

# Estimasi Model Penyebaran Penyakit Demam Berdarah dengan Menggunakan Metode *Ensemble Kalman Filter*

Muhammad Jirov Rexiansyah Grystnop Sutopo dan Didik Khusnul Arif  
Departemen Matematika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
e-mail: didik@matematika.its.ac.id

**Abstrak**—Penyakit Demam Berdarah atau juga dikenal dengan Demam Berdarah Dengue (DBD) merupakan masalah utama di Indonesia, salah satunya adalah pada provinsi Sulawesi Selatan. Penyakit Demam Berdarah merupakan penyakit yang disebabkan oleh virus dengue dengan media penyebarannya merupakan nyamuk *Aedes Aegypti*. Dari masalah tersebut maka diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai penyebaran penyakit demam berdarah. Penelitian yang dilakukan adalah estimasi model matematika penyebaran penyakit demam berdarah. Model yang digunakan adalah model SIRS (*Susceptible, Infected, Recovered*). Didalam penelitian ini dilakukan estimasi model penyakit demam berdarah dengan metode *Ensemble Kalman Filter* dan metode *Extended Kalman Filter*. Pada penelitian ini diperoleh bahwa hasil estimasi untuk jumlah manusia yang terinfeksi penyakit demam berdarah ( $I_h$ ) mendekati nilai realnya dengan nilai MAPE EnKF yaitu 0.6859% dan MAPE EKF yaitu 0.6578%. sehingga hasil estimasi menggunakan metode EnKF dan EKF dinyatakan akurat. Didapatkan dari hasil simulasi bahwa estimasi model SIRS penyebaran penyakit demam berdarah menggunakan metode *Extended Kalman Filter* lebih akurat dibandingkan metode *Ensemble Kalman Filter*.

**Kata Kunci**—Demam Berdarah, *Ensemble Kalman Filter*, *Extended Kalman Filter*, Nonlinear, SIRS.

## I. PENDAHULUAN

PENYAKIT demam berdarah atau juga dikenal dengan Demam Berdarah Dengue (DBD) merupakan penyakit menular yang disebabkan oleh virus dengue dengan media penyebarannya merupakan nyamuk *Aedes Aegypti* [1]. Indonesia yang merupakan salah satu negara beriklim tropis mengakibatkan penyebaran penyakit dengan media nyamuk sebagai perantaranya sangat tinggi. Pada saat musim penghujan kasus manusia yang terjangkit demam berdarah akan meningkat [2].

Data KEMENKES RI tercatat di provinsi Sulawesi Selatan kasus demam berdarah pada tahun 2019 terdapat sebanyak 3625 kasus dan Case Fatality Rate (CFR) kasus demam berdarah di Sulawesi Selatan sebesar 0.58% [3].

Dikarenakan kasus demam berdarah yang terjadi di Indonesia khususnya di provinsi Sulawesi Selatan tinggi maka diperlukan penelitian, yaitu melihat bagaimana penyebaran penyakit demam berdarah dengan membuat estimasi penyebaran penyakit demam berdarah menggunakan pemodelan matematika. Model yang akan digunakan adalah model SIRS (*Susceptible, Infected, Recovered*) yang merupakan pengembangan dari model SIR [4].

Model SIRS demam berdarah diambil dari jurnal Wahidah Sanusi dkk tahun 2021 [5]. Metode yang digunakan untuk mengestimasi model SIRS ini adalah Metode *Esemble Kalman Filter* yang merupakan pengembangan metode

estimasi *Kalman Filter* [6].

Metode *Ensemble Kalman Filter* (EnKF) pertama kali diperkenalkan oleh G. Evensen pada tahun 1994 dalam pengimplementasian metode *Extended Kalman Filter* (EKF) untuk suatu model pada asimilasi data [7].

Maka penulis membuat penelitian terkait estimasi model pada penyebaran penyakit demam berdarah. Penulis berfokus kepada estimasi menggunakan metode *Ensemble Kalman Filter*, dengan asumsi bahwa estimasi model nonlinear tanpa pelinieran lebih akurat dibandingkan dengan pelinieran terlebih dahulu. Sebagai tambahan, penulis juga melakukan pelinieran dan dilakukan estimasi dengan metode *Extended Kalman Filter*. Langkah terakhir dilakukan perbandingan hasil estimasi dengan menggunakan metode *Ensemble Kalman Filter* dan metode *Extended Kalman Filter*. Bertujuan untuk mengetahui apakah estimasi dengan *Ensemble Kalman Filter* lebih bagus dari estimasi *Extended Kalman Filter*.

