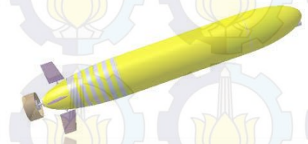


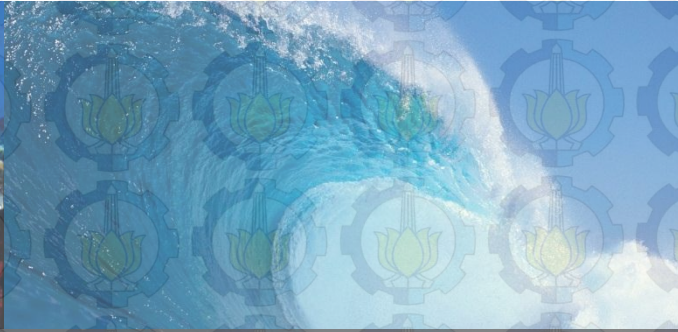
ALWAYS SECOND



*Presented by:* NGATINI



Estimasi Posisi  
AUV



*Presented by:* NGATINI

*Perbandingan antara Ensemble Kalman Filter  
dan Fuzzy Kalman Filter:*

Aplikasi pada Estimasi Posisi  
Autonomous Underwater Vehicle



*Perbandingan antara Ensemble Kalman Filter dan Fuzzy Kalman Filter:*  
Aplikasi pada Estimasi Posisi Autonomous Underwater Vehicle

*Supervisor:*

Prof. Dr. Dra. Erna Apriliani, M.Si  
Hendro Nurhadi, Dipl-Ing., Ph.D

# BAGAIMANA PENELITIAN INI

FUZZY KALMAN FILTER  
(ZUNIF ERMAYANTI, 2015)



ENSEMBLE KALMAN FILTER



Perbandingan  
Estimasi Posisi  
AUV antara  
Metode EnKF  
dan FKF



RUMUSAN  
MASALAH



Bagaimana Estimasi Posisi AUV dengan EnKF

Bagaimana Perbandingan Estimasi EnKF dan FKF





TUJUAN



Estimasi posisi AUV sesuai dengan lintasan.

---



Metode yang lebih baik dalam estimasi posisi AUV.

---

## MANFAAT

- Sebagai pengembangan dan penunjang penelitian pada bidang AUV
- Sebagai pustaka atau acuan untuk penelitian AUV selanjutnya
- Sebagai alat yang dapat diaplikasikan di Indonesia untuk beberapa bidang seperti industri kelautan, Militer, keilmuan, militer, lingkungan, pertahanan dan keamanan



# AUV

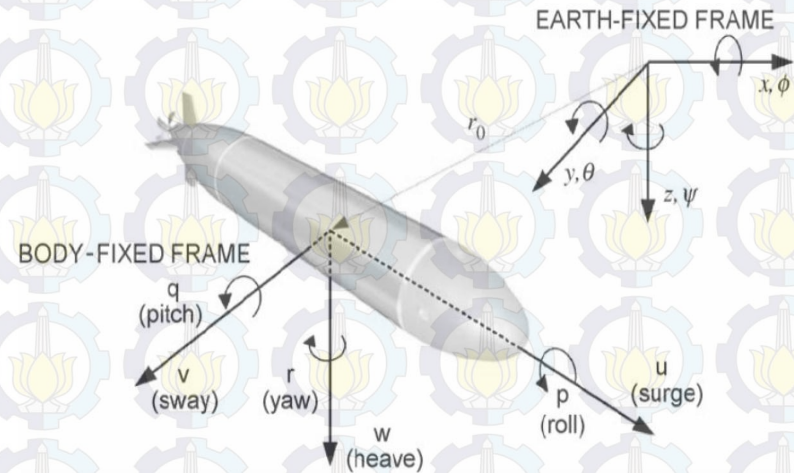
AUV adalah perangkat robotik yang dikendalikan di dalam air dengan menggunakan sistem penggerak, dikontrol dan dikemudikan (dikendalikan) oleh perangkat komputer dan bermanuver pada tiga dimensi (Von Alt, 2003).



Gambar 1. AUV Segorogeni ITS

*AUV 6 DOF :*  
*3 Gerak Translasi*  
*3 Gerak Rotasi*

*Koordinat :*  
*Pusat Bumi*  
*Pusat Body*



Gambar 2. Sistem Koordinat AUV

# NOTASI AUV

Gaya/Momen

KECEPATAN

POSISI

SURGE

X

u

x

SWAY

Y

v

y

HEAVE

Z

w

z



# NOTASI AUV

Gaya/Momen

KECEPATAN

POSISI

ROLL

K

p

$\phi$

PITCH

M

q

$\theta$

YAW

N

r

$\psi$



$$m[\dot{u} - vr + wq - x_G(q^2 + r^2) + y_G(pq - \dot{r})]$$

SURGE



$$m[\dot{v} - wp + ur - y_G(r^2 + p^2) + z_G(qr - \dot{p})]$$

SWAY



$$m[\dot{w} - uq + vp - z_G(p^2 + q^2) + x_G(rp - \dot{q})]$$

HEAVE



ROLL

$$\begin{aligned} & I_x \dot{p} + (I_z - I_y)qr \\ & + m[y_G(\dot{w} - uq + vp) - z_G(\dot{v} - wp + ur)] \\ & = K_{res} + K_p|p|p + K_{\dot{p}}\dot{p} + K_{prop} \end{aligned}$$



PITCH

$$\begin{aligned} & I_y \dot{q} + (I_x - I_z)rp \\ & + m[z_G(\dot{u} - vr + wq) - x_G(\dot{w} - uq + vp)] \\ & = M_{res} + M_{w|w|}w|w| + M_{q|q|}q|q| + M_{\dot{w}}\dot{w} \\ & + M_{\dot{q}}\dot{q} + M_{uq}uq + M_{vp}vp + M_{rp}rp + M_{uw}uw \\ & + M_{uu\delta_s}u^2\delta_s \end{aligned}$$



YAW

$$\begin{aligned} & I_z \dot{r} + (I_y - I_x) pq \\ & + m [x_G (\dot{v} - wp + ur) - y_G (\dot{u} - vr + wq)] \\ & = N_{res} + N_{v|v|} v|v| + N_{r|r|} r|r| + N_{\dot{v}} \dot{v} + N_{\dot{r}} \dot{r} \\ & + N_{ur} ur + N_{wp} wp + N_{pq} pq + N_{uv} uv \\ & + M_{uu\delta_r} u^2 \delta_r \end{aligned}$$



# PENELITIAN SEBELUMNYA

ZUNIF ERMAYANTI

“Estimasi dan Kendali Posisi Autonomous Underwater Vehicle Berdasarkan Lintasan yang Ditentukan”.



