



TUGAS AKHIR - KM184801

ASPEK-ASPEK YANG MEMPENGARUHI TINGKAT AKURASI ESTIMASI ENSEMBLE KALMAN FILTER (EnKF): (STUDI KASUS PENYEBARAN DEMAM BERDARAH DENGUE (DBD) DAN KORONAVIRUS 2019 (COVID-19) DI JAWA TIMUR)

MUDHARIKA
06111640000057

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Dra. Erna Apriliani, M. Si.
Drs. Komar Baihaqi, M.Si

Departemen Matematika
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2021



FINAL PROJECT - KM184801

ASPECTS THAT AFFECT THE ACCURACY OF THE ESTIMATION OF THE ENSEMBLE KALMAN FILTER (EnKF) : (CASE STUDY OF THE SPREAD OF DENGUE HEMORRHAGIC FEVER (DBD) AND CORONAVIRUS DISEASE 2019 (COVID-19) IN EAST JAVA)

Mudharika

NRP 06111640000057

Supervisor:

Prof. Dr. Dra. Erna Apriliani, M. Si.

Drs. Komar Baihaqi, M.Si

Department of Mathematics

Faculty of Science and Analytical Data

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2021

LEMBAR PENGESAHAAN

LEMBAR PENGESAHAAN

**ASPEK-ASPEK YANG MEMPENGARUHI TINGKAT AKURASI
ESTIMASI ENSEMBLE KALMAN FILTER (EnKF): (STUDI
KASUS PENYEBARAN DEMAM BERDARAH DENGUE (DBD)
DAN KORONAVIRUS 2019 (COVID-19) DI JAWA TIMUR)**

**ASPECTS THAT AFFECT THE ACCURACY OF THE
ESTIMATION OF THE ENSEMBLE KALMAN FILTER (EnKF) :
(CASE STUDY OF THE SPREAD OF DENGUE HEMORRHAGIC
FEVER (DBD) AND CORONAVIRUS DISEASE 2019 (COVID-19)
IN EAST JAVA)**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Sarjana Matematika
Pada bidang studi Matematika Terapan
Program Studi S1 Departemen Matematika
Fakultas Sains dan Analitika Data
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Oleh:
MUDHARIKA
NRP. 06111640000057

Menyetujui,

Dosen Pembimbing II,

Dosen Pembimbing I,

Drs. Komar Baihaqi, M.Si

Prof. Dr. Dra. Erna Apriliani, M. Si.

NIP. 19600229 198803 1 001

NIP. 19660414 199102 2 001

Mengetahui,
Kepala Departemen Matematika FSAD ITS



Subchan, Ph.D

NIP. 19710513 199702 1 001

**ASPEK-ASPEK YANG MEMPENGARUHI TINGKAT AKURASI
ESTIMASI ENSEMBLE KALMAN FILTER (EnKF): (STUDI
KASUS PENYEBARAN DEMAM BERDARAH DENGUE (DBD)
DAN KORONAVIRUS 2019 (COVID-19) DI JAWA TIMUR)**

Nama Mahasiswa : Mudharika
NRP : 06111640000057
Departemen : Matematika
Pembimbing :
1. Prof. Dr. Dra. Erna Apriliani, M. Si
2. Drs. Komar Baihaqi, M.Si

ABSTRAK

Metode Ensemble Kalman Filter (EnKF) merupakan metode modifikasi dari Kalman Filter (KF), metode Ensemble Kalman Filter sendiri merupakan estimasi varibel keadaan untuk sistem dinamik non linear. Pada estimasi akurasi Ensemble Kalman Filter terdapat parameter yang mempengaruhi hasil akurasi nya diantaranya nilai estimasi awal (X_0), kovariansi kesalahan estimasi awal (P), kovariansi noise sistem (Q) dan noise pengukuran (R). Pemilihan nilai dilakukan secara trial error pada parameter P,Q dan R dimana saat menentukan nilai nya penulis mereferensi pada nilai data yang digunakan. Sistem pada estimasi Ensemble Kalman Filter adalah sistem dinamik non linear sehingga kasus yang diangkat penulis merupakan kasus sistem non linear. Dalam tugas akhir ini penulis mengambil dua studi kasus sehingga mendapatkan hasil simulasi akurasi yang lebih baik. Studi kasus yang pertama adalah virus yang berasal dari kota Wuhan provinsi Hubei Cina, yaitu koronavirus 2019 atau sering disebut Covid-19. Covid-19 adalah penyakit menular yang disebabkan oleh SARS-CoV-2. Studi kasus