## II. URAIAN PENELITIAN

### A. Model SIRS Penyebaran Penyakit Demam Berdarah

Dalam model matematika ini dirumuskan pada penularan penyakit demam berdarah dalam bentuk nonlinear sistem persamaan diferensial biasa. Berikut adalah model matematika dari penyebaran penyakit demam berdarah [5]:

$$\frac{d}{dt} S_h = \mu_h N_h - \frac{\beta_h b I_v}{N_h} S_h - \mu_h S_h + \theta_h R_h \quad (1)$$

$$\frac{d}{dt} I_h = \frac{\beta_h b I_v}{N_h} S_h - (\mu_h + \gamma_h) I_h \quad (2)$$

$$\frac{d}{dt} R_h = \gamma_h I_h - (\mu_h + \theta_h) R_h \quad (3)$$

$$\frac{d}{dt} S_v = \mu_v N_v - \frac{b \beta_v I_h}{N_h} S_v - \mu_v S_v \quad (4)$$

$$\frac{d}{dt} I_v = \frac{\beta_v b I_h}{N_h} S_v - \mu_v I_v \quad (5)$$

### B. Persamaan Diferensial

Persamaan diferensial adalah suatu persamaan yang menghasilkan fungsi yang tak diketahui terhadap turunannya terhadap satu atau lebih peubah bebas. Diklasifikasikan ada 2 jenis, yaitu persamaan diferensial biasa dan persamaan diferensial parsial [8]. Persamaan diferensial biasa orde  $n$  dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$F(x, y, y', y'', \dots, y^n) = 0 \quad (6)$$

dengan  $y^n$  adalah turunan ke- $n$  dari variabel tak bebas  $y$  terhadap variabel bebas  $x$ .

Tabel 1.

Algortima <i>Ensemble Kalman Filter</i>	
Model Sistem dan Model Pengukuran	
$x_{k+1} = f(x_k, u_k) + w_k, w_k \sim (0, Q_k)$	
$z_k = Hx_k + v_k, v_k \sim (0, R_k)$	
Inisialisasi	
Bangkitkan $N$ ensemble sesuai estimasi awal $\bar{x}_0$ :	
$x_{0,i} = [x_{0,1} \ x_{0,2} \ x_{0,3} \ \dots \ x_{0,N}]$	
Tentukan nilai awal:	
$\hat{x}_0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_{0,i})$	
Tahap Prediksi	
$\hat{x}_{k,i} = f(\hat{x}_{k-1}, u_{k-1}) + w_{k,i}, w_{k,i} \sim (0, Q_k)$	
Estimasi:	
$\hat{x}_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{x}_{k,i})$	
Kovariansi <i>Error</i> :	
$P_k = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\hat{x}_{k,i} - \hat{x}_k)(\hat{x}_{k,i} - \hat{x}_k)^T$	
Tahap Koreksi	
$z_{k,i} = z_k + v_{k,i}, v_{k,i} \sim (0, R_k)$	
<i>Kalman Gain</i> :	
$K_k = P_k H^T (HP_k H^T + R_k)^{-1}$	
Estimasi :	
$\hat{x}_{k,i} = \hat{x}_{k,i} + K_k(z_{k,i} - H\hat{x}_{k,i})$	
$\hat{x}_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\hat{x}_{k,i})$	
Kovariansi <i>error</i> :	
$P_k = [I - K_k H] P_{k-1}$	

Tabel 2.

Algortima <i>Extended Kalman Filter</i>	
Model Sistem dan Model Pengukuran	
$x_{k+1} = f(x_k, u_k) + w_k, w_k \sim (0, Q_k)$	
$z_k = Hx_k + v_k, v_k \sim (0, R_k)$	
Inisialisasi	
Tentukan nilai awal:	
$\hat{x}_0 = \bar{x}_0, P_0 = P_{x_0}$	
Tahap Prediksi	
Estimasi :	
$\hat{x}_k = f(\hat{x}_k, u_k)$	
Kovarian <i>Error</i> :	
$P_{k+1} = A_k P_k A_k^T + Q$	
Tahap Koreksi	
<i>Kalman Gain</i> :	
$K_{k+1} = P_{k+1}^{-1} H^T [H_k P_{k+1}^{-1} H^T + R_{k+1}]^{-1}$	
Estimasi :	
$\hat{x}_{k+1} = \hat{x}_{k+1} + K_{k+1}(z_{k+1} - h(\hat{x}_{k+1}))$	
Kovariansi <i>Error</i> :	
$P_{k+1} = [I - K_k H] P_{k+1}^{-1}$	

Tabel 3.

Tabel akurasi peramalan	
MAPE	Tingkat Akurasi Peramalan
< 10%	Akurasi peramalan tinggi
10% - 20%	Akurasi peramalan baik
21% - 50%	Akurasi peramalan biasa
> 50 %	Peramalan tidak akurat

