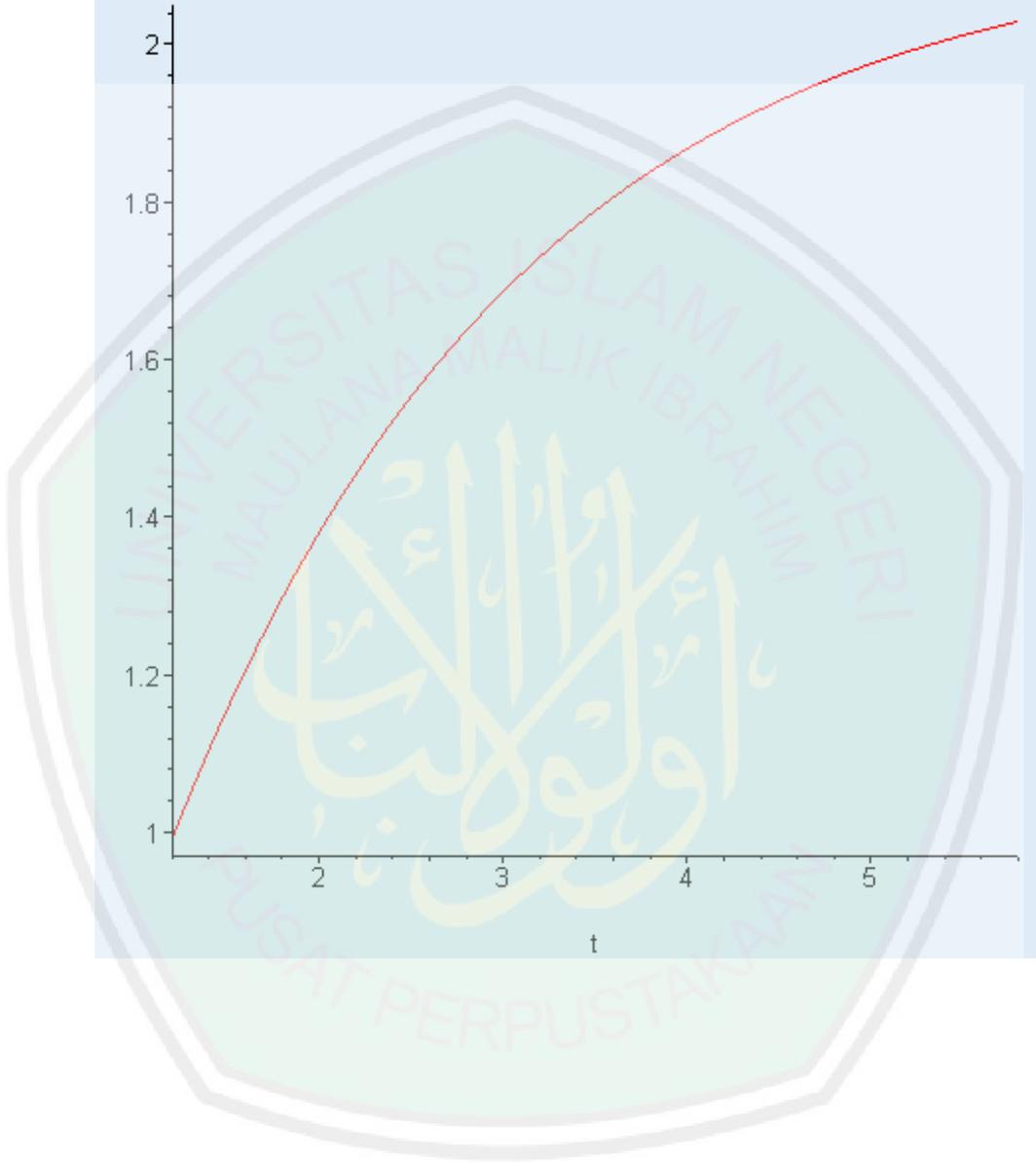
$$eq2 := \frac{d}{dt} y(t) = 0.011 x(t) - \frac{1}{100000} y(t)$$

$$\left\{ x(t) = \frac{60 e^{\left(-\frac{521 t}{1000}\right)}}{e^{\left(\frac{-521}{1000}\right)}}, y(t) = \frac{66000 e^{\left(-\frac{521 t}{1000}\right)}}{52099 e^{\left(\frac{-521}{1000}\right)}} + \frac{66000 e^{\left(-\frac{t}{100000}\right)}}{52099 e^{\left(\frac{-521}{1000}\right)}} \right\}$$