***FUZZY KALMAN  
FILTER***



*Estimasi dan Kendali Posisi Autonomous Underwater Vehicle*  
Berdasarkan Lintasan yang Ditentukan (Ermayanti, 2015)

LINEARISASI



$$\dot{x} = Ax + By$$

$$x = \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \\ p \\ q \\ r \end{bmatrix}$$

$$y = \begin{bmatrix} K_{prop} \\ \delta_s \\ \delta_r \\ X_{prop} \\ \delta_r \\ \delta_s \end{bmatrix}$$



$$E = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{mz_G}{m - X_{\dot{u}}} & \frac{my_G}{m - X_{\dot{u}}} \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -\frac{mz_G}{m - Y_{\dot{v}}} & 0 & (mx_G - Y_{\dot{r}}) \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & \frac{my_G}{m - Z_{\dot{w}}} & \frac{mz_G}{m - Z_{\dot{w}}} & 0 \\ 0 & -\frac{mz_G}{I_x - K_{\dot{p}}} & -\frac{mz_G}{I_x - K_{\dot{p}}} & \frac{my_G}{(M_{\dot{w}} + x_G)} & 1 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{mz_G}{I_y - M_{\dot{q}}} & 0 & 0 & -\frac{my_G}{I_y - M_{\dot{q}}} & 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\frac{my_G}{I_z - N_{\dot{r}}} & \frac{(mx_G - N_{\dot{v}})}{I_z - N_{\dot{r}}} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$



$$A = E^{-1} \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 & d_1 & e_1 & f_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & d_2 & e_2 & f_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 & d_3 & e_3 & f_3 \\ a_4 & b_4 & c_4 & d_4 & e_4 & f_4 \\ a_5 & b_5 & c_5 & d_5 & e_5 & f_5 \\ a_6 & b_6 & c_6 & d_6 & e_6 & f_6 \end{bmatrix}$$

$$B = E^{-1} \begin{bmatrix} K_1 & L_1 & M_1 & N_1 & O_1 & P_1 \\ K_2 & L_2 & M_2 & N_2 & O_2 & P_2 \\ K_3 & L_3 & M_3 & N_3 & O_3 & P_3 \\ K_4 & L_4 & M_4 & N_4 & O_4 & P_4 \\ K_5 & L_5 & M_5 & N_5 & O_5 & P_5 \\ K_6 & L_6 & M_6 & N_6 & O_6 & P_6 \end{bmatrix}$$



## MBH Maju

$$\begin{bmatrix} u_{k+1} \\ v_{k+1} \\ w_{k+1} \\ p_{k+1} \\ q_{k+1} \\ r_{k+1} \end{bmatrix} = E^{-1} \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & c_1 & d_1 & e_1 & f_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & d_2 & e_2 & f_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 & d_3 & e_3 & f_3 \\ a_4 & b_4 & c_4 & d_4 & e_4 & f_4 \\ a_5 & b_5 & c_5 & d_5 & e_5 & f_5 \\ a_6 & b_6 & c_6 & d_6 & e_6 & f_6 \end{bmatrix} \Delta t + \begin{bmatrix} u_k \\ v_k \\ w_k \\ p_k \\ q_k \\ r_k \end{bmatrix} + E^{-1} \begin{bmatrix} K_1 & L_1 & M_1 & N_1 & O_1 & P_1 \\ K_2 & L_2 & M_2 & N_2 & O_2 & P_2 \\ K_3 & L_3 & M_3 & N_3 & O_3 & P_3 \\ K_4 & L_4 & M_4 & N_4 & O_4 & P_4 \\ K_5 & L_5 & M_5 & N_5 & O_5 & P_5 \\ K_6 & L_6 & M_6 & N_6 & O_6 & P_6 \end{bmatrix} \Delta t \begin{bmatrix} K_{prop} \\ \delta_s \\ \delta_r \\ X_{prop} \\ \delta_r \\ \delta_s \end{bmatrix}$$



Simbol	Keterangan	Inisialisasi
$u^-$	Menunjukkan kecepatan surge minimum	0
$u^+$	Menunjukkan kecepatan surge maksimum	1
$v^-$	Menunjukkan kecepatan sway minimum	0
$v^+$	Menunjukkan kecepatan sway maksimum	1
$w^-$	Menunjukkan kecepatan heave minimum	0
$w^+$	Menunjukkan kecepatan heave maksimum	1
$p^-$	Menunjukkan kecepatan roll minimum	0
$p^+$	Menunjukkan kecepatan roll maksimum	1
$q^-$	Menunjukkan kecepatan pitch minimum	0
$q^+$	Menunjukkan kecepatan pitch maksimum	1
$r^-$	Menunjukkan kecepatan yaw minimum	0
$r^+$	Menunjukkan kecepatan yaw maksimum	1



# Fuzzifikasi Fungsi Kenggotaan

Jika kecepatan  
minimum

$$\mu_{u1} = \frac{u - u^-}{u^+ - u^-}$$

Jika kecepatan  
maksimum

$$\mu_{u1} = \frac{u^+ - u}{u^+ - u^-}$$



# Aturan Dasar Logika Fuzzy

IF-THEN

*IF a is  $A_i$  Then  $x_{k+1}^i = \mu_{A_i}^i(a)x_k$*



# Aturan Dasar Logika Fuzzy

$$n=6, 2^6 = 64 \text{ Aturan}$$

Aturan	u	v	w	p	q	r	Output
1	1	1	1	1	1	1	$A_1$
2	1	1	1	1	1	0	$A_2$
3	1	1	1	1	0	1	$A_3$
4	1	1	1	1	0	0	$A_4$
5	1	1	1	0	1	1	$A_5$
6	1	1	1	0	1	0	$A_6$
7	1	1	1	0	0	1	$A_7$
8	1	1	1	0	0	0	$A_8$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
64	0	0	0	0	0	0	$A_{64}$



# Algoritma Fuzzy Kalman Filter

Model Sistem  
dan Pengukuran

$$\begin{aligned}x_{k+1} &= A_k^i x_k + B_k u_k + \xi_k \\z_k &= H_k x_k + \zeta_k \\ \xi_k &\sim N(0, Q_k), \zeta_k \sim N(0, R_k)\end{aligned}$$

Inisialisasi Awal

$$\begin{aligned}\hat{x}(0) &= \hat{x}_0 \\ P(0) &= P_0\end{aligned}$$



# Algoritma Fuzzy Kalman Filter

Tahap Prediksi

$$\hat{x}_{k+1}^- = A_k^i \hat{x}_k + B_k u_k$$

$$P_{k+1}^- = A_k^i P_k (A_k^i)^T + Q$$



# Algoritma Fuzzy Kalman Filter

Kalman Gain

$$K_{k+1} = P_{k+1}^- H_{k+1}^T (H_{k+1} P_{k+1}^- H_{k+1}^T + R_{k+1})^{-1}$$

Tahap  
Koreksi

Update Estimasi:

$$\hat{x}_{k+1} = \hat{x}_{k+1}^- + K_{k+1} (z_{k+1} - H \hat{x}_{k+1}^-)$$

Update Kovarian Error:

$$P_{k+1} = (I - K_{k+1} H_{k+1}) P_{k+1}^-$$



# Defuzzifikasi

$$\hat{x}_{k+1}^- = \frac{\rho^1 \hat{x}_{k+1}^1 + \rho^2 \hat{x}_{k+1}^2 + \dots + \rho^{64} \hat{x}_{k+1}^{64}}{\rho^1 + \rho^2 + \dots + \rho^{64}}$$



*Estimasi dan Kendali Posisi Autonomous Underwater Vehicle*  
Berdasarkan Lintasan yang Ditentukan (Ermayanti, 2015)

Metode Fuzzy Kalman Filter (FKF) dan Kalman Filter (KF) dapat digunakan untuk estimasi posisi gerak AUV.