C. Metode Beda Hingga

Pendiskritan model dilakukan dengan metode beda hingga maju. Metode beda hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk mendekati suatu penyelesaian persamaan diferensial dengan menggunakan persamaan beda hingga sebagai pengganti dalam bentuk turunan. Berikut merupakan persamaan beda hingga maju [9]:

$$y'(x_0) \approx \frac{y(x_0) - y(x_0 - h)}{h} \tag{7}$$

Apabila sumbu  $x$  dibagi menjadi beberapa bagian yang panjangnya sama, maka absis titik  $i$  dapat dibentuk  $y_i = y(x = ih)$  dengan  $i = 1, 2, 3, \dots$  sehingga pendekatan pertama dan kedua dititik  $i$  menjadi sebagai berikut:

$$\frac{dy}{dt} \approx \frac{(y^{k+1} - y^k)}{\Delta t} \tag{8}$$

D. Metode Ensemble Kalman Filter

*Ensemble Kalman Filter* (EnKF) merupakan metode pemfilteran prediksi yang merupakan modifikasi dari metode *Kalman Filter* dan diperkenalkan oleh G. Evensen pada tahun 1994. EnKF dikembangkan sebagai solusi rekursif untuk masalah pemfilteran nonlinear maupun linear dengan membangkitkan atau menggunakan sejumlah *ensemble* [7]. Algoritma *Ensemble Kalman Filter* tertera pada Tabel 1.

E. Metode Extended Kalman Filter

*Extended Kalman Filter* (EKF) merupakan metode modifikasi dari *Kalman Filter* Metode ini dapat digunakan untuk mengestimasi model sistem nonlinear. Tahap-tahap metode *Extended Kalman Filter* hampir sama dengan tahap-tahap metode *Kalman Filter*, yang membedakan hanya pada saat tahap estimasi prediksi digunakan sistem nonlinear [7]. Algoritma *Extended Kalman Filter* tertera pada Tabel 2.

F. MAPE

MAPE atau *Mean Absolute Percentage Error* adalah standar ukuran yang digunakan dalam mengukur kesesuaian sebuah metode peramalan yang dinyatakan dalam persentase. Hasil prediksi semakin baik jika nilai MAPE semakin mendekati nol. Berikut merupakan rumus perhitungan MAPE [10]:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \hat{y}_i|}{y_i} 100\% \tag{9}$$

Untuk mengetahui keakuratan hasil prediksi dengan MAPE disajikan tabel akurasi peramalan pada Tabel 3.

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

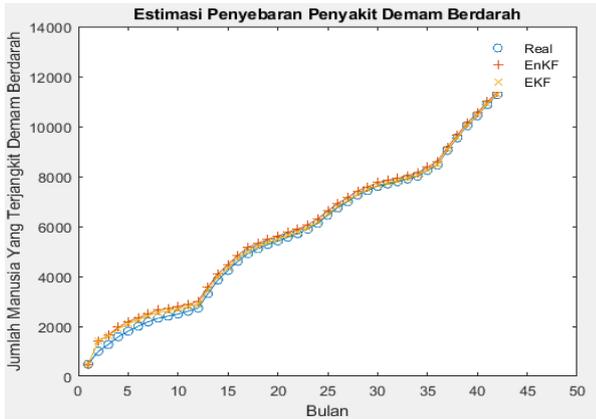
Pada penelitian ini, estimasi model SIRS penyebaran penyakit demam berdarah menggunakan metode *Ensemble Kalman Filter* (EnKF) dan metode *Extended Kalman Filter* (EKF). Model SIRS demam berdarah dimana sudah berbentuk diskrit yang digunakan merupakan model nonlinear sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} S_h^{k+1} \\ I_h^{k+1} \\ R_h^{k+1} \\ S_v^{k+1} \\ I_v^{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_h N_h^k \Delta t - \frac{\beta_h b I_v^k}{N_h^k} S_h^k \Delta t - \mu_h S_h^k \Delta t + \theta_h R_h^k \Delta t + S_h^k \\ \frac{\beta_h b I_v^k}{N_h^k} S_h^k \Delta t - (\mu_h + \gamma_h) I_h^k \Delta t + I_h^k \\ \gamma_h I_h^k \Delta t - (\mu_h + \theta_h) R_h^k \Delta t + R_h^k \\ \mu_v N_v^k \Delta t - \frac{\beta_v b I_h^k}{N_v^k} S_v^k \Delta t - \mu_v S_v^k \Delta t + S_v^k \\ \frac{\beta_v b I_h^k}{N_v^k} S_v^k \Delta t - \mu_v I_v^k \Delta t + I_v^k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} W_{1k} \\ W_{2k} \\ W_{3k} \\ W_{4k} \\ W_{5k} \end{bmatrix} \tag{10}$$