yang kedua adalah demam berdarah dengue atau disingkat DBD. Penyakit yang berasal dari virus dengue akibat gigitan nyamuk Aedes Aegypti. Data demam berdarah diambil dari Dinas Kesehatan provinsi Jawa Timur, sedangkan data Covid-19 diambil dari halaman resmi Covid-19. Dari beberapa kali percobaan didapatkan hasil ketika $P=R=0.01$ dan $Q=1000$ sedangkan N ensemble diberikan 10, 100 dan 1000. Hasil error estimasi Ensemble Kalman Filter terbaik kasus Demam Berdarah Dengue untuk populasi rentan terinfeksi sebesar 0.0050, populasi terinfeksi sebesar 0.0034 dan populasi sembuh sebesar 0.0042 dengan waktu komputasinya adalah 5.04152 detik. Sedangkan hasil error estimasi Ensemble Kalman Filter terbaik kasus Covid-19 untuk populasi terkonfirmasi sebesar 0.2484, populasi laten sebesar 9.8547, populasi terinfeksi sebesar 1.1017, dan populasi sembuh sebesar 8.4883 dengan waktu komputasinya adalah 6.03739 detik. Dari hasil kedua simulasi didapatkan pengaruh parameter P,Q dan R untuk $P=R$ dan $Q>R$ pada studi kasus DBD dan Covid-19.

Kata Kunci: *Model Demam Berdarah Dengue (DBD), Model Koronavirus 2019 (COVID-19), Ensemble Kalman Filter (EnKF).*

**ASPECTS THAT AFFECT THE ACCURACY OF THE
ESTIMATION OF THE ENSEMBLE KALMAN FILTER (EnKF) :
(CASE STUDY OF THE SPREAD OF DENGUE HEMORRHAGIC
FEVER (DBD) AND CORONAVIRUS DISEASE 2019 (COVID-19)
IN EAST JAVA)**

Name : Mudharika
Identity Number : 06111640000057
Departement : Mathematics
Supervisor :
1. Prof. Dr. Dra. Erna Apriliani, M. Si
2. Drs. Komar Baihaqi, M.Si

ABSTRACT

Ensemble Kalman Filter (EnKF) method is a modification method of Kalman Filter (KF), Ensemble Kalman Filter method itself is an estimate of variable circumstances for non linear dynamic system. In ensemble kalman filter accuracy estimation there are parameters that affect the accuracy result including initial estimation value (X_0), initial estimated error covariance (P), system noise covariance (Q) and measurement noise (R). The selection of values is done by trial error in the parameters P , Q and R where when determining the range of values the author refers to the value of the data used. The system in the Ensemble Kalman Filter estimation is a non linear dynamic system so the case raised by the author is a non-linear system case. In this final task the authors took two case studies so as to get better simulation results of accuracy. The first

