



**PERBANDINGAN METODE  
EXTENDED KALMAN FILTER DAN ENSEMBLE KALMAN FILTER  
PADA ESTIMASI KECEPATAN MANUVER KAPAL SELAM**

**SKRIPSI**

Oleh

**M. Arif Riyanto  
NIM 081810101046**

**JURUSAN MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2012**



**PERBANDINGAN METODE  
*EXTENDED KALMAN FILTER* DAN *ENSEMBLE KALMAN FILTER*  
PADA ESTIMASI KECEPATAN MANUVER KAPAL SELAM**

**SKRIPSI**

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

Oleh

**M. Arif Riyanto**  
**NIM 081810101046**

**JURUSAN MATEMATIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS JEMBER  
2012**

## PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Ibunda Misenah dan Ayahanda Sunardi tercinta, yang telah mendoakan dan memberi kasih sayang serta pengorbanan untuk putra tercintanya;
2. guru-guru sejak taman kanak-kanak sampai perguruan tinggi, yang telah memberikan ilmu dan membimbing dengan penuh kesabaran;
3. Almamater Jurusan Matematika FMIPA Universitas Jember.



## MOTTO

“Hai orang-orang yang beriman, bertaqwalah kepada Allah dan hendaklah setiap diri memperhatikan apa yang telah diperbuatnya untuk hari esok, dan bertaqwalah kepada Allah, sesungguhnya Allah Maha Mengetahui apa yang akan terjadi”  
(Al – Hasyr : 18)<sup>\*)</sup>

“ Seorang alim yang bersandar di tempat tidurnya untuk meneliti ilmu sesaat saja, adalah lebih baik dari ibadah seorang hamba dalam enam puluh tahun”  
(Al – Hadist)<sup>\*)</sup>

“ Jangan bersedih jika ada anak panah yang menembus tubuhmu, meski ia dibidikkan oleh orang terdekatmu.

Sungguh, akan ada orang lain yang mencabut anak panah itu, mengobati luka, dan mengembalikan kehidupan dan senyumanmu.”<sup>\*\*)</sup>

---

<sup>\*)</sup> Al Quran dan Al Hadist

<sup>\*\*)</sup> DR. Aidh Al-Qarni

## PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

nama : M. Arif Riyanto

NIM : 081810101046

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul “Perbandingan Metode *Extended Kalman Filter* dan *Ensemble Kalman Filter* pada Estimasi Kecepatan Manuver Kapal Selam” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun serta 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 manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Juli 2012

Yang menyatakan,

M. Arif Riyanto  
NIM 081810101046

**SKRIPSI**

**PERBANDINGAN METODE  
EXTENDED KALMAN FILTER DAN ENSEMBLE KALMAN FILTER  
PADA ESTIMASI KECEPATAN MANUVER KAPAL SELAM**

Oleh

M. Arif Riyanto  
NIM 081810101046

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Kosala Dwidja Purnomo, S.Si, M.Si

Dosen Pembimbing Anggota : Drs. Rusli Hidayat, M.Sc

## PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Perbandingan Metode *Extended Kalman Filter* dan *Ensemble Kalman Filter* pada Estimasi Kecepatan Manuver Kapal Selam” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas

Jember

Tim Penguji:

Ketua,

Sekretaris,

Kosala Dwidja Purnomo, S.Si, M.Si  
NIP 19690828 199802 1 001

Drs. Rusli Hidayat, M.Sc.  
NIP 19661012 199303 1 001

Penguji I,

Penguji II,

Prof. Drs. I Made Tirta, M.Sc., Ph.D.  
NIP 19591220 198503 1 002

Kristiana Wijaya, S.Si., M.Si.  
NIP 19740813 200003 2 004

Mengesahkan

Dekan,

Prof. Drs. Kusno, DEA, Ph.D.  
NIP 19610108 198602 1 001

## RINGKASAN

**Perbandingan Metode *Extended Kalman Filter* dan *Ensemble Kalman Filter* pada Estimasi Kecepatan Manuver Kapal Selam;** M. Arif Riyanto; 081810101046; 2012; 54 halaman; Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Jember