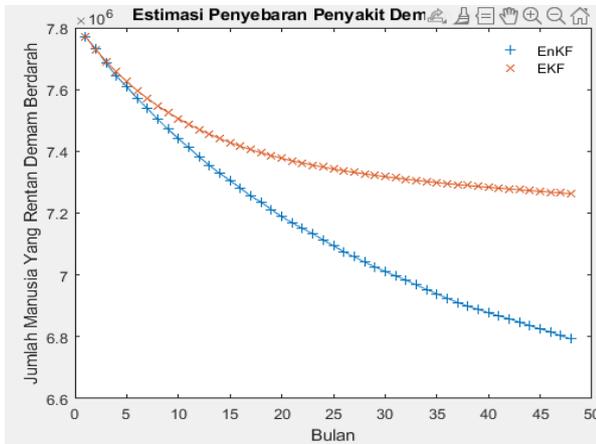
Data penyakit demam berdarah yang digunakan merupakan data sekunder dari jurnal Wahidah Sanusi dkk. tahun 2021, yaitu berupa jumlah manusia yang terjangkit demam berdarah dari bulan Januari sampai Desember pada tahun 2008, 2009, 2012, dan 2013 di provinsi Sulawesi Selatan sebanyak 48 data. Simulasi dilakukan dengan memberi nilai awal untuk kovariansi noise sistem  $Q_k =$

Tabel 4. Nilai awal masing-masing variabel dan parameter

Variabel	Nilai Awal	Parameter	Nilai Awal
$S_h$	7,771,044	$b\beta_h$	0.75
$I_h$	487	$\mu_h$	0.000046
$R_h$	160	$\theta_h$	0.575
$S_v$	944,000	$\gamma_h$	0.328833
$I_v$	56,000	$\mu_v$	0.0323
		$b\beta_v$	0.375



Gambar 1. Hasil estimasi pada jumlah manusia yang terinfeksi penyakit demam berdarah.



Gambar 2. Hasil estimasi pada jumlah manusia yang rentan terhadap penyakit demam berdarah.

$10^3, 10^2, 10^0, 10^2, 10^1$  dan kovariansi noise pengukur  $R = 10^1$ . Dengan nilai awal variabel keadaan diberikan pada Tabel 4. Model pengukuran pada penelitian ini diberikan dalam dua bentuk, yaitu:

A. Model pengukuran bentuk satu (simulasi satu):

Model pengukuran satu yang diukur hanya pada variabel  $I_h$ . Hal ini disesuaikan dengan ketersediaan data yang ada, yaitu data yang ada berupa manusia yang terjangkit demam berdarah.

$$Z_k = [0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0] \begin{bmatrix} S_h \\ I_h \\ R_h \\ S_v \\ I_v \end{bmatrix} \quad (11)$$

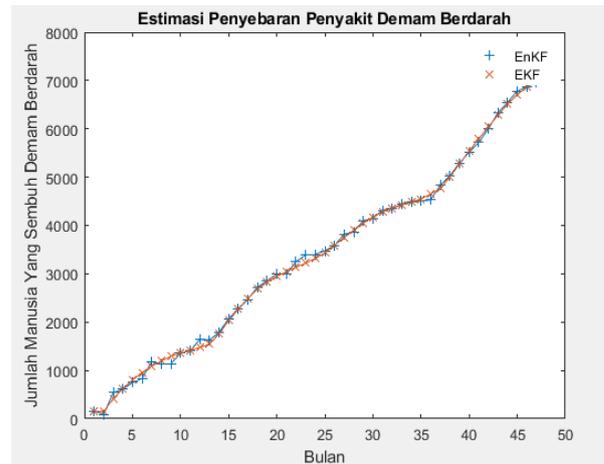
Hasil simulasi satu sebagai berikut:

1) Estimasi Manusia yang Terjangkit Demam Berdarah

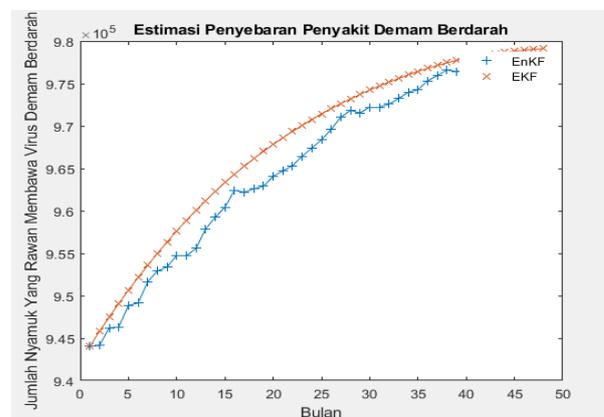
Gambar 1 merupakan grafik simulasi untuk manusia yang terinfeksi penyakit demam berdarah dengan keterangan warna biru pada grafik menunjukkan nilai real manusia yang terinfeksi penyakit demam berdarah berdasarkan data jumlah kumulatif bulanan pada kasus demam berdarah di Provinsi

Tabel 5. Nilai Perbandingan EnKF dengan EKF

Variabel	500	EnKF 1.000	10.000	EKF
$I_h$	6.3132%	6.2019%	6.4040%	4.1878%
Waktu Simulasi	0.346503 detik	0.474405 detik	3.952186 detik	0.104719 detik



Gambar 3. Hasil estimasi pada jumlah manusia yang sembuh dari penyakit demam berdarah.