case study was a virus originating in Wuhan city of China's Hubei province, namely coronavirus 2019 or often called Covid-19. Covid-19 is an infectious disease caused by SARS-CoV-2. The second case study was dengue fever or DBD for short. Diseases derived from dengue virus due to the bite of the Aedes Aegypti mosquito. Data on dengue fever is taken from the Health Office of East Java Province, while Covid-19 data is taken from the official page of covid-19. From several experiments obtained results when $P=R=0.01$ and $Q=1000$ while N ensembles were given 10, 100 and 1000. The best error estimation Ensemble Kalman Filter results were dengue fever cases for vulnerable populations infected by 0.0050, infected populations of 0.0034 and cured populations of 0.0042 with computational time of 5.04152 seconds. While the best error estimation Ensemble Kalman Filter results of Covid-19 cases for the confirmed population of 0.2484, the latent population of 9.8547, the infected population of 1.1017, and the cured population of 8.4883 with the computational time is 6.03739 seconds. From the results of both simulations, the influence of P, Q and R parameters for $P=R$ and $Q>R$ was obtained in the case studies of DBD and Covid-19.

Keywords: *Dengue Hemorrhagic Fever (DBD) Model, Coronavirus Model 2019 (COVID-19), Ensemble Kalman Filter (EnKF).*

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, petunjuk dan ridha-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul

ASPEK-ASPEK YANG MEMPENGARUHI TINGKAT AKURASI ESTIMASI ENSEMBLE KALMAN FILTER (EnKF): (STUDI KASUS PENYEBARAN DEMAM BERDARAH DENGUE (DBD) DAN KORONAVIRUS 2019 (COVID-19) DI JAWA TIMUR)

Sebagai salah satu syarat kelulusan Program Sarjana Departemen Matematika, Fakultas Sains dan Analitika Data (FSAD), Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Semoga shalawat serta salam tetap tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membimbing para umatnya dari zaman kebodohan menuju jaman terang benderang yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Mochamad Ashari, M.Eng. selaku Rektor ITS periode 2019-2024.
2. Bapak Subchan, Ph.D. selaku Kepala Departemen Matematika ITS yang telah memberikan banyak motivasi serta saran selama perkuliahan hingga terselesaiannya Tugas Akhir ini.
3. Ibu Prof. Dr. Dra. Erna Apriliani, M. Si dan bapak Drs. Komar Baihaqi, M.Si selaku Dosen Pembimbing yang

telah banyak membantu, membimbing, memberikan masukan ilmu, arahan, dan motivasi kepada penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir ini sehingga dapat terselesaikan dengan baik.

4. Bapak Dr. Subchan,Ph.D dan Ibu Dr. Tahiyatul Asfihani,S.Si, M.Si selaku Dosen Pengaji Tugas Akhir yang memberikan saran, masukan, serta bantuan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Ibu Dr. Valeriana Luitosari, S.Si, MT selaku Dosen Wali penulis.
6. Bapak dan Ibu dosen serta para staf Program Studi Sarjana Departemen Matematika ITS yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih banyak terdapat kekurangan dan kesalahan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat dibutuhkan demi kesempurnaan Tugas Akhir ini. Akhirnya, penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surabaya, Februari 2021

Penulis

Special Thanks To

Keberhasilan penulisan Tugas Akhir ini tidak lepas dari orang-orang terdekat penulis. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Muniyah, selaku ibu yang sangat penulis cintai, terima kasih atas segala kasih sayang dan motivasi, serta ilmu pendidikan yang selalu dicurahkan kepada penulis selama ini.
2. Partner terbaikku, Choiriyah Sapta Agustina, Tri Wahyu Agus S, Dyah Ayu Amini, Violeta Nur C, dan Renita Dianawati yang sangat penulis sayangi. Terima kasih banyak atas segala doa, motivasi, serta kebersamaan yang selama ini tercurah. Kalian sudah seperti saudara, lebih dari sekedar sahabat. Terima kasih atas segala semangat dan dukungannya.
3. My little princes dan little prince yang selalu menemani, memberikan dukungan, semangat, dan motivasi kepada penulis hingga akhirnya penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
4. Teman-teman seperjuangan yang setopik Tugas Akhir dengan penulis, terima kasih atas sharing ilmunya selama ini.
5. Teman-teman S1 Matematika ITS angkatan 2016, terima kasih atas dukungan, doa, dan segala bantuannya kepada penulis.
6. Semua pihak yang tak bisa penulis sebutkan satu-persatu, terima kasih telah membantu sampai terselesaiannya Tugas Akhir ini