Pelayaran dan pengendalian kapal selam merupakan topik yang kompleks. Terdapat banyak kesulitan yang perlu diatasi sebelum kapal selam digerakkan sesuai dengan keinginan. Hal ini disebabkan karena terdapat gangguan yang tidak pasti yaitu berupa gangguan internal dan eksternal. Gangguan internal misalnya berasal dari interaksi kompas dengan medan magnet yang dihasilkan oleh motor. Sementara gangguan eksternal misalnya berasal dari arus laut yang mengganggu keberadaan kapal selam. Oleh karena itu diperlukan pengestimasi posisi dan kecepatan yang tepat agar kapal selam dapat melaksanakan fungsi-fungsi yang diinginkan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan hasil estimasi kecepatan dari model dinamik kapal selam dengan menggunakan metode *Extended Kalman Filter* (EKF) dan *Ensemble Kalman Filter* (EnKF). Selain itu, tujuan akhir adalah mengetahui metode manakah yang lebih baik untuk mengestimasi kecepatan kapal selam.

Untuk memperoleh hasil estimasi dan mengetahui metode yang lebih baik, dilakukan beberapa langkah, yaitu diskritisasi dengan metode beda hingga maju dan dilanjutkan penambahan *noise* pada model dinamik kapal selam. Setelah itu mengimplementasikan algoritma EKF dan EnKF. Langkah berikutnya adalah menganalisis hasil simulasi. Hasil yang akan dianalisis adalah hasil estimasi kecepatan gerak kapal selam. Analisis yang dilakukan adalah dengan membandingkan hasil estimasi norm kovariansi *error* dari metode EKF dan EnKF serta membandingkan waktu komputasi dari kedua metode tersebut. Pada EnKF, dilakukan juga perbandingan terhadap jumlah *ensemble* yang berbeda yaitu 10, 100, 500 dan 1000. Hasil terbaik dari EnKF ini akan dibandingkan dengan hasil dari EKF.



Hasil simulasi menunjukkan bahwa metode EKF dan EnKF dapat digunakan untuk mengestimasi kecepatan kapal selam. Untuk metode EnKF, hasil terbaik yaitu menggunakan jumlah *ensemble* 500. Jumlah *ensemble* diatas 500 akan menghasilkan hasil yang relatif sama akuratnya dengan *ensemble* 500. Sedangkan *ensemble* diantara 100 dan 500 akan menghasilkan estimasi yang relatif cukup akurat. Namun untuk *ensemble* dibawah 100 tidak ada jaminan hasil estimasi akan mendekati nilai realnya karena norm kovariansi *error* yang relatif besar. Untuk metode EKF, hasil estimasinya sangat baik dan nilai norm kovariansi *error*-nya semakin kecil. Selain itu, waktu komputasi yang diperlukan lebih efisien dibanding dengan metode EnKF. Dengan demikian metode EKF lebih baik dari pada metode EnKF dalam mengestimasi kecepatan manuver kapal selam.

## PRAKATA

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Perbandingan Metode *Extended Kalman Filter* dan *Ensemble Kalman Filter* pada Estimasi Kecepatan Manuver Kapal Selam”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Jember.

Dalam penyelesaian karya tulis ilmiah ini, penulis telah banyak mendapat bantuan dan dorongan baik secara langsung maupun tak langsung dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Kosala Dwidja Purnomo, S.Si, M.Si, selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Drs. Rusli Hidayat, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing anggota, yang telah meluangkan waktu, pikiran, dan perhatian dalam penyusunan skripsi ini;
2. Bapak Prof. Drs. I Made Tirta, M.Sc., Ph.D., dan Ibu Kristiana Wijaya, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji yang telah memberi kritik dan saran dalam penyusunan skripsi ini;
3. Laily, Rafiantika, Mifta, Ria, Baits, Vianda dan angkatan matematika 2008 yang telah memberikan dukungan positif selama penyusunan tugas akhir ini;
4. semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