RMSE hasil estimasi dengan menggunakan Fuzzy Kalman Filter memiliki error yang lebih kecil dibandingkan dengan Kalman Filter. Namun waktu komputasi yang dibutuhkan metode FKF lebih lama dibandingkan dengan KF.



# ENSEMBLE KALMAN FILTER PADA ESTIMASI POSISI AUV

$$\begin{pmatrix}
 1 & 0 & 0 & 0 & \frac{mz_G}{m - X_{\dot{u}}} & -\frac{my_G}{m - X_{\dot{u}}} \\
 0 & 1 & 0 & -\frac{mz_G}{m - Y_{\dot{v}}} & 0 & (mx_G - Y_{\dot{r}}) \\
 0 & 0 & 1 & \frac{my_G}{m - Z_{\dot{w}}} & -\frac{mz_G}{m - Z_{\dot{w}}} & 0 \\
 \frac{mz_G}{I_y - M_{\dot{q}}} & -\frac{mz_G}{I_x - K_{\dot{p}}} & \frac{my_G}{I_x - K_{\dot{p}}} & \frac{my_G}{m - Z_{\dot{w}}} & -\frac{mz_G}{m - Z_{\dot{w}}} & 0 \\
 \frac{my_G}{I_z - N_{\dot{r}}} & 0 & -\frac{(M_{\dot{w}} + x_G)}{I_y - M_{\dot{q}}} & 1 & 0 & 0 \\
 -\frac{my_G}{I_z - N_{\dot{r}}} & \frac{(mx_G - N_{\dot{v}})}{I_z - N_{\dot{r}}} & \frac{I_y - M_{\dot{q}}}{I_y - M_{\dot{q}}} & 0 & 1 & 0 \\
 \frac{my_G}{I_z - N_{\dot{r}}} & \frac{(mx_G - N_{\dot{v}})}{I_z - N_{\dot{r}}} & 0 & 0 & 0 & 1
 \end{pmatrix}
 \begin{pmatrix}
 \dot{u} \\
 \dot{v} \\
 \dot{w} \\
 \dot{p} \\
 \dot{q} \\
 \dot{r}
 \end{pmatrix}
 =
 \begin{pmatrix}
 B1 \\
 B2 \\
 B3 \\
 B4 \\
 B5 \\
 B6
 \end{pmatrix}$$



$$\begin{aligned}
 A\dot{x} &= B \\
 \dot{x} &= A^{-1}B
 \end{aligned}$$



$$B_1 = \frac{1}{m - X_{\dot{u}}} \left( \begin{array}{c} X_{res} + X_{u|u|}u|u| + X_{wq}wq + X_{qq}qq \\ + X_{vr}vr + X_{rr}rr + X_{prop} \\ -m[-vr + wq - x_G(q^2 + r^2) + y_G(pq) + z_G(pr)] \end{array} \right)$$

$$B_2 = \frac{1}{m - Y_{\dot{v}}} \left( \begin{array}{c} Y_{res} + Y_{v|v|}v|v| + Y_{r|r|}r|r| + Y_{ur}ur \\ + Y_{wp}wp + Y_{pq}pq + Y_{uv}uv + Y_{uu\delta_r}u^2\delta_r \\ -m[-wp + ur - y_G(r^2 + p^2) + z_G(qr) + x_G(pq)] \end{array} \right)$$



$$B_3 = \frac{1}{m - Z_{\dot{w}}} \begin{pmatrix} Z_{res} + Z_{w|w|}w|w| + Z_{q|q|}q|q| + Z_{uq}uq \\ + Z_{vp}vp + Z_{rp}rp + Z_{uw}uw + Z_{uu\delta_s}u^2\delta_s \\ -m[\dot{w} - uq + vp - z_G(p^2 + q^2) + x_G(rp) + y_G(rq)] \end{pmatrix}$$

$$B_4 = \frac{1}{I_x - K_{\dot{p}}} \begin{pmatrix} K_{res} + K_{p|p|}p|p| + K_{prop} - (I_z - I_y)qr \\ -m[y_G(-uq + vp) - z_G(-wp + ur)] \end{pmatrix}$$



$$B_5 = \frac{1}{I_y - M\dot{q}} \left( \begin{array}{l} M_{res} + M_{w|w|}w|w| + M_{q|q|}q|q| \\ + M_{uq}uq + M_{vp}vp + M_{rp}rp + M_{uw}uw + M_{uu\delta_s}u^2\delta_s \\ -(I_x - I_z)rp - m[z_G(-vr + wq) - x_G(-uq + vp)] \end{array} \right)$$

$$B_6 = \frac{1}{I_z - N\dot{r}} \left( \begin{array}{l} N_{res} + N_{v|v|}v|v| + N_{r|r|}r|r| \\ + N_{ur}ur + N_{wp}wp + N_{pq}pq + N_{uv}uv + M_{uu\delta_r}u^2\delta_r \\ -(I_y - I_x)pq - m[x_G(-wp + ur) - y_G(-vr + wq)] \end{array} \right)$$



# Diskritisasi

Metode Beda Hingga Maju

$$\dot{x} = \frac{x_{k+1} - x_k}{\Delta t}$$

$$\begin{bmatrix} u_{k+1} \\ v_{k+1} \\ w_{k+1} \\ p_{k+1} \\ q_{k+1} \\ r_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_k \\ v_k \\ w_k \\ p_k \\ q_k \\ r_k \end{bmatrix} + \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{mz_G}{m-X\dot{u}} & -\frac{my_G}{m-X\dot{u}} \\ 0 & 1 & 0 & 0 & -\frac{mz_G}{m-Y\dot{v}} & 0 & \frac{(mx_G-Y\dot{r})}{m-Y\dot{v}} \\ 0 & 0 & 1 & 0 & \frac{my_G}{m-Z\dot{w}} & -\frac{mz_G}{m-Z\dot{w}} & 0 \\ 0 & -\frac{mz_G}{I_x-K\dot{p}} & \frac{my_G}{I_x-K\dot{p}} & \frac{my_G}{m-Z\dot{w}} & -\frac{mz_G}{m-Z\dot{w}} & 0 & 0 \\ \frac{mz_G}{I_y-M\dot{q}} & 0 & -\frac{(M\dot{w}+x_G)}{I_y-M\dot{q}} & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{my_G}{I_z-N\dot{r}} & \frac{(mx_G-N\dot{v})}{I_z-N\dot{r}} & \frac{I_y-M\dot{q}}{I_z-N\dot{r}} & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} B1 \\ B2 \\ B3 \\ B4 \\ B5 \\ B6 \end{pmatrix} \Delta t$$