X

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR SIMBOL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	7
2.1 Penelitian Terdahulu	7
2.2 Model Matematika Penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD)	10
2.3 Model Matematika Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	16
2.4 Pendiskritan.....	18
2.5 Mape	17
2.6 Metode Kalman Filter (KF)	17
2.7 Metode Ensemble Kalman Filter (EnKF)	20
BAB III METODE PENELITIAN	25
3.1 Studi Literatur	25
3.2 Diskritisasi Model.....	25

3.3	Implementasi Model EnKF	25
3.4	Simulasi, Analisis Hasil dan Pembahasan	27
3.5	Pembuatan Laporan Tugas Akhir	27
3.6	Diagram Alir Penelitian dan Metode Ensemble Kalman Filter (EnKF)	27
BAB IV PEMBAHASAN	31
4.1	Pendiskritan	31
4.1.1	Pendiskritan Saat Non Endemik pada Model Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD)	31
4.1.2	Pendiskritan Saat Non Endemik pada Model Penyebaran Penyakit Koronavirus2019 (COVID-19)	34
4.2	Analisis Hasil Simulasi	37
4.2.1	Analisis Hasil Simulasi Estimasi Penyebaran Demam Berdarah Dengue dan covid-19 saat $P=R=1$	41
4.2.2	Analisis Hasil Simulasi Estimasi Penyebaran Demam Berdarah Dengue dan Covid-19 saat $P=R=0.01$	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	83
5.1	Kesimpulan	83
5.2	Saran	84
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN	87
BIODATA PENULIS	115

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Akurasi Peramalan dengan MAPE	19
Tabel 2.2	Algoritma Kalman Filter	21
Tabel 2.3	Algoritma Ensemble Kalman Filter	24
Tabel 4.1	Variabel Model Matematika pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengue	37
Tabel 4.2	Parameter Model Matematika pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengue	38
Tabel 4.3	Variabel Model Matematika pada Penyebaran Penyakit Koronavirus2019	38
Tabel 4.4	Parameter Model Matematika pada Penyebaran Penyakit Koronavirus2019	39
Tabel 4.5	Rata-rata Error Estimasi Ensemble Kalman Filter saat $P=R=1$	42
Tabel 4.6	Rata-rata Error Estimasi Ensemble Kalman Filter saat $P=R=0.01$	62

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Kompartment Model Matematika pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD)	11
Gambar 2.2	Diagram Kompartment Model Matematika pada Penyebaran Penyakit Covid-19	14
Gambar 3.1	Diagram Alir Metode Penelitian.....	28
Gambar 3.2	Diagram Alir Ensemble Kalaman Filter.....	29
Gambar 4.1	Grafik Estimasi Populasi Kategori Rentan (S) pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengur (DBD)	44
Gambar 4.2	Grafik Estimasi Populasi Kategori Terinfeksi (I) pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengur (DBD).....	45
Gambar 4.3	Grafik Estimasi Populasi Kategori Sembuh (R) pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengur (DBD).....	45
Gambar 4.4	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori Rentan (S) pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengur (DBD).....	46
Gambar 4.5	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori terinfeksi (I) pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengur (DBD).....	47

Gambar 4.6	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori Sembuh (R) pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengur (DBD).....	47
Gambar 4.7	Grafik Estimasi Populasi Kategori Rentan (S) pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengur (DBD).....	48
Gambar 4.8	Grafik Estimasi Populasi Kategori Terinfeksi (I) pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengur (DBD).....	49
Gambar 4.9	Grafik Estimasi Populasi Kategori Sembuh (R) pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengur (DBD).....	49
Gambar 4.10	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori Rentan (S) pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengur (DBD).....	50
Gambar 4.11	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori Terinfeksi (I) pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengur (DBD).....	51
Gambar 4.12	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori Sembuh (R) pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengur (DBD).....	51
Gambar 4.13	Grafik Estimasi Populasi Kategori Terkonfirmasi (S) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	52
Gambar 4.14	Grafik Estimasi Populasi Kategori Laten(E) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19).....	53
Gambar 4.15	Grafik Estimasi Populasi Kategori Positif (I) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	53