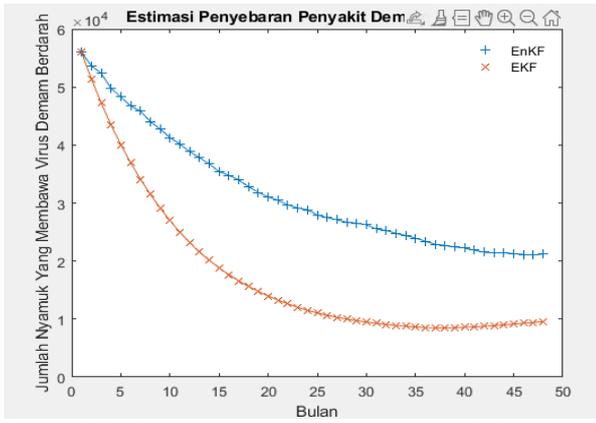


Gambar 4. Hasil estimasi pada jumlah nyamuk yang rentan terhadap penyakit demam berdarah.

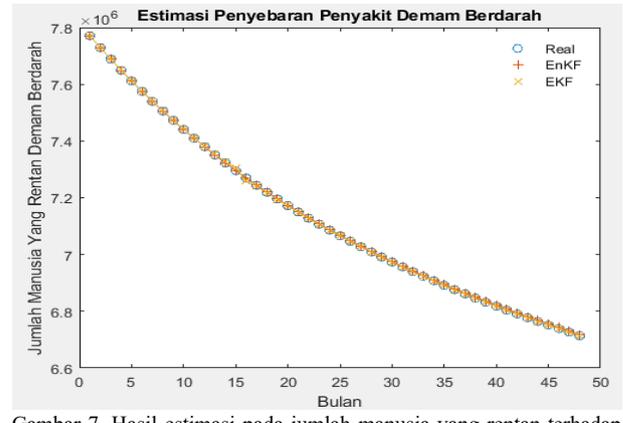
Sulawesi Selatan pada tahun 2008, 2009, 2012, dan 2013, warna merah pada grafik menunjukkan nilai estimasi metode *Ensemble Kalman Filter* dan warna kuning menunjukkan nilai estimasi metode *Extended Kalman Filter*. Dapat diketahui dari hasil simulasi, nilai MAPE EnKF yaitu 6.2019% dan MAPE EKF yaitu 4.1878% maka nilai estimasi nya dapat dikatakan akurat. Dapat dilihat bahwa estimasi menggunakan metode *Extended Kalman Filter* lebih akurat dibandingkan metode *Ensemble Kalman Filter*. Selanjutnya dilakukan estimasi pada variabel lainnya. Berikut merupakan perbandingan MAPE dan waktu simulasi dari metode EnKF dengan metode EKF yang ditampilkan dalam Tabel 5.

2) Estimasi Manusia yang Rentan terhadap Penyakit Demam Berdarah

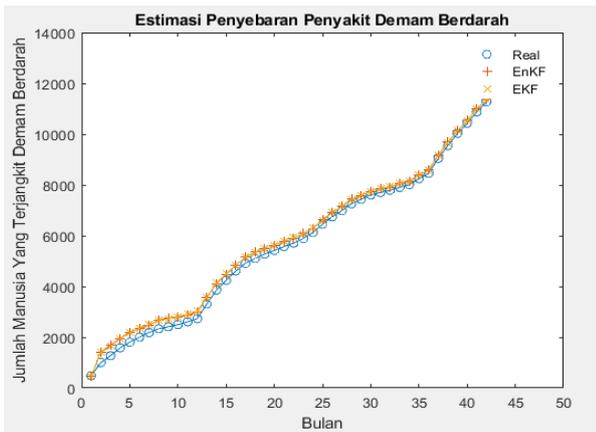
Gambar 2 merupakan grafik simulasi untuk estimasi manusia yang rentan terhadap penyakit demam berdarah, dengan keterangan warna biru pada grafik menunjukkan nilai estimasi metode *Ensemble Kalman Filter* dan warna merah pada grafik menunjukkan nilai estimasi metode *Extended Kalman Filter*. Diketahui bahwa hasil dari estimasi manusia rentan terhadap demam berdarah mengalami penurunan dari bulan Januari-Desember 2008, 2009, 2012, dan 2013.



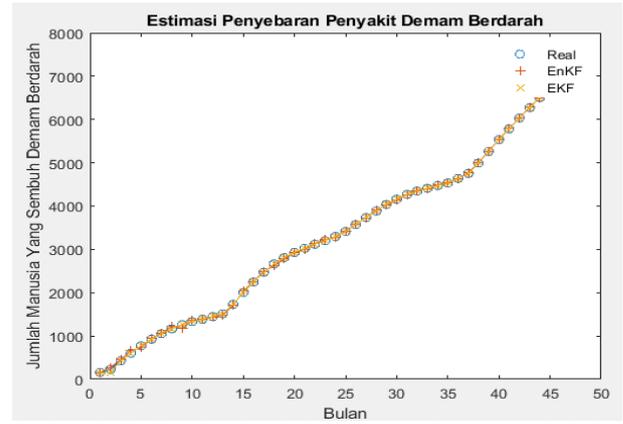
Gambar 5. Hasil estimasi pada jumlah nyamuk yang terinfeksi demam berdarah.