# State Space

State Space dari Model Dinamik Gerak  
AUV

$$x_{k+1} = x_k + \Delta t A^{-1} B$$
$$x_{k+1} = f(x_k, k)$$



## Model Sistem dan Pengukuran

$$x_{k+1} = f(x_k, k) + w_k$$

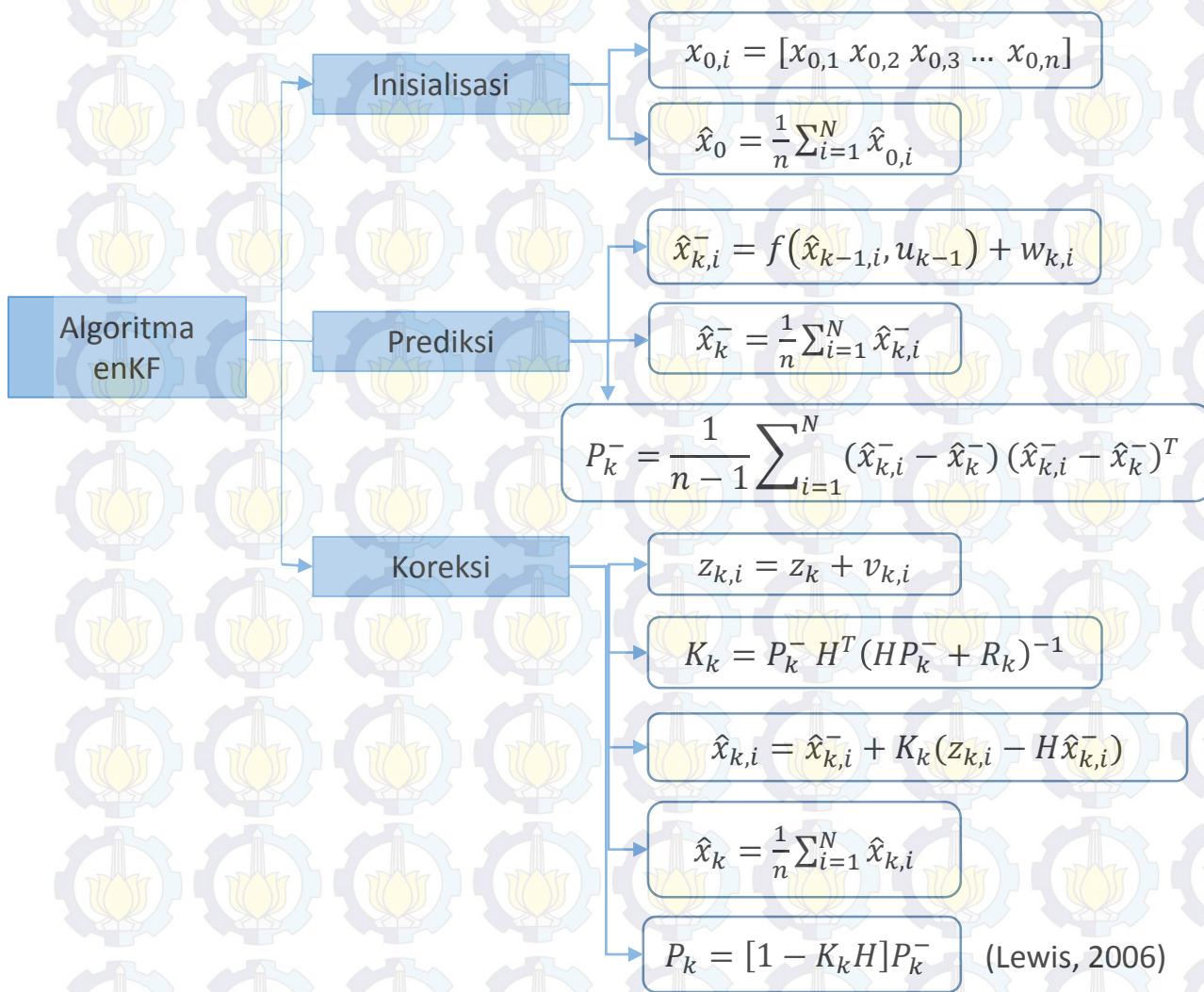
$$z_k = Hx_k + v_k$$

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Q = 10^{-6}$$
$$R = 10^{-6}$$



# Algoritma Ensemble Kalman Filter



## ENSEMBLE KALMAN FILTER (Enkf)

EnKF merupakan salah satu modifikasi metode Kalman Filter. EnKF adalah metode estimasi yang banyak digunakan untuk estimasi berbagai persoalan berbentuk model sistem non linier.



# Algoritma Ensemble Kalman Filter

Inisialisasi

$$x_{0,i} = [x_{0,1} \ x_{0,2} \ x_{0,3} \ \dots \ x_{0,n}]$$

$$\hat{x}_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \hat{x}_{0,i}$$



# Algoritma Ensemble Kalman Filter

$$\hat{x}_{k,i}^- = f(\hat{x}_{k-1,i}, u_{k-1}) + w_{k,i}$$

Tahap Prediksi

$$\hat{x}_k^- = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N \hat{x}_{k,i}^-$$

$$P_k^- = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^N (\hat{x}_{k,i}^- - \hat{x}_k^-) (\hat{x}_{k,i}^- - \hat{x}_k^-)^T$$



# Algoritma Ensemble Kalman Filter

## Tahap Koreksi

$$z_{k,i} = z_k + v_{k,i}$$

$$K_k = P_k^- H^T (HP_k^- + R_k)^{-1}$$

$$\hat{x}_{k,i} = \hat{x}_{k,i}^- + K_k (z_{k,i} - H\hat{x}_{k,i}^-)$$

$$\hat{x}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \hat{x}_{k,i}$$

$$P_k = [1 - K_k H] P_k^-$$

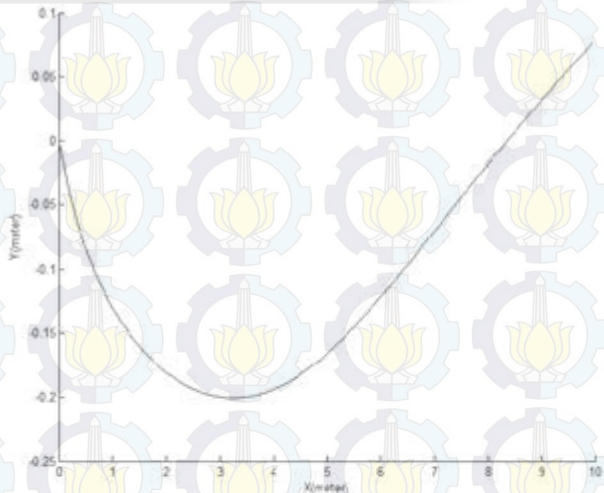


# Transformasi Posisi

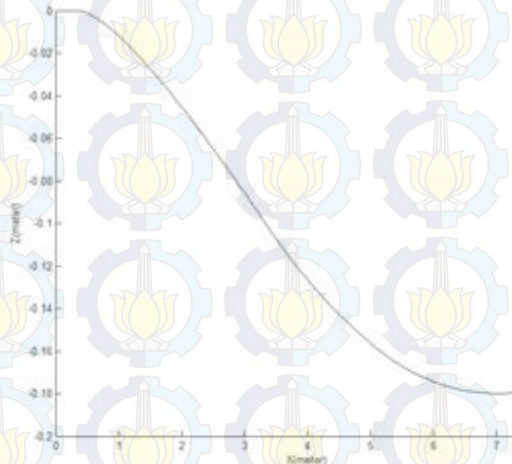
$$\begin{aligned}\dot{x} &= u \cos(\psi) - v \sin(\psi) \\ \dot{y} &= u \sin(\psi) + v \cos(\psi) \\ \dot{z} &= w \\ \dot{\psi} &= r\end{aligned}$$



