



**PENERAPAN *ENSEMBLE KALMAN FILTER* PADA MODEL  
PENGARUH TERAPI PENGOBATAN TERHADAP  
DINAMIKA VIRUS HIV DALAM TUBUH**

**SKRIPSI**

Oleh:

**Rini Herawati  
NIM 091810101051**

**JURUSAN MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2013**



**PENERAPAN *ENSEMBLE KALMAN FILTER* PADA MODEL  
PENGARUH TERAPI PENGOBATAN TERHADAP  
DINAMIKA VIRUS HIV DALAM TUBUH**

**SKRIPSI**

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat  
untuk menyelesaikan Program Studi Matematika (S1)  
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh:

**Rini Herawati**  
**NIM 091810101051**

**JURUSAN MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2013**

## **PERSEMBAHAN**

Alhamdulillah, dengan segala puji bagi Allah, yang dengan nikmat-Nya sempurnalah semua kebaikan, skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibu dan bapak tercinta, terima kasih banyak atas doa, kasih sayang tanpa batas, perhatian, dan segala kebaikan yang telah diberikan, semoga Allah selalu mendekap erat dengan kasih sayang-Nya;
2. Keluarga kecil kakak tersayang Rizqi Yuniarti, yang selalu memberi dukungan, nasehat, keceriaan, dan inspirasi;
3. Para pengajar dan pendidik sejak taman kanak-kanak sampai perguruan tinggi yang telah memberikan ilmu dan membimbing dengan penuh kesabaran;
4. Almamater Jurusan Matematika FMIPA Universitas Jember.

## MOTO

Barang siapa bertakwa kepada Allah niscaya Dia akan memberikan jalan keluar dari setiap kesulitan dan memberikan rezeki dari arah yang tidak disangka-sangka.

(Ath-Thalaaq : 2) <sup>\*</sup>)

Mukjizat atau keajaiban lahir dari ibu yang bernama kesulitan dan ayah yang berusaha. Dan ketika kita memulai segala sesuatu dengan nama Tuhan, maka tidak akan pernah ada kata “Tidak Mungkin” (Mario Teguh).

Banyak hal mungkin datang kepada mereka yang menunggu, tetapi hanya hal-hal yang disisakan oleh mereka yang bekerja keras (Abraham Lincoln).

---

<sup>\*</sup>) Departemen Agama Republik Indonesia. 1998. *Al Quran dan Terjemahannya*. Semarang: PT Kumusdasmoro Grafindo.

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : Rini Herawati

NIM : 091810101051

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul “Penerapan *Ensemble Kalman Filter* pada Model Pengaruh Terapi Pengobatan Terhadap Dinamika Virus HIV dalam Tubuh” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, September 2013

Yang menyatakan,

Rini Herawati

NIM. 091810101051

**SKRIPSI**

**PENERAPAN *ENSEMBLE KALMAN FILTER* PADA MODEL  
PENGARUH TERAPI PENGOBATAN TERHADAP  
DINAMIKA VIRUS HIV DALAM TUBUH**

Oleh

Rini Herawati  
NIM 091810101051

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Kosala Dwidja Purnomo, S.Si, M.Si  
Dosen Pembimbing Anggota : Kiswara Agung Santoso, S.Si, M.Kom

## PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “Penerapan *Ensemble Kalman Filter* pada Model Pengaruh Terapi Pengobatan Terhadap Dinamika Virus HIV dalam Tubuh” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember

Tim Penguji:

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Kosala Dwidja Purnomo, S.Si, M.Si  
NIP. 196908281998021001

Kiswara Agung Santoso, S.Si, M.Kom  
NIP. 197209071998031003

Penguji I,

Penguji II,

Prof. Drs. Kusno DEA, PhD  
NIP. 196101081986021001

Prof. Drs. I Made Tirta, MSc, PhD  
NIP. 195912201985031002

Mengesahkan

Dekan,

Prof. Drs. Kusno, DEA., Ph.D.  
NIP 196101081986021001

## RINGKASAN

**Penerapan *Ensemble Kalman Filter* pada Model Pengaruh Terapi Pengobatan Terhadap Dinamika Virus HIV dalam Tubuh.** Rini Herawati, 091810101051; 2013: 42 halaman; Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