Gambar 7. Hasil estimasi pada jumlah manusia yang rentan terhadap penyakit demam berdarah.



Gambar 6. Hasil estimasi pada jumlah manusia yang terinfeksi penyakit demam berdarah.



Gambar 8. Hasil estimasi pada jumlah manusia yang sembuh dari penyakit demam berdarah.

3) *Estimasi Manusia yang Sembuh dari Demam Berdarah*

Gambar 3 merupakan grafik simulasi untuk manusia yang sembuh dari penyakit demam berdarah, dengan keterangan warna biru pada grafik menunjukkan nilai estimasi metode *Ensemble Kalman Filter* dan warna merah pada grafik menunjukkan nilai estimasi metode *Extended Kalman Filter*. Diketahui bahwa hasil dari estimasi manusia sembuh dari penyakit demam berdarah mengalami kenaikan dari bulan Januari-Desember 2008, 2009, 2012, dan 2013.

4) *Estimasi pada Jumlah Nyamuk yang Rentan Terhadap Penyakit Demam Berdarah*

Gambar 4 merupakan grafik simulasi untuk nyamuk yang rentan terhadap penyakit demam berdarah, dengan keterangan warna biru pada grafik menunjukkan nilai estimasi metode *Ensemble Kalman Filter* dan warna merah pada grafik menunjukkan nilai estimasi metode *Extended Kalman Filter*. Diketahui bahwa hasil dari estimasi nyamuk rentan terhadap demam berdarah mengalami kenaikan dari bulan Januari-Desember 2008, 2009, 2012, dan 2013.

5) *Estimasi Jumlah Nyamuk yang Terinfeksi Demam Berdarah*

Gambar 5 merupakan grafik simulasi untuk nyamuk yang terinfeksi penyakit demam berdarah, dengan keterangan warna biru pada grafik menunjukkan nilai estimasi metode *Ensemble Kalman Filter* dan warna merah pada grafik menunjukkan nilai estimasi metode *Extended Kalman Filter*. Diketahui bahwa hasil dari estimasi nyamuk yang terinfeksi demam berdarah mengalami penurunan dari bulan Januari-Desember 2008, 2009, 2012, dan 2013.

B. *Model pengukuran bentuk dua (simulasi dua)*

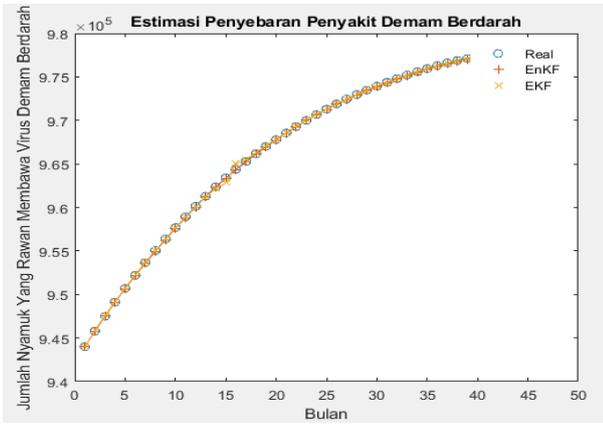
Model pengukuran dua yang diukur adalah semua variabelnya. Untuk variabel  $I_h$  menggunakan data yang ada, yaitu data yang ada berupa manusia yang terjangkit demam berdarah pada bulan Januari sampai Desember tahun 2008, 2009, 2012, dan 2013. Untuk variabel  $S_h, R_h, S_v$ , dan  $I_v$  menggunakan data bangkitan dari sistem dinamik.

$$Z_k = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_h \\ I_h \\ R_h \\ S_v \\ I_v \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1 \\ 0 \\ v_3 \\ v_4 \\ v_5 \end{bmatrix} \quad (12)$$

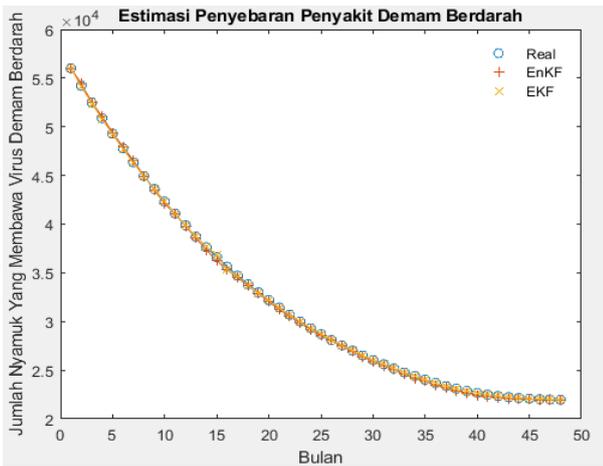
Hasil simulasi dua sebagai berikut:

1) *Estimasi Manusia yang Terjangkit Demam Berdarah*

Gambar 6 merupakan grafik simulasi untuk manusia yang terinfeksi penyakit demam berdarah dengan keterangan warna biru pada grafik menunjukkan nilai real manusia yang terinfeksi penyakit demam berdarah berdasarkan data jumlah kumulatif bulanan pada kasus demam berdarah di Provinsi Sulawesi Selatan pada tahun 2008, 2009, 2012, dan 2013, warna merah pada grafik menunjukkan nilai estimasi metode *Ensemble Kalman Filter* dan warna kuning menunjukkan nilai estimasi metode *Extended Kalman Filter*. Dapat diketahui dari hasil simulasi estimasi pada jumlah manusia yang terinfeksi demam berdarah, nilai MAPE EnKF yaitu 6.1727% dan MAPE EKF yaitu 6.1811% maka nilai estimasi nya dapat dikatakan akurat. Dapat dilihat bahwa estimasi menggunakan metode *Extended Kalman Filter* lebih akurat dibandingkan metode *Ensemble Kalman Filter*.



Gambar 9. Hasil estimasi pada jumlah nyamuk yang rentan terhadap penyakit demam berdarah.



Gambar 10. Hasil estimasi pada jumlah nyamuk yang terinfeksi demam berdarah.

2) *Estimasi Manusia yang Rentan Terhadap Penyakit Demam Berdarah*

Gambar 7 merupakan grafik simulasi untuk manusia yang rentan terhadap penyakit demam berdarah dengan keterangan warna biru pada grafik menunjukkan nilai real manusia yang rentan terhadap penyakit demam berdarah, warna merah pada grafik menunjukkan nilai estimasi metode *Ensemble Kalman Filter* dan warna kuning menunjukkan nilai estimasi metode *Extended Kalman Filter*. Dapat diketahui dari hasil simulasi estimasi pada jumlah manusia yang rentan terhadap demam berdarah, nilai MAPE EnKF yaitu 0.0041% dan MAPE EKF yaitu 0.0006% maka estimasi nya dapat dikatakan akurat. Dapat dilihat bahwa estimasi menggunakan metode *Extended Kalman Filter* lebih akurat dibandingkan metode *Ensemble Kalman Filter*.

3) *Estimasi manusia yang sembuh dari penyakit demam berdarah*

Gambar 8 merupakan grafik simulasi untuk manusia yang sembuh dari penyakit demam berdarah dengan keterangan warna biru pada grafik menunjukkan nilai real manusia yang sembuh dari penyakit demam berdarah, warna merah pada grafik menunjukkan nilai estimasi metode *Ensemble Kalman Filter* dan warna kuning menunjukkan nilai estimasi metode *Extended Kalman Filter*. Dapat diketahui dari simulasi Estimasi pada Jumlah Manusia yang Sembuh dari Penyakit Demam Berdarah, hasil dari nilai MAPE EnKF yaitu 0.3215% dan MAPE EKF yaitu 0.0989% maka nilai estimasi nya dapat dikatakan akurat. Dapat dilihat bahwa estimasi

Tabel 6. Perbandingan EnKF dan EKF simulasi dua

Variabel	500	EnKF 1.000	10.000	EKF
$I_h$	6.3502%	6.2416%	6.1727%	6.1811%
$S_h$	0.0206%	0.0118%	0.0041%	0.0006%
$R_h$	0.4558%	0.3536%	0.3215%	0.0989%
$S_v$	0.0403%	0.0277%	0.0111%	0.00096%
$I_v$	0.4253%	0.2618%	0.1313%	0.1433%
Waktu Simulasi	0.211430 detik	0.49371 detik	2.588392 detik	0.107148 detik

menggunakan metode *Extended Kalman Filter* lebih akurat dibandingkan metode *Ensemble Kalman Filter*.

4) *Estimasi Nyamuk Rentan Terhadap Demam Berdarah*

Gambar 9 merupakan grafik simulasi untuk nyamuk yang rentan terhadap penyakit demam berdarah dengan keterangan warna biru pada grafik menunjukkan nilai real nyamuk yang rentan terhadap penyakit demam berdarah, warna merah pada grafik menunjukkan nilai estimasi metode *Ensemble Kalman Filter* dan warna kuning menunjukkan nilai estimasi metode *Extended Kalman Filter*. Dapat diketahui dari simulasi, hasil dari nilai MAPE EnKF yaitu 0.0111% dan MAPE EKF yaitu 0.00096% maka nilai estimasi nya dapat dikatakan akurat. Dapat dilihat bahwa estimasi menggunakan metode *Extended Kalman Filter* lebih akurat dibandingkan metode *Ensemble Kalman Filter*.