Gambar 4.16	Grafik Estimasi Populasi Kategori Sembuh (R) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	54
Gambar 4.17	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori Terkonfirmasi (S) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	55
Gambar 4.18	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori Laten (E) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	55
Gambar 4.19	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori Positif(I) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	56
Gambar 4.20	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori Sembuh (R) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	56
Gambar 4.21	Grafik Estimasi Populasi Kategori Terkonfirmasi (S) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	57
Gambar 4.22	Grafik Estimasi Populasi Kategori Laten(E) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	58
Gambar 4.23	Grafik Estimasi Populasi Kategori Positif (I) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	58
Gambar 4.24	Grafik Estimasi Populasi Kategori Sembuh (R) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	59

Gambar 4.25	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori Terkonfirmasi (S) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	61
Gambar 4.26	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori Laten (E) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	61
Gambar 4.27	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori Positif (I) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	62
Gambar 4.28	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori Sembuh (R) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	62
Gambar 4.29	Grafik Estimasi Populasi Kategori Rentan (S) pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengur (DBD).....	66
Gambar 4.30	Grafik Estimasi Populasi Kategori Terinfeksi (I) pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengur (DBD).....	66
Gambar 4.31	Grafik Estimasi Populasi Kategori Sembuh (R) pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengur (DBD).....	67
Gambar 4.32	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori Rentan (S) pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengur (DBD).....	68
Gambar 4.33	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori terinfeksi (I) pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengur (DBD).....	68
Gambar 4.34	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori Sembuh (R) pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengur (DBD).....	69

Gambar 4.35	Grafik Estimasi Populasi Kategori Rentan (S) pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengur (DBD).....	70
Gambar 4.36	Grafik Estimasi Populasi Kategori Terinfeksi (I) pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengur (DBD).....	70
Gambar 4.37	Grafik Estimasi Populasi Kategori Sembuh (R) pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengur (DBD).....	71
Gambar 4.38	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori Rentan (S) pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengur (DBD).....	72
Gambar 4.39	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori Terinfeksi (I) pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengur (DBD).....	72
Gambar 4.40	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori Sembuh (R) pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengur (DBD).....	73
Gambar 4.41	Grafik Estimasi Populasi Kategori Terkonfirmasi (S) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	74
Gambar 4.42	Grafik Estimasi Populasi Kategori Laten(E) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	74
Gambar 4.43	Grafik Estimasi Populasi Kategori Positif (I) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	75

Gambar 4.44	Grafik Estimasi Populasi Kategori Sembuh (R) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19).....	75
Gambar 4.45	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori Terkonfirmasi (S) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	76
Gambar 4.46	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori Laten (E) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	77
Gambar 4.47	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori Positif(I) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	77
Gambar 4.48	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori Sembuh (R) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	78
Gambar 4.49	Grafik Estimasi Populasi Kategori Terkonfirmasi (S) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	79
Gambar 4.50	Grafik Estimasi Populasi Kategori Laten(E) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19).....	79
Gambar 4.51	Grafik Estimasi Populasi Kategori Positif (I) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	80
Gambar 4.52	Grafik Estimasi Populasi Kategori Sembuh (R) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19).....	80
Gambar 4.53	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori Terkonfirmasi (S) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	81

Gambar 4.54	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori Laten (E) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	82
Gambar 4.55	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori Positif (I) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	82
Gambar 4.56	Grafik Error Estimasi Populasi Kategori Sembuh (R) pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)	83