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

Jember, Juli 2012

Penulis

## DAFTAR ISI

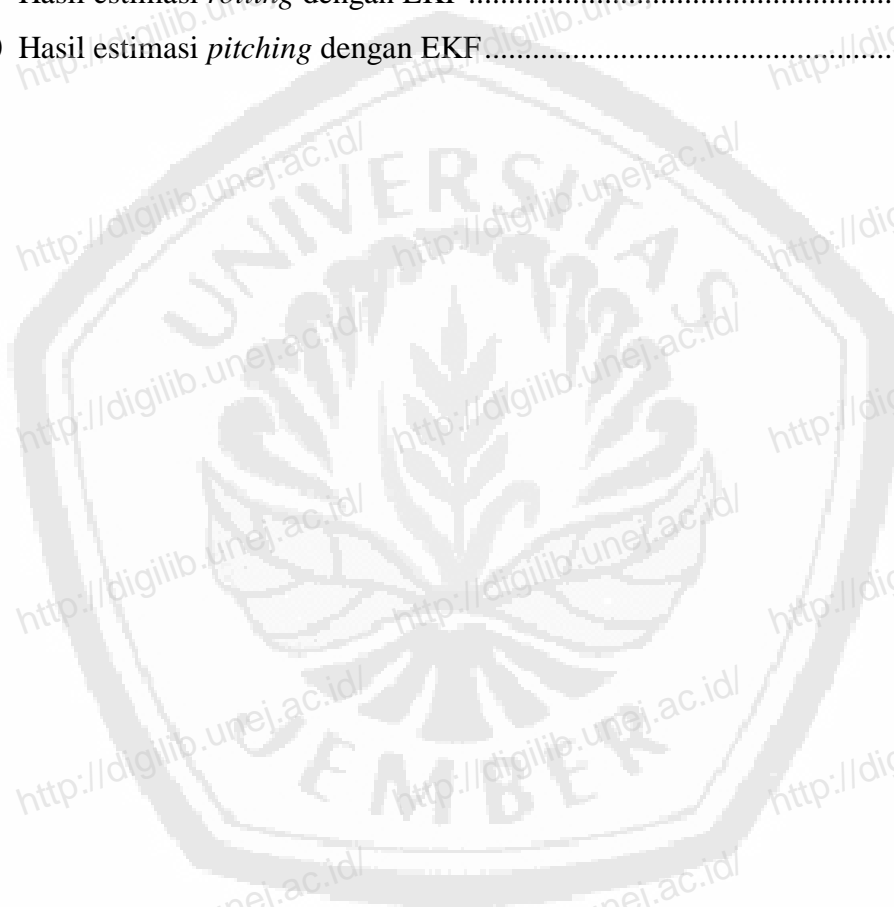
	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	iii
<b>HALAMAN MOTTO</b> .....	iv
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	v
<b>HALAMAN PEMBIMBINGAN</b> .....	vi
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	vii
<b>RINGKASAN</b> .....	viii
<b>PRAKATA</b> .....	x
<b>DAFTAR ISI</b> .....	xi
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xiii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>BAB 1. PENDAHULUAN</b> .....	1
<b>1.1 Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2 Perumusan Masalah</b> .....	2
<b>1.3 Tujuan</b> .....	3
<b>1.4 Manfaat</b> .....	3
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
<b>2.1 Metode Kalman Filter</b> .....	4
<b>2.2 Metode Extended Kalman Filter</b> .....	5
<b>2.3 Metode Ensemble Kalman Filter</b> .....	7
<b>2.4 Penambahan Faktor Stokastik</b> .....	10
<b>2.5 Diskritisasi Model</b> .....	10
<b>2.6 Gerak Kapal Selam</b> .....	11
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN</b> .....	15
<b>BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN</b> .....	19

<b>4.1 Diskritisasi Model Dinamik Gerak Kapal Selam .....</b>	<b>19</b>
<b>4.2 Penambahan <i>Noise</i> .....</b>	<b>21</b>
<b>4.3 Implementasi Algoritma EKF untuk Model Dinamik Gerak Kapal Selam .....</b>	<b>22</b>
<b>4.4 Implementasi Algoritma EnKF untuk Model Dinamik Gerak Kapal Selam .....</b>	<b>24</b>
<b>4.5 Simulasi dan Evaluasi .....</b>	<b>26</b>
4.5.1 Estimasi Kecepatan dengan Metode EnKF .....	27
4.5.2 Estimasi Kecepatan dengan Metode EKF .....	46
4.5.3 Hasil Perbandingan Metode EnKF dan EKF .....	51
<b>BAB 5. PENUTUP .....</b>	<b>52</b>
<b>5.1 Kesimpulan .....</b>	<b>52</b>
<b>5.2 Saran .....</b>	<b>53</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>54</b>