5) *Estimasi Nyamuk yang Terjangkit Demam Berdarah*

Gambar 10 merupakan grafik simulasi untuk nyamuk yang terinfeksi penyakit demam berdarah dengan keterangan warna biru pada grafik menunjukkan nilai real nyamuk yang terinfeksi penyakit demam berdarah, warna merah pada grafik menunjukkan nilai estimasi metode *Ensemble Kalman Filter*, dan warna kuning menunjukkan nilai estimasi metode *Extended Kalman Filter*. Dapat diketahui dari simulasi, hasil dari nilai MAPE EnKF yaitu 0.1313% dan MAPE EKF yaitu 0.1433% maka nilai estimasi nya dapat dikatakan akurat. Dapat dilihat bahwa estimasi menggunakan metode *Ensemble Kalman Filter* lebih akurat dibandingkan metode *Extended Kalman Filter*.

IV. KESIMPULAN

Dapat disimpulkan untuk simulasi satu bahwa hasil estimasi untuk jumlah manusia yang terinfeksi penyakit demam berdarah ( $I_h$ ) mendekati nilai realnya, yaitu nilai berdasarkan jumlah bulanan pada kasus demam berdarah di provinsi Sulawesi Selatan pada bulan Januari-Desember tahun 2008, 2009, 2012, dan 2013 dengan nilai MAPE EnKF yaitu 6.2019% dan MAPE EKF yaitu 4.1878%. Sehingga keakuratan dari metode *Ensemble Kalman Filter* dan *Extended Kalman Filter* yang diimplementasikan ke model SIRS demam berdarah berada dalam kriteria akurasi yang tinggi yaitu MAPE < 10%.

Untuk simulasi dua dapat dilihat pada Tabel 6 dan didapatkan hasil dari estimasi manusia yang terjangkit demam berdarah menghasilkan MAPE EnKF yaitu 6.1727% dan MAPE EKF yaitu 6.1811%, manusia rentan terhadap demam berdarah menghasilkan nilai MAPE EnKF yaitu 0.0041% dan MAPE EKF yaitu 0.0006%, manusia yang sembuh dari demam berdarah menghasilkan nilai MAPE EnKF yaitu 0.3215% dan MAPE EKF yaitu 0.0989%,

nyamuk yang rentan terhadap demam berdarah menghasilkan nilai MAPE EnKF yaitu 0.0111% dan MAPE EKF yaitu 0.00096%, dan terakhir nyamuk yang terjangkit demam berdarah menghasilkan nilai MAPE EnKF yaitu 0.1313% dan MAPE EKF yaitu 0.1433%. Sehingga keakuratan dari metode *Ensemble Kalman Filter* dan *Extended Kalman Filter* yang diimplementasikan ke model SIRS demam berdarah berada dalam kriteria akurasi yang tinggi yaitu  $MAPE < 10\%$ .

Diketahui dari hasil simulasi bahwa estimasi model SIRS penyebaran penyakit demam berdarah menggunakan metode *Extended Kalman Filter* lebih akurat dibandingkan metode *Ensemble Kalman Filter*.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kemenkes RI, "InfoDatin situasi demam berdarah dengue," *J. Vector Ecol.*, vol. 31, no. 1, pp. 71--78, 2018.
- [2] H. Purwanto, E. Noviani, and M. N. Mara, "Analisis dan simulasi model matematika penyakit demam dengue dengan satu serotif virus dengue," *BIMASTER*, vol. 3, no. 3, 2014.
- [3] Kemenkes RI, *Profil Kesehatan Indonesia Tahun 2019*. Jakarta: Kementerian Kesehatan RI, 2019.
- [4] S. Side and S. M. Noorani, "A SIR model for spread of dengue fever disease (simulation for South Sulawesi, Indonesia and Selangor, Malaysia)," *World J. Model. Simul.*, vol. 9, no. 2, pp. 96--105, 2013.
- [5] W. Sanusi, N. Badwi, A. Zaki, S. Sidjara, and N. Sari, "Analysis and simulation of SIRS model for dengue fever transmission in South Sulawesi, Indonesia," *J. Appl. Math.*, 2021, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1155/2021/2918080>.
- [6] S. Gillijns, O. B. Mendoza, J. Chandrasekar, B. De Moor, D. Bernstein, and A. Ridley, "What is the Ensemble Kalman Filter and How Well Does it Work?," in *American control conference*, 2006, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/acc.2006.1657419>.
- [7] A. N. Syarifuddin, D. A. Merdekawati, and E. Apriliani, "Perbandingan metode kalman filter, extended kalman filter, dan ensemble kalman filter pada model penyebaran virus HIV/AIDS," *Limits J. Math. Its Appl.*, vol. 15, no. 1, pp. 17--29, 2018.
- [8] N. Asiyah, *Buku Ajar Persamaan Diferensial Biasa*. Surabaya: ITS Press, 2018.
- [9] Durmin and L. Hanafi, "Studi Perbandingan Perpindahan Panas Menggunakan Metode Beda Hingga dan Crank-Nicholson," Departemen Matematika: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2014.
- [10] K. D. Lawrence, R. Klimberg, and S. D. Lawrence, *Fundamental of Forecasting using Excel*. New York: Industrial Press, 2018.