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Data bulanan kumulatif populasi terinfeksi, populasi sembuh dan populasi meninggal kasus penyebaran penyakit demam berdarah dengue (DBD) di Jawa Timur.....	87
Lampiran 2	Data bulanan kumulatif populasi positif , populasi laten, populasi sembuh dan populasi meninggal kasus penyebaran penyakit koronavirus 2019 (COVID-19) di Jawa Timur	88
Lampiran 3	Data harian kumulatif populasi positif, populasi laten, populasi sembuh dan populasi meninggal kasus penyebaran penyakit koronavirus 2019 (COVID-19) di Jawa Timur	89

Lampiran 4	<i>Source Code</i> fungsi program <i>Ensemble Kalman Filter (EnKF)</i> kasus demam berdarah dengue (DBD) di Jawa Timur	98
Lampiran 5	<i>Source Code</i> estimasi akurasi <i>Ensemble Kalman Filter (EnKF)</i> kasus demam berdarah dengue (DBD) di Jawa Timur	101
Lampiran 6	<i>Source Code</i> fungsi program <i>Ensemble Kalman Filter (EnKF)</i> kasus koronavirus 2019 (COVID-19) di Jawa Timur	106
Lampiran 7	<i>Source Code</i> estimasi akurasi <i>Ensemble Kalman Filter (EnKF)</i> kasus koronavirus 2019 (COVID-19) di Jawa Timur	109

DAFTAR SIMBOL

- $x(t)$: Masukan Sistem Awal
 $y(t)$: Keluaran Sistem Awal
 x_{k+1} : Variabel keadaan pada waktu $k + 1$,
 x_k : Variabel keadaan pada waktu k,
 u_k : Variabel *input* sistem,
 w_k : *Noise* pada sistem,
 z_k : Variabel pengukuran pada waktu ke-k,
 v_k : *Noise* pada pengukuran,
 A_k : Matriks koefisien,

- B_k : Matriks koefisien untuk *input* sistem,
 G : Matriks koefisien *noise*,
 H_k : Matriks koefisien pengukuran,
 Q_k : Matriks kovarian *error noise* sistem pada Waktu k.
 R_k : Matriks kovarian *error noise* pengukuran pada waktu k
 S_h : Populasi manusia yang rentan terinfeksi
 I_h : Populasi manusia yang terinfeksi
 R_h : Populasi manusia yang sembuh
 S_v : Populasi nyamuk rentan terinfeksi
 I_v : Populasi nyamuk terinfeksi
 N_h : Total populasi manusia
 N_v : Total populasi nyamuk
 μ_h : Laju kematian alami manusia
 μ_v : Laju kematian alami nyamuk
 γ_h : Proporsi perpindahan dari manusia terinfeksi menjadi sembuh
 β_{hb} : Peluang terjadinya interaksi antara nyamuk terinfeksi dengan manusia rentan
 β_{vb} : Peluang terjadinya kontak antara nyamuk rentan dengan manusia terinfeksi

 S_h : Individu yang rentan terinfeksi
 E_h : Individu yang terinfeksi laten, yang tidak memiliki gejala penyakit virus COVID-19 dan bersifat menular (reaktif)
 I_h : Individu yang terinfeksi, yang memiliki penyakit aktif dan bersifat menular (positif)
 R_h : Individu yang sembuh
 S_v : Orang yang meninggal hanya dengan COVID-19, tetapi tidak dengan penyakit lain dan kematian alami

- I_v : Bahan atau permukaan yang terkontaminasi COVID-19 di lingkungan
- Λ : Tingkat rekrutmen ke individu yang rentan
- α : Laju penyebaran informasi tentang penyakit dalam populasi
- e : Tingkat penularan penyakit langsung dari individu terinfeksi
- λ : Laju penyebaran dari individu rentan terinfeksi dengan individu terinfeksi
- θ : Peluang terjadinya interaksi antara individu terinfeksi Covid-19 dengan individu rentan terinfeksi
- η : Peluang terjadinya kontak antara individu laten dengan individu terinfeksi Covid-19
- γ : Tingkat populasi manusia rentan terinfeksi
- δ : Tingkat populasi positif covid-19
- μ : Laju kematian alami
- ψ : Laju kematian individu terinfeksi
- ϵ : Laju kematian individu laten
- ξ : Laju kematian akibat individu laten dan juga individu yang positif Covid-19