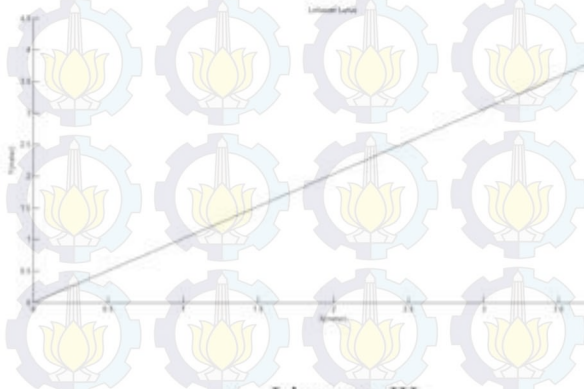
# LINTASAN AUV



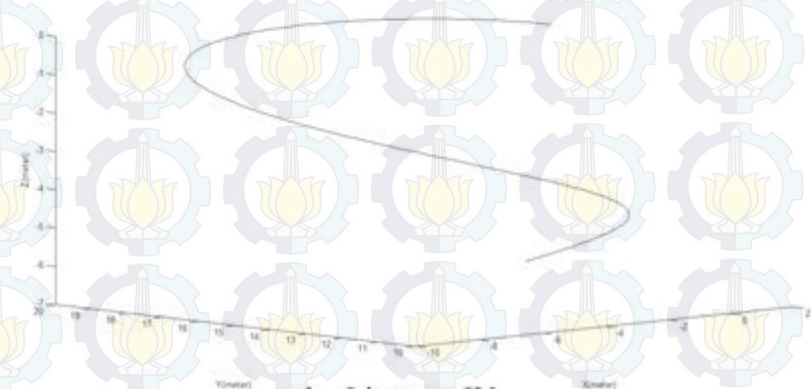
a. Lintasan I



b. Lintasan II



c. Lintasan III

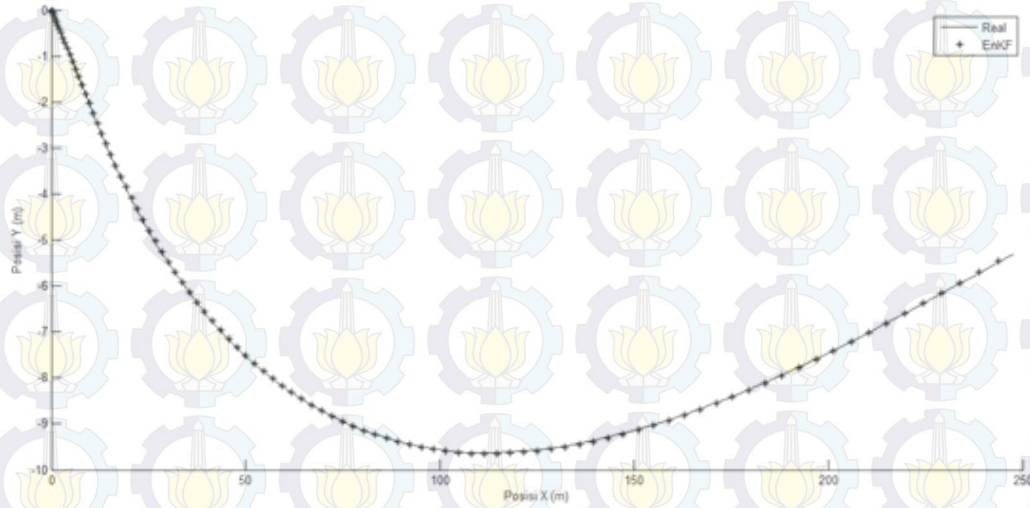


d. Lintasan IV

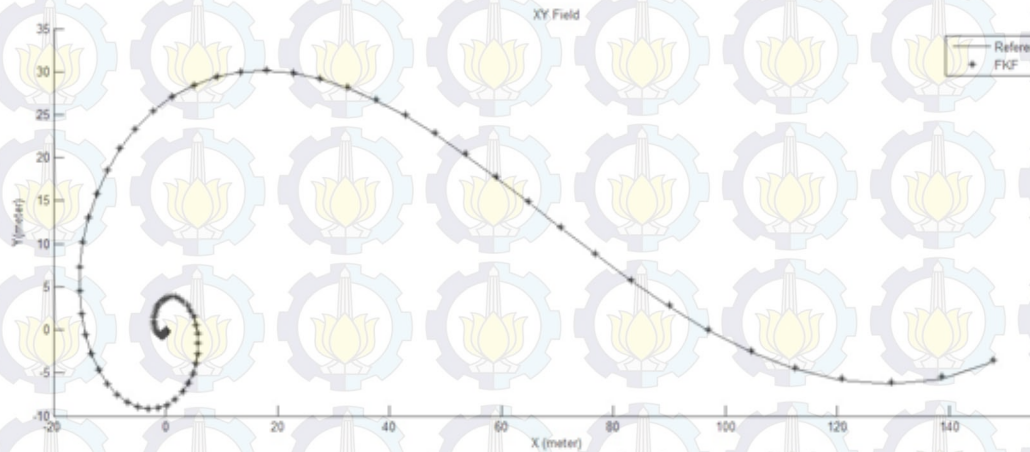


# LINTASAN PERSAMAAN DINAMIK GERAK AUV

ENKF