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Enam derajat kebebasan gerak kapal selam.....	12
3.1 Langkah-langkah Metode Penelitian.....	18
4.1 Hasil estimasi <i>swaying</i> pada $N_e = 10$ dengan EnKF .....	27
4.2 Hasil estimasi <i>swaying</i> pada $N_e = 100$ dengan EnKF .....	28
4.3 Hasil estimasi <i>swaying</i> pada $N_e = 500$ dengan EnKF .....	28
4.4 Hasil estimasi <i>swaying</i> pada $N_e = 1000$ dengan EnKF .....	29
4.5 Hasil estimasi <i>heaving</i> pada $N_e = 10$ dengan EnKF .....	31
4.6 Hasil estimasi <i>heaving</i> pada $N_e = 100$ dengan EnKF .....	31
4.7 Hasil estimasi <i>heaving</i> pada $N_e = 500$ dengan EnKF .....	32
4.8 Hasil estimasi <i>heaving</i> pada $N_e = 1000$ dengan EnKF .....	32
4.9 Hasil estimasi <i>surgin</i> pada $N_e = 10$ dengan EnKF .....	34
4.10 Hasil estimasi <i>surgin</i> pada $N_e = 100$ dengan EnKF .....	34
4.11 Hasil estimasi <i>surgin</i> pada $N_e = 500$ dengan EnKF .....	35
4.12 Hasil estimasi <i>surgin</i> pada $N_e = 1000$ dengan EnKF .....	35
4.13 Hasil estimasi <i>yawing</i> pada $N_e = 10$ dengan EnKF .....	37
4.14 Hasil estimasi <i>yawing</i> pada $N_e = 100$ dengan EnKF .....	37
4.15 Hasil estimasi <i>yawing</i> pada $N_e = 500$ dengan EnKF .....	38
4.16 Hasil estimasi <i>yawing</i> pada $N_e = 1000$ dengan EnKF .....	38
4.17 Hasil estimasi <i>rolling</i> pada $N_e = 10$ dengan EnKF .....	40
4.18 Hasil estimasi <i>rolling</i> pada $N_e = 100$ dengan EnKF .....	40
4.19 Hasil estimasi <i>rolling</i> pada $N_e = 500$ dengan EnKF .....	41
4.20 Hasil estimasi <i>rolling</i> pada $N_e = 1000$ dengan EnKF .....	41
4.21 Hasil estimasi <i>pitching</i> pada $N_e = 10$ dengan EnKF .....	43
4.22 Hasil estimasi <i>pitching</i> pada $N_e = 100$ dengan EnKF .....	43
4.23 Hasil estimasi <i>pitching</i> pada $N_e = 500$ dengan EnKF .....	44

4.24 Hasil estimasi <i>pitching</i> pada $N_e = 1000$ dengan EnKF .....	44
4.25 Hasil estimasi <i>swaying</i> dengan EKF .....	46
4.26 Hasil estimasi <i>heaving</i> dengan EKF .....	47
4.27 Hasil estimasi <i>surgings</i> dengan EKF .....	48
4.28 Hasil estimasi <i>yawing</i> dengan EKF .....	49
4.29 Hasil estimasi <i>rolling</i> dengan EKF .....	50
4.30 Hasil estimasi <i>pitching</i> dengan EKF .....	51



## DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
A. Hasil Estimasi Kecepatan <i>Swaying</i> untuk 3000 Iterasi.....	55
A.1 Hasil estimasi <i>Swaying</i> dengan $N_e = 10$ pada EnKF.....	55
A.2 Hasil estimasi <i>Swaying</i> dengan $N_e = 100$ pada EnKF.....	55
A.3 Hasil estimasi <i>Swaying</i> dengan $N_e = 500$ pada EnKF.....	56
A.4 Hasil estimasi <i>Swaying</i> dengan $N_e = 1000$ pada EnKF.....	56
A.5 Hasil estimasi <i>Swaying</i> dengan EKF.....	57
B. Hasil Estimasi Kecepatan <i>Heaving</i> untuk 3000 Iterasi .....	57
B.1 Hasil estimasi <i>Heaving</i> dengan $N_e = 10$ pada EnKF.....	57
B.2 Hasil estimasi <i>Heaving</i> dengan $N_e = 100$ pada EnKF.....	58
B.3 Hasil estimasi <i>Heaving</i> dengan $N_e = 500$ pada EnKF.....	58
B.4 Hasil estimasi <i>Heaving</i> dengan $N_e = 1000$ pada EnKF.....	59
B.5 Hasil estimasi <i>Heaving</i> dengan EKF.....	59
C. Hasil Estimasi Kecepatan <i>Surging</i> untuk 3000 Iterasi .....	60
C.1 Hasil estimasi <i>Surging</i> dengan $N_e = 10$ pada EnKF.....	60
C.2 Hasil estimasi <i>Surging</i> dengan $N_e = 100$ pada EnKF.....	60
C.3 Hasil estimasi <i>Surging</i> dengan $N_e = 500$ pada EnKF.....	61
C.4 Hasil estimasi <i>Surging</i> dengan $N_e = 1000$ pada EnKF.....	61
C.5 Hasil estimasi <i>Surging</i> dengan EKF.....	62
D. Hasil Estimasi Kecepatan <i>Yawing</i> untuk 3000 Iterasi.....	62
D.1 Hasil estimasi <i>Yawing</i> dengan $N_e = 10$ pada EnKF.....	62
D.2 Hasil estimasi <i>Yawing</i> dengan $N_e = 100$ pada EnKF.....	63
D.3 Hasil estimasi <i>Yawing</i> dengan $N_e = 500$ pada EnKF.....	63
D.4 Hasil estimasi <i>Yawing</i> dengan $N_e = 1000$ pada EnKF.....	64
D.5 Hasil estimasi <i>Yawing</i> dengan EKF.....	64
E. Hasil Estimasi Kecepatan <i>Rolling</i> untuk 3000 Iterasi .....	65