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan hal-hal yang melatarbelakangi permasalahan, kemudian ditarik inti dari permasalahan dalam bentuk rumusan masalah. Selain itu juga dijabarkan mengenai batasan masalah untuk mencapai tujuan yang diinginkan serta manfaat yang diperoleh dari penyusunan laporan.

1.1 Latar Belakang

Metode Ensemble Kalman Filter (EnKF) merupakan metode modifikasi dari Kalman Filter (KF), metode Kalman Filter pertama kali diperkenalkan oleh Rudolph E. Kalman pada tahun 1960 lewat papernya yang terkenal tentang suatu penyelesaian rekursif pada masalah filter diskrit linear [4]. Metode Ensemble Kalman Filter sendiri merupakan estimasi varibel keadaan untuk sistem dinamik non linear. Ensemble Kalman Filter pertama kali diperkenalkan oleh G. Evensen pada tahun 1994 dalam pengimplementasian metode Ensemble Kalman Filter untuk suatu model pada asimilasi data [5]. Pada estimasi akurasi Ensemble Kalman Filter terdapat parameter yang mempengaruhi hasil akurasi nya diantaranya nilai estimasi awal (X_0), kovariansi kesalahan estimasi awal (P), kovariansi noise sistem (Q) dan noise pengukuran (R). Pada penelitian tugas akhir ini pemilihan nilai P, Q dan R dilakukan secara trial error, saat menentukan nilai nya penulis mereferensi pada nilai data yang digunakan. Sistem pada estimasi Ensemble Kalman Filter adalah sistem dinamik non linear sehingga kasus yang diangkat oleh penulis merupakan kasus sistem non linear.

Pada tugas akhir ini penulis mengambil dua studi kasus model sistem berbentuk non linear. Pertama penyakit Covid-19 yang

merupakan famili virus flu, seperti *Sars* dan *Mers*. Covid-19 sudah dideklarasikan sebagai darurat kesehatan masyarakat secara global (*Global Public Health*) oleh Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) pada 30 Januari 2020. Studi kasus kedua adalah muncul ditengah pandemi Covid-19 bukan berarti tidak menjadi sorotan namun penyakit ini juga membuat resah masyarakat ditengah pandemi Covid-19 yaitu Demam Berdarah Dengue (DBD) adalah penyakit yang disebabkan virus *Dengue*, virus *Dengue* dapat menular dari orang ke orang melalui gigitan nyamuk *Aedes Aegypti* dilansir dari halaman resmi Kementerian Kesehatan.

Data Covid-19 sejak ditemukan warga yang positif Covid-19 sampai dengan 31 desember 2020 di provinsi Jawa Timur yang diambil dari halaman resmi covid.go.id. Jumlah kasus di Provinsi Jawa Timur saat individu terkonfirmasi sebanyak (84103 kasus), individu sembuh sebanyak (72123 kasus), individu meninggal sebanyak (5826 kasus), dan individu laten sebanyak (162052 kasus). Sedangkan data Demam Berdarah Dengue diambil sejak bulan Januari sampai desember 2020 dari Dinas Kesehatan Jawa Timur tercatat (8483 kasus) individu rentan terinfeksi, (76 kasus) individu meninggal dan (8407 kasus) individu sembuh. Data Covid-19 berupa kumulatif harian yang selanjutnya dirubah menjadi data kumulatif bulanan, sedangkan data Demam Berdarah Dengue berupa kumulatif bulanan.