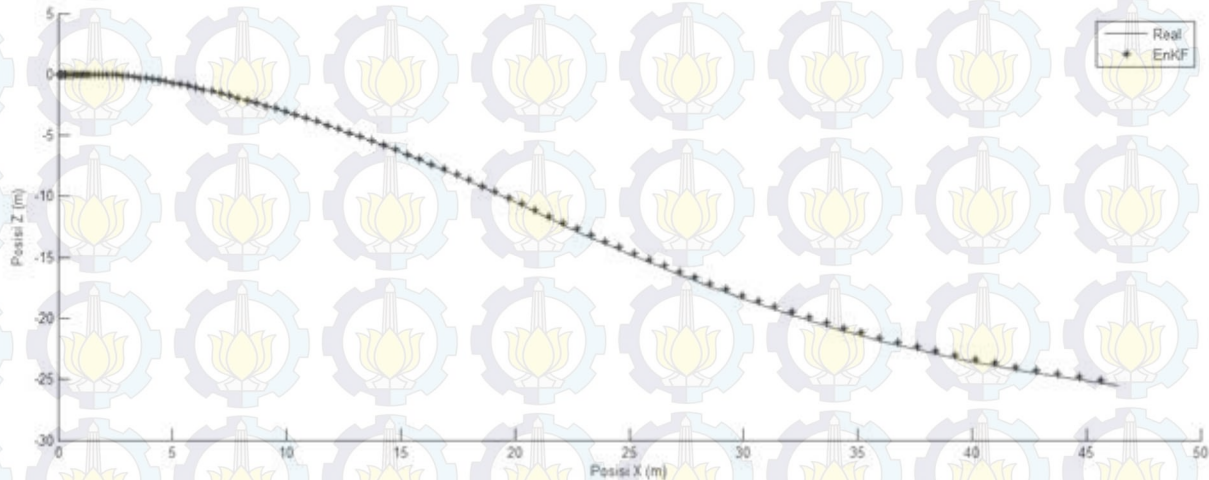


FKF

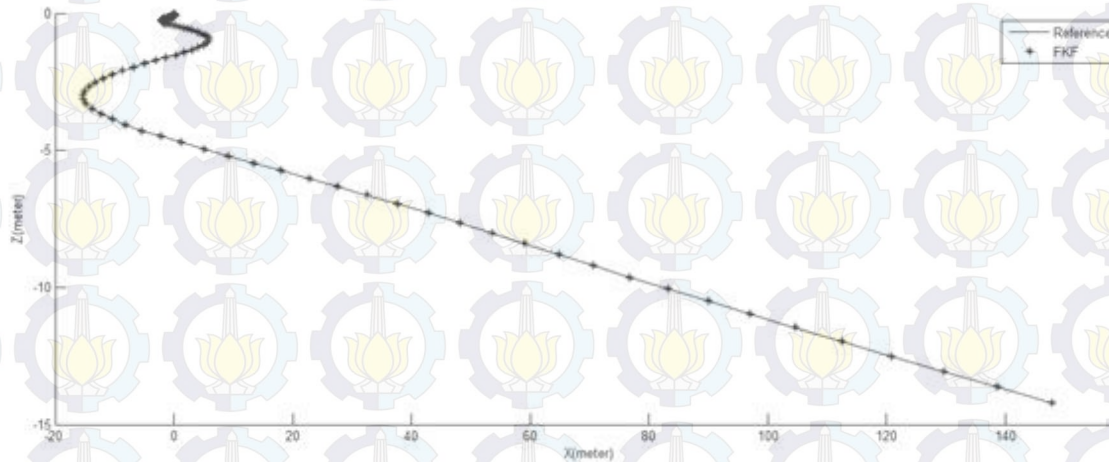


# LINTASAN PERSAMAAN DINAMIK GERAK AUV

ENKF

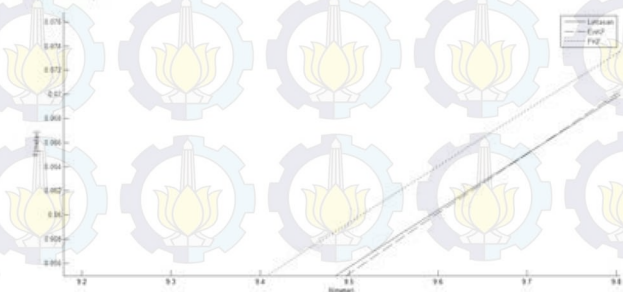
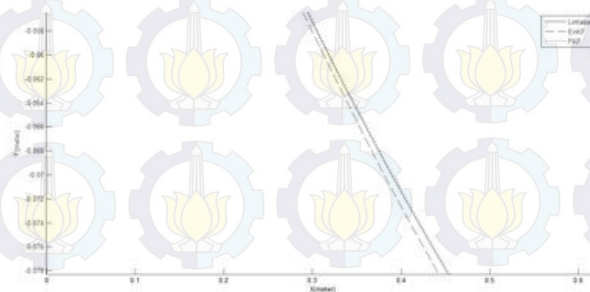
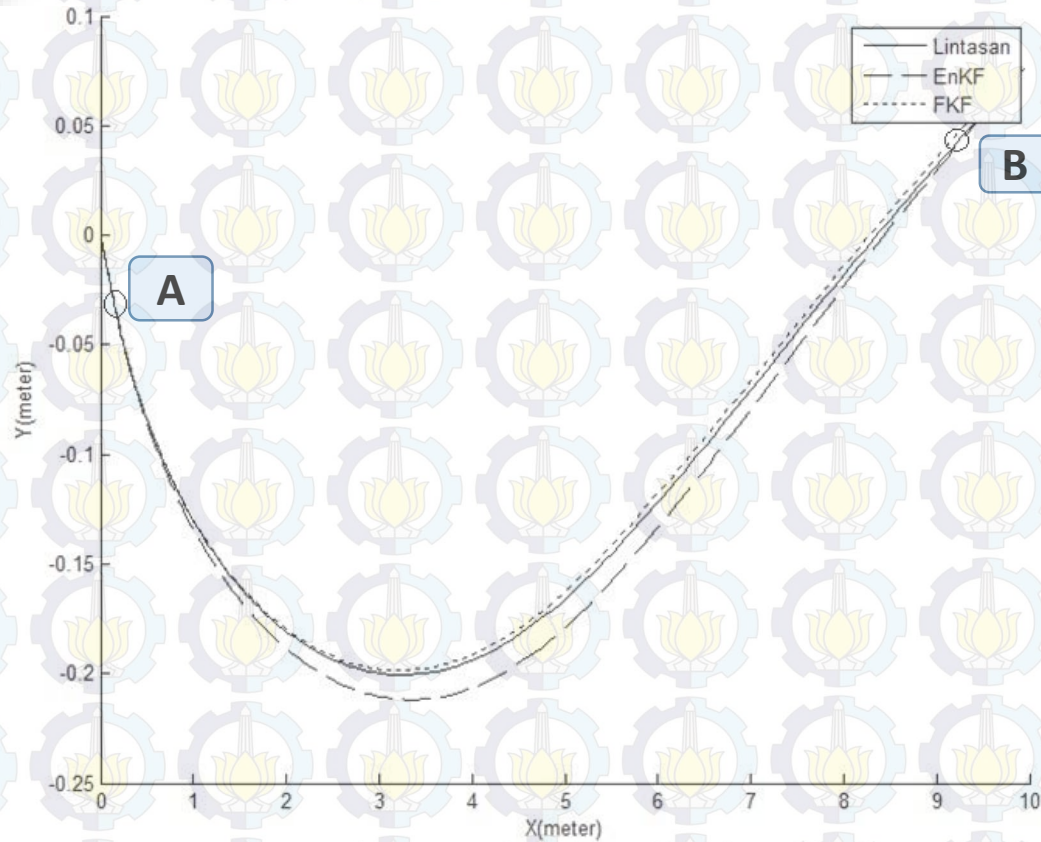