E.1 Hasil estimasi <i>Rolling</i> dengan $N_e = 10$ pada EnKF .....	65
E.2 Hasil estimasi <i>Rolling</i> dengan $N_e = 100$ pada EnKF .....	65
E.3 Hasil estimasi <i>Rolling</i> dengan $N_e = 500$ pada EnKF .....	66
E.4 Hasil estimasi <i>Rolling</i> dengan $N_e = 1000$ pada EnKF .....	66
E.5 Hasil estimasi <i>Rolling</i> dengan EKF .....	67
F. Hasil Estimasi Kecepatan <i>Pitching</i> untuk 3000 Iterasi .....	67
F.1 Hasil estimasi <i>Pitching</i> dengan $N_e = 10$ pada EnKF .....	67
F.2 Hasil estimasi <i>Pitching</i> dengan $N_e = 100$ pada EnKF .....	68
F.3 Hasil estimasi <i>Pitching</i> dengan $N_e = 500$ pada EnKF .....	68
F.4 Hasil estimasi <i>Pitching</i> dengan $N_e = 1000$ pada EnKF .....	69
F.5 Hasil estimasi <i>Pitching</i> dengan EKF .....	69
G. Hasil Estimasi Kecepatan dengan EnKF untuk 200 <i>Ensemble</i> .....	70
G.1 Hasil estimasi Kecepatan <i>Swaying</i> .....	70
G.2 Hasil estimasi Kecepatan <i>Heaving</i> .....	70
G.3 Hasil estimasi Kecepatan <i>Surgings</i> .....	71
G.4 Hasil estimasi Kecepatan <i>Yawing</i> .....	71
G.5 Hasil estimasi Kecepatan <i>Rolling</i> .....	72
G.6 Hasil estimasi Kecepatan <i>Pitching</i> .....	72
H. Hasil Estimasi Kecepatan dengan EnKF untuk 300 <i>Ensemble</i> .....	73
H.1 Hasil Estimasi Kecepatan <i>Swaying</i> .....	73
H.2 Hasil estimasi Kecepatan <i>Heaving</i> .....	73
H.3 Hasil estimasi Kecepatan <i>Surgings</i> .....	74
H.4 Hasil estimasi Kecepatan <i>Yawing</i> .....	74
H.5 Hasil estimasi Kecepatan <i>Rolling</i> .....	75
H.6 Hasil estimasi Kecepatan <i>Pitching</i> .....	75
I. Hasil Estimasi Kecepatan dengan EnKF untuk 400 <i>Ensemble</i> .....	76
I.1 Hasil Estimasi Kecepatan <i>Swaying</i> .....	76
I.2 Hasil estimasi Kecepatan <i>Heaving</i> .....	76



I.3 Hasil estimasi Kecepatan <i>Surgin</i> .....	77
I.4 Hasil estimasi Kecepatan <i>Yawing</i> .....	77
I.5 Hasil estimasi Kecepatan <i>Rolling</i> .....	78
I.6 Hasil estimasi Kecepatan <i>Pitching</i> .....	78
G. Skrip Program .....	79