> **plot(60/exp(-521/1000)*exp(-521/1000*t),t=1.2..5.8);**



```
> plot( -66000/52099*1/exp(-521/1000)*exp(-  
521/1000*t)+66000/52099*exp(-1/100000*t)/exp(-  
521/1000), t=1.2..5.8);
```



Lampiran 6

Program Maple Perubahan Jumlah Populasi Sel-Sel Aktif dan Sel-Sel Memori terhadap Waktu dengan $f(t)=1$ pada Epitop GP283

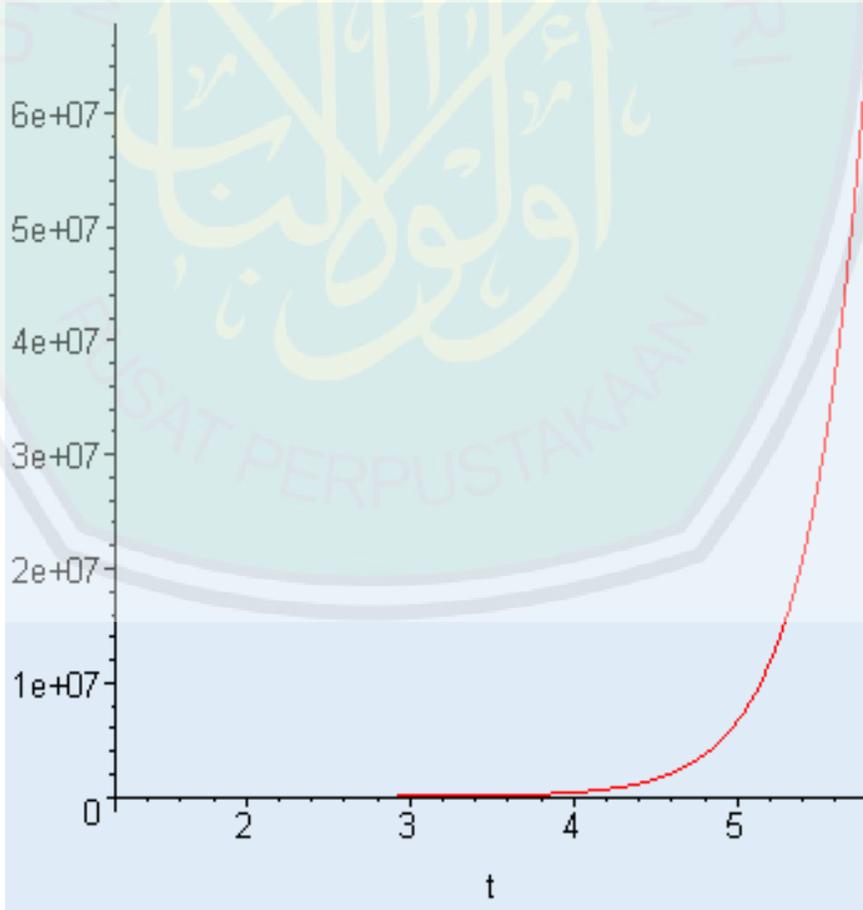
```
> restart;
> eq1:=diff(x(t),t)=5.5*y(t)+2.9*x(t);
eq2:=diff(y(t),t)=-5.50001*y(t);
dsolve({eq1,eq2,x(1,2)=60,y(0)=0},{x(t),y(t)});
```