FKF



# PERBANDINGAN HASIL ESTIMASI

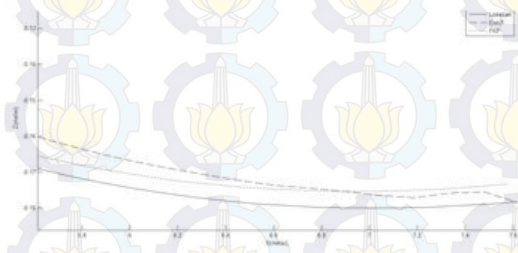
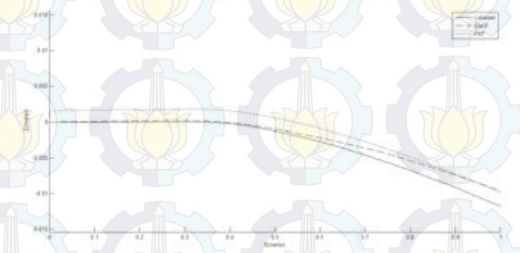
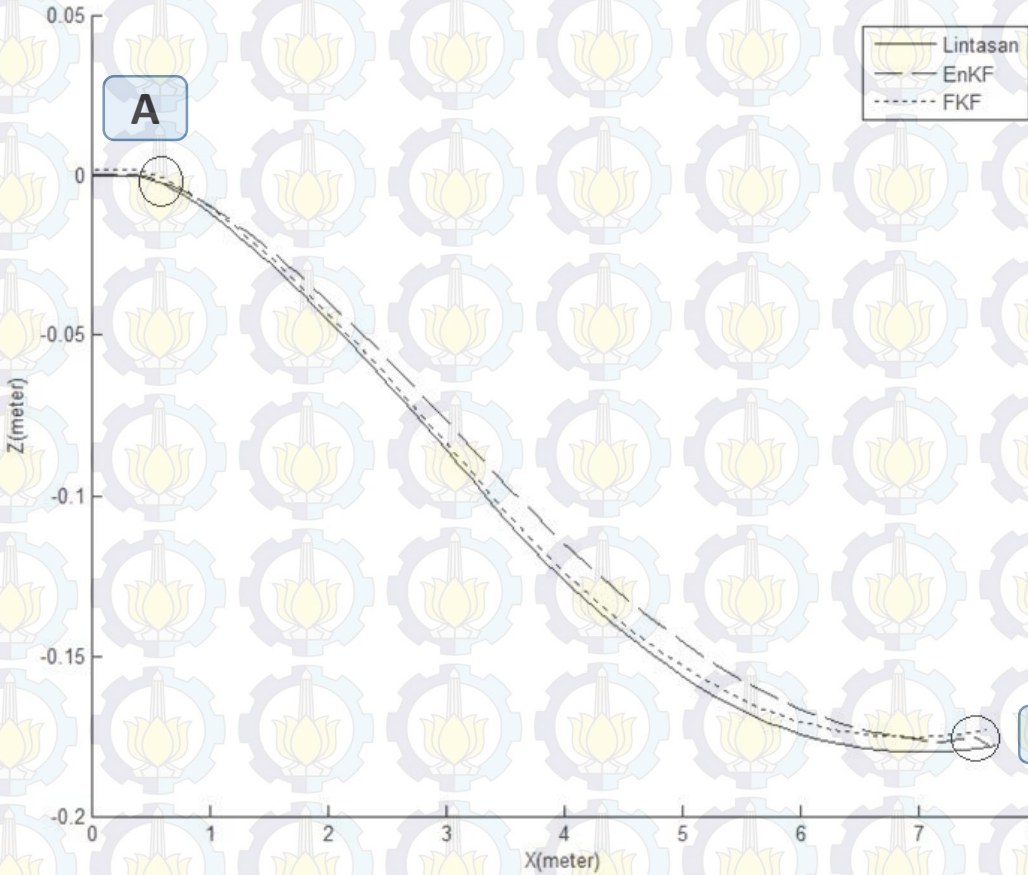
## LINTASAN I