AIDS merupakan penyakit yang disebabkan virus HIV dan biasanya menyerang sistem kekebalan tubuh sehingga mengakibatkan penderitanya menjadi mudah tertular berbagai macam penyakit. Indonesia termasuk salah satu negara yang memiliki tingkat penyebaran HIV/AIDS paling cepat. Metode pengobatan yang saat telah berkembang salah satunya adalah terapi *antiretroviral* yaitu HAART (*Highly Active Antiretroviral Therapy*). Akan tetapi metode pengobatan ini memiliki kelemahan diantaranya muncul efek samping yang berlebihan dalam penggunaan obat-obatan dan harga obat yang relatif mahal, sehingga perlu adanya suatu pengendalian/pengontrolan dalam penggunaan terapi obat tersebut, agar terapi bisa optimal. Metode *Ensemble Kalman Filter* (EnKF) merupakan metode estimasi sistem dinamik non linier, hasil pengembangan dari metode *Kalman Filter*. Dalam penggunaannya, metode EnKF lebih mudah diimplementasikan pada model non linier dan metode ini menerapkan teknik asimilasi data yang bertujuan untuk mendapatkan hasil estimasi yang lebih baik. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk menerapkan metode EnKF pada model pengaruh terapi pengobatan terhadap dinamika virus HIV dalam tubuh. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui penerapan metode *Ensemble Kalman Filter* (EnKF) pada model pengaruh terapi pengobatan dalam mengestimasi populasi sel T CD4+ yang sehat, populasi virus HIV yang bisa menginfeksi dan jumlah sel imun dalam tubuh penderita.



Penelitian dilakukan dengan beberapa langkah, yaitu dimulai dengan melakukan diskritisasi model pengaruh terapi obat terhadap dinamika virus HIV dalam tubuh dengan menggunakan metode beda hingga maju. Langkah berikutnya adalah menambahkan faktor stokastik berupa *noise* sistem ( $w_k$ ) pada model sistem dan *noise* pengukuran ( $v_k$ ) pada model pengukuran. Model stokastik yang telah diperoleh kemudian diimplementasikan pada algoritma EnKF sehingga diperoleh hasil estimasi berdasarkan jumlah *ensemble* yang dibangkitkan untuk setiap pengukuran. Langkah terakhir yang dilakukan adalah menganalisis hasil simulasi. Analisis dilakukan dengan cara membandingkan nilai real keadaan sistem dengan hasil estimasi yang diperoleh dengan menerapkan metode EnKF. Selain itu, juga dengan melihat besar nilai *norm* kovariansi *error* untuk melihat seberapa baik hasil estimasi yang diperoleh.

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa pengestimasi populasi sel T CD4+ yang sehat, populasi virus HIV yang bisa menginfeksi, dan jumlah sel imun dalam tubuh penderita dengan menerapkan metode EnKF saat pengambilan 100, 500, dan 1000 *ensemble* diperoleh hasil estimasi yang relatif mendekati nilai *real*-nya. Selain itu dilihat dari nilai *norm* kovariansi *error* yang dihasilkan, pada pengambilan 1000 *ensemble* diperoleh nilai *norm* kovariansi *error* yang lebih kecil jika dibandingkan dengan pengambilan 10, 50, 100, dan 500 *ensemble*. Sehingga, dalam hal ini, hasil estimasi terbaik adalah pada saat dibangkitkan 1000 *ensemble*. Dengan demikian semakin banyak jumlah *ensemble* yang dibangkitkan akan diperoleh *norm* kovariansi *error* yang makin kecil dan diperoleh hasil estimasi yang relatif mendekati nilai *real*-nya.

## PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Penerapan *Ensemble Kalman Filter* pada Model Pengaruh Terapi Pengobatan Terhadap Dinamika Virus HIV dalam Tubuh”. Penyusunan skripsi ini ditujukan sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan S1 Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Dalam penyusunan skripsi ini, penulis mendapat banyak dukungan, bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, tak lupa penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Kosala Dwidja Purnomo, S.Si, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Kiswara Agung Santoso, S.Si, M.Kom selaku Dosen Pembimbing Anggota, yang telah meluangkan waktu, pikiran dan perhatian dalam penyusunan skripsi ini;
2. Prof. Drs. Kusno DEA, PhD selaku Dosen Penguji I dan Prof. Drs. I Made Tirta, MSc, PhD selaku Dosen Penguji II, yang telah memberikan kritik dan saran dalam penyusunan skripsi ini;
3. Ibu dan bapak serta keluarga kecil kakak tersayang yang telah memberikan dukungan, doa, perhatian, dan kasih sayang tanpa batas;
4. Teman terbaik, Metha, Dessy, Ricci, dan Rhurhu yang selalu memberi semangat, pendengar yang baik, dan saling mengingatkan banyak hal.
5. Teman-teman jurusan Matematika angkatan 2009 dan teman-teman seperjuangan yang selalu siap membantu, mendengarkan keluh kesah, dan memberi semangat;
6. semua pihak yang turut membantu demi kelancaran skripsi ini.