$$eq1 := \frac{d}{dt} x(t) = 5.5 y(t) + 2.9 x(t)$$

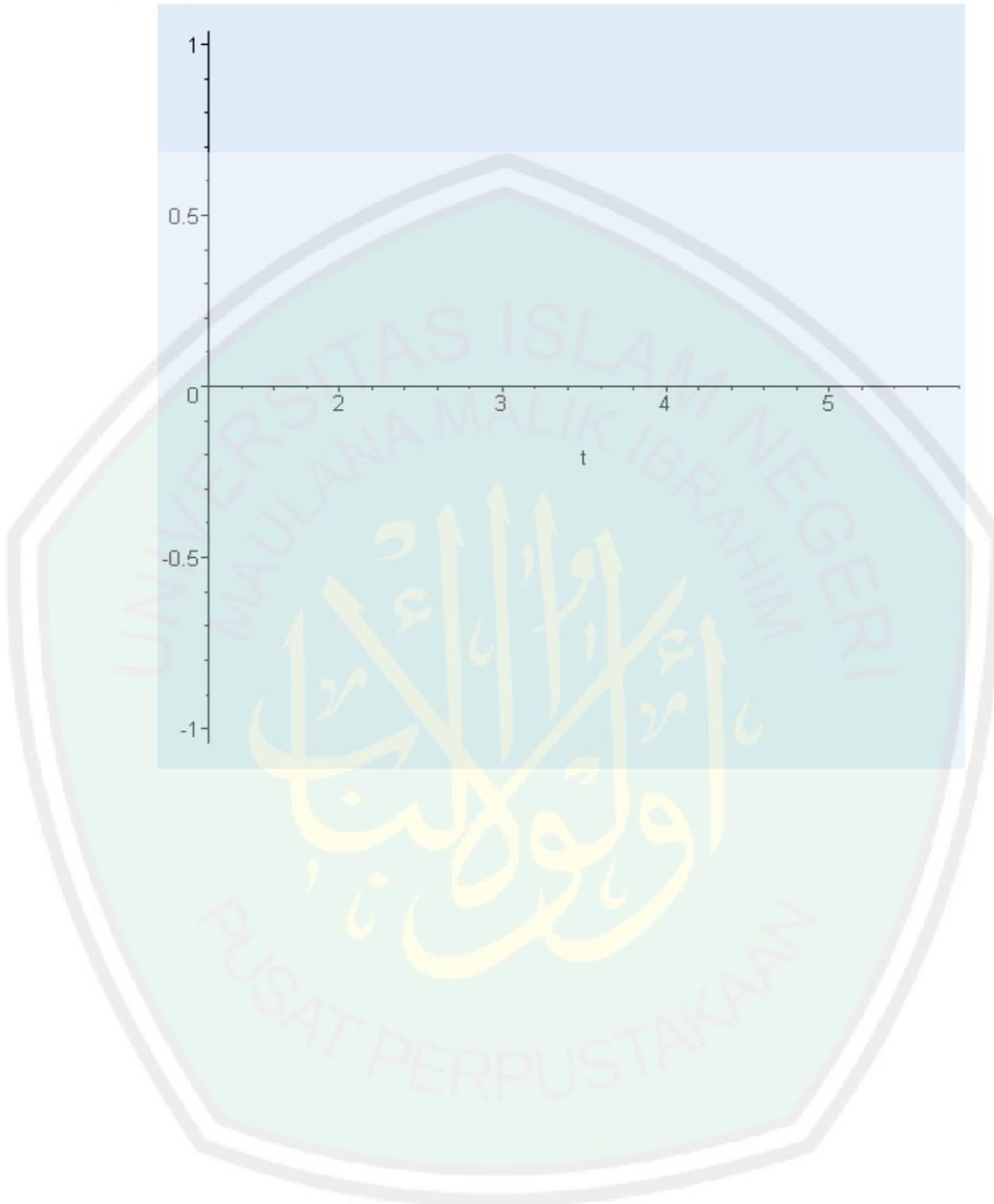
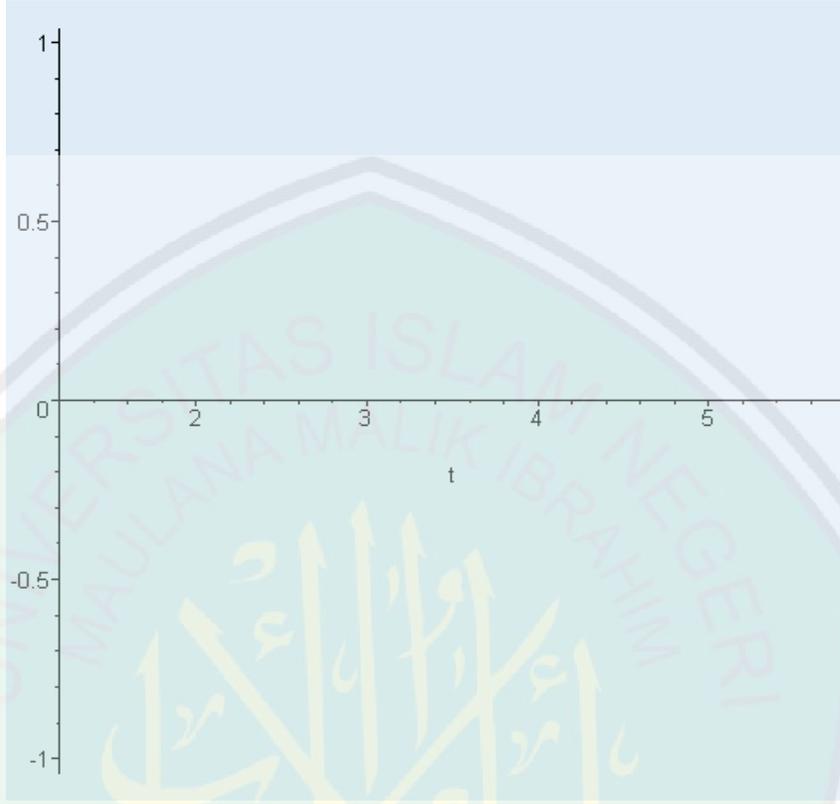
$$eq2 := \frac{d}{dt} y(t) = -5.50001 y(t)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} y(t) = 0, x(t) = \frac{60 e^{\left(\frac{29t}{10}\right)}}{e^{\left(\frac{29}{10}\right)}} \end{array} \right.$$

```
> plot(60*exp(29/10*t)/exp(29/10), t=1..5.8);
```



```
> plot( 0,t=1.2..5.8);
```