A

B

# LINTASAN II

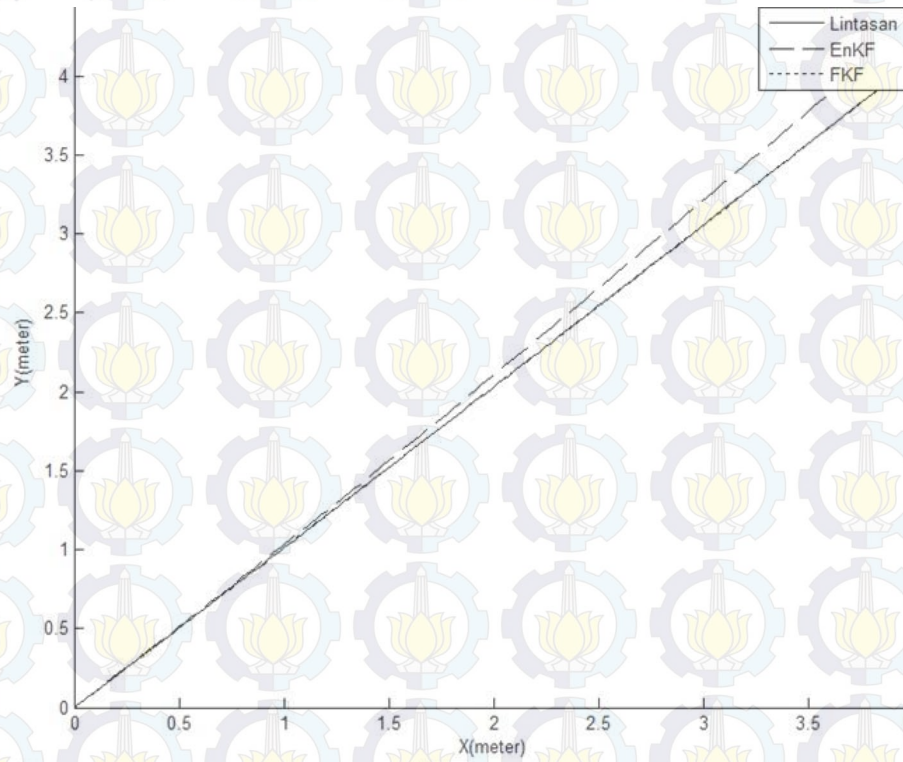


A

B



# LINTASAN III

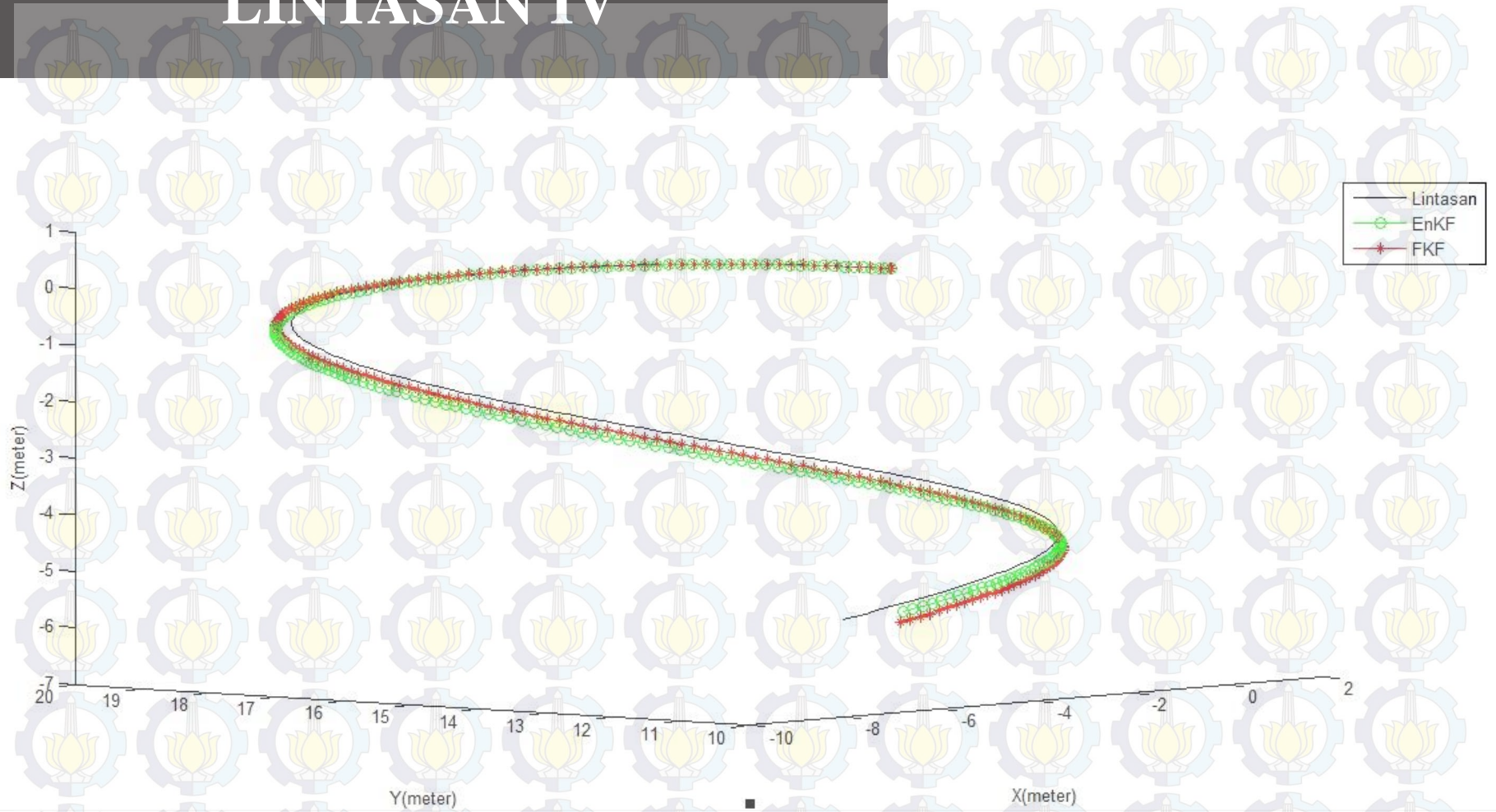


**FUZZY**

**ENKF**



# LINTASAN IV



# RMSE, WAKTU KOMPUTASI DAN PERSENTASE ERROR

## LINTASAN PERSAMAAN DINAMIK

---

No	Metode	Posisi X (m)	Posisi Y (m)	Sudut (rad)	Waktu (s)
1	EnKF	<u>0,00152</u>	<u>0,00138</u>	<u>0,001123</u>	<u>1,688380</u>
2	FKF	0,01981	<u>0,01778</u>	<u>0,002287</u>	<u>3,3382</u>

---

No	Metode	Posisi X (%)	Posisi Y (%)	Sudut (%)
1	EnKF	<u>0,00152</u>	<u>0,00138</u>	<u>0,001123</u>
2	FKF	0,01981	<u>0,01778</u>	<u>0,002287</u>

---



## LINTASAN I

---

No	Metode	Posisi X	Posisi Y	Sudut	Waktu
1	EnKF	<u>0,03953</u>	0,00814	0,002008	2,91739
2	FKF	0,044275	<u>0,001251</u>	<u>0,0000199</u>	<u>3,496043</u>

---

No	Metode	Posisi X (%)	Posisi Y (%)
1	EnKF	<u>0,43</u>	<u>0,85</u>
2	FKF	0,98	<u>3,31</u>

---



## LINTASAN II

---

No	Metode	Posisi X	Posisi Z	Sudut	Waktu
1	EnKF	0,0553	0,0077	0,0427	<u>2,983</u>
2	FKF	<u>0,0334</u>	<u>0,0031</u>	<u>0,00204</u>	<u>3,231</u>

---

No	Metode	Posisi X (%)	Posisi Z (%)
1	EnKF	<u>0,087</u>	2,41
2	FKF	0,171	<u>1,49</u>

---



## LINTASAN III

---

No	Metode	Posisi X	Posisi Y	Sudut	Waktu
1	EnKF	0,009	0,0044	0,005	2,642
2	FKF	<u>0,00045</u>	<u>0,00046</u>	<u>0,00001</u>	<u>3,5532</u>

---

No	Metode	Posisi X (%)	Posisi Y (%)
1	EnKF	0,977	4,86
2	FKF	<u>0,928</u>	<u>0,83</u>

---



## LINTASAN IV

No	Metode	Posisi X	Posisi Y	Posisi Z	Sudut	Waktu
1	EnKF	0,47017	0,467	0,082	0,10039	2,8194
2	FKF	<u>0,3747</u>	<u>0,3662</u>	<u>0,0188</u>	<u>0,100388</u>	<u>3,80326</u>

No	Metode	Posisi X (%)	Posisi Y (%)	Posisi Z (%)
1	EnKF	0,454	4,834	3,525
2	FKF	0,661	<u>4,089</u>	0,886



## KESIMPULAN

1. Metode Fuzzy Kalman Filter dan Ensemble Kalman Filter dapat digunakan untuk estimasi posisi AUV sesuai dengan lintasan yang ditentukan.

## KESIMPULAN

2. Pada kasus lintasan yang dibangun dengan sistem persamaan dinamik gerak AUV, metode Ensemble Kalman Filter menghasilkan estimasi yang lebih bagus dibandingkan dengan metode Fuzzy Kalman Filter.
3. Pada kasus lintasan membelok, menyelam, lurus dan lintasan tiga dimensi, metode yang lebih baik digunakan untuk estimasi posisi AUV tersebut yaitu metode Fuzzy Kalman Filter dibandingkan dengan metode Ensemble Kalman Filter.



## KESIMPULAN

4. Metode EnKF mampu mengestimasi lintasan yang dibangun dari persamaan dinamik gerak AUV yang persentase error posisi akhir  $x$ ,  $y$  dan  $z$  yaitu 0,032 %, 0,051 % dan 0,0768% yang berarti bahwa hasil estimasi posisi mendekati posisi tujuan lintasan.
5. Pada kasus estimasi posisi AUV, metode Ensemble Kalman Filter lebih optimal dan mampu menghasilkan estimasi yang bagus pada model sistem yang dibangun dari persamaan dinamik non linier gerak AUV

## KESIMPULAN

6. Lama waktu komputasi dari metode Ensemble Kalman Filter dipengaruhi oleh jumlah ensemble yang dibangkitkan.
7. Waktu komputasi Ensemble Kalman Filter dengan pembangkitan 50 ensemble lebih cepat dibandingkan dengan Fuzzy Kalman Filter.





*Perbandingan antara Ensemble Kalman Filter dan Fuzzy Kalman Filter:*  
Aplikasi pada Estimasi Posisi Autonomous Underwater Vehicle

TERIMA KASIH

*Presented by:*  
NGATINI