Penulis juga menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, September 2013

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	iv
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>PRAKATA</b> .....	ix
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Rumusan Masalah</b> .....	4
<b>1.3 Tujuan</b> .....	4
<b>1.4 Manfaat</b> .....	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
<b>2.1 Pertumbuhan Virus HIV dalam Tubuh</b> .....	5
<b>2.2 Pengenalan Obat HIV</b> .....	5
<b>2.3 Model Dinamik HIV</b> .....	6
<b>2.4 Diskritisasi Model</b> .....	10
<b>2.5 Penambahan Faktor Stokastik</b> .....	10
<b>2.6 Metode Kalman Filter</b> .....	11
<b>2.7 Metode Ensemble Kalman Filter</b> .....	13
<b>2.8 Norm Kovarian Error</b> .....	14

<b>BAB 3 METODE PENELITIAN .....</b>	<b>16</b>
<b>3.1 Studi Literatur .....</b>	<b>16</b>
<b>3.2 Diskritisasi Model .....</b>	<b>17</b>
<b>3.3 Penambahan <i>Noise</i> .....</b>	<b>17</b>
<b>3.4 Implementasi Metode EnKF .....</b>	<b>18</b>
<b>3.5 Analisis Hasil Simulasi .....</b>	<b>19</b>
<b>BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>20</b>
<b>4.1 Diskritisasi Model Dinamika Virus HIV .....</b>	<b>20</b>
<b>4.2 Penambahan <i>Noise</i> .....</b>	<b>22</b>
<b>4.3 Implementasi Metode EnKF Untuk Model Dinamika Virus HIV ....</b>	<b>22</b>
<b>4.4 Pembahasan Hasil Simulasi .....</b>	<b>26</b>
4.4.1 Evaluasi Estimasi Populasi Sel T CD4+ yang Sehat ( <i>T</i> ) .....	27
4.4.2 Estimasi Populasi Virus HIV yang Bisa Menginfeksi ( $V_1$ ).....	30
4.4.3 Estimasi Jumlah Sel Imun dalam Tubuh Penderita ( <i>E</i> ) .....	35
<b>BAB 5. PENUTUP .....</b>	<b>39</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>41</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>43</b>

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Pengertian dan nilai-nilai dalam model dinamik virus HIV .....	8
Tabel 2.2 Algoritma <i>Kalman Filter</i> (KF) .....	12
Tabel 2.3 Algoritma <i>Ensemble Kalman Filter</i> (EnKF).....	14
Tabel 4.1 Nilai <i>norm</i> kovariansi <i>error</i> ( $T$ ) .....	30
Tabel 4.2 Nilai <i>norm</i> kovariansi <i>error</i> ( $V_1$ ) .....	34

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 3.1 Skema metode penelitian .....	16
Gambar 4.1 Estimasi populasi sel T CD4+ yang sehat dengan 10 <i>ensemble</i> .....	27
Gambar 4.2 Estimasi populasi sel T CD4+ yang sehat dengan 50 <i>ensemble</i> .....	28
Gambar 4.3 Grafik <i>norm</i> kovariansi <i>error</i> dengan 50 <i>ensemble</i> .....	29
Gambar 4.4 Estimasi populasi sel T CD4+ yang sehat dengan 100 <i>ensemble</i> ....	29
Gambar 4.5 Estimasi populasi virus HIV yang bisa menginfeksi dengan 10 <i>ensemble</i> .....	31
Gambar 4.6 Estimasi populasi virus HIV yang bisa menginfeksi dengan 50 <i>ensemble</i> .....	31
Gambar 4.7 Estimasi populasi virus HIV yang bisa menginfeksi dengan 100 <i>ensemble</i> .....	32
Gambar 4.8 Estimasi populasi virus HIV yang bisa menginfeksi dengan 500 <i>ensemble</i> .....	32
Gambar 4.9 Estimasi populasi virus HIV yang bisa menginfeksi dengan 1000 <i>ensemble</i> .....	33
Gambar 4.10 Estimasi jumlah sel imun dengan 10 <i>ensemble</i> .....	35
Gambar 4.11 Grafik <i>norm</i> kovariansi <i>error</i> dengan 10 <i>ensemble</i> .....	36
Gambar 4.12 Estimasi jumlah sel imun dengan 50 <i>ensemble</i> .....	36
Gambar 4.13 Grafik <i>norm</i> kovariansi <i>error</i> dengan 50 <i>ensemble</i> .....	37
Gambar 4.14 Estimasi jumlah sel imun dengan 100 <i>ensemble</i> .....	37
Gambar 4.15 Grafik <i>norm</i> kovariansi <i>error</i> dengan 100 <i>ensemble</i> .....	38

## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Model Dinamika Virus HIV yang Telah Ditambahkan <i>Noise</i> dalam Bentuk Matriks.....	43
B. Skrip Program .....	44
C. Grafik Hasil Estimasi dan <i>Norm</i> Kovariansi <i>Error</i> .....	57