DEPARTEMEN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN) MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Gajayana No. 50 Dinoyo Malang (0341)551345
Fax. (0341)572533

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Siti Dewi Jayanti
NIM : 04510040
Fakultas/ jurusan : Sains Dan Teknologi/ Matematika
Judul skripsi : Analisis Model Matematika pada Sistem Imun dengan
LCMV (*Lymphocytic Choriomeningitis Virus*)
Pembimbing I : Usman Pagalay, M.Si
Pembimbing II : Achmad Nashichuddin, MA.

No	Tanggal	HAL	Tanda Tangan	
1	06 Februari 2008	Konsultasi Masalah	1.	
2	11 Februari 2008	Konsultasi BAB III		2.
3	27 Februari 2008	Revisi BAB III	3.	
4	02 Maret 2008	Konsultasi BAB I, II		4.
5	06Maret 2009	Konsultasi Keagamaan	5.	
6	16 Maret 2009	Revisi BAB I dan II		6.
7	23 Maret 2009	Konsultasi BAB I, II, III	7.	
8	27 Maret 2009	Revisi BAB I, II, III		8.
9	01 April 2009	Revisi Keagamaan	9.	
10	02 April 2009	ACC Keagamaan		10.
11	03 April 2009	Konsultasi Keseluruhan	11.	
12	04 April 2009	ACC Keseluruhan		12.

Malang, 04 Januari 2009
Mengetahui,
Ketua Jurusan Matematika

Sri Harini, M.Si
NIP. 150 318 321