Pada penelitian tugas akhir ini penulis mendapatkan referensi dari penelitian oleh Erna Apriliani dkk dengan judul “*Perbandingan Metode Kalman Filter, Extended Kalman Filter, dan Ensemble Kalman Filter pada Model Penyebaran Virus HIV/AIDS*” di tahun 2018 [8]. Dan penelitian oleh Fajril Ambia (2017) dengan judul “*Pengembangan Region Based Covariance Localization pada Ensemble Kalman Filter untuk proses history*

matching dalam simulasi reservoir”[9]. Penelitian dengan menggunakan metode Ensemble Kalman Filter Membantu penulis dalam menyelesaikan proses estimasi akurasi dengan metode yang sama. Pada model matematika penulis mendapatkan referensi dari penelitian Syafrudin Side dkk (2018) yang berjudul “*Modifikasi Model SIR pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengue di Kabupaten Bone* ”[6]. Dan penelitian oleh Kassahun Getnet Mekonen, Tatek Getachew H/Michael dan teman-teman (2020) dalam judul “*Estimasi Parameter Model Pandemi Covid-19 dengan Perubahan Perilaku Perlindungan Diri*”[7]. Kasus penelitian yang dilakukan oleh Syaifruddin dkk dan Kassahun dkk menjadi referensi penulis dalam menyelesaikan tugas akhir dengan model matematika yang digunakan adalah model SIR dan SEIR.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya penulis fokus pada pemilihan parameter-parameter yang ada pada Ensemble Kalaman Filter (EnKF) yaitu P,Q dan R sehingga dari studi kasus memberikan hasil akurasi dan terdapat pengaruh dari pemberian P,Q dan R secara trial error. Hal tersebutlah yang menjadi bahasan pada tugas akhir penulis kali ini untuk judul yang diangkat oleh penulis adalah “ Aspek-Aspek yang Mempengaruhi Tingkat Akurasi Estimasi *Ensemble Kalman Filter (EnKF)*: Studi Kasus Penyebaran *Demam Berdarah Dengue (DBD)* Dan *Koronavirus 2019 (COVID-19)* Di Jawa Timur.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan Latar Belakang tersebut disusun rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pemilihan P,Q dan R untuk mendapatkan estimasi akurasi *Ensemble Kalman Filter (EnKF)* pada model SIR

demam berdarah dengue (DBD) dan model SEIR koronavirus 2019 (COVID-19)

2. Bagaimana tingkat akurasi estimasi *Ensemble Kalman Filter* (*EnKF*) setelah pemilihan P,Q dan R pada model SIR demam berdarah dengue (DBD) dan model SEIR koronavirus 2019 (COVID-19)
3. Bagaimana pengaruh estimasi *Ensemble Kalman Filter* (*EnKF*) setelah pemilihan P,Q dan R pada model SIR demam berdarah dengue (DBD) dan model SEIR koronavirus 2019 (COVID-19)

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah :

1. Pemilihan nilai estimasi awal (X_0) didapatkan dari nilai data kasus Demam Berdarah Dengue dan Covid-19, pemilihan kovariansi kesalahan estimasi (P), serta kovariansi noise sistem (Q) dan noise pengukuran (R) berdasarkan Trial Error.
2. Data covid-19 berbentuk data kumulatif harian yang selanjutnya diperinci menjadi data kumulatif bulanan didapatkan dari halaman resmi Covid-19 sedangkan data Demam Berdarah Dengue berbentuk data kumulatif bulanan didapatkan dari Dinas Kesehatan Jawa Timur
3. Dalam masalah ini digunakan parameter model estimasi berdasarkan data jumlah bulanan pada kasus manusia yang terinfeksi, sembuh dan meninggal akibat demam berdarah dengue (DBD) yang didapatkan dari Dinas Kesehatan Jawa Timur dan individu terkonfirmasi, laten, positif, sembuh dan meninggal akibat covid-19 di provinsi Jawa Timur pada tahun 2020 didapatkan dari halaman resmi covid-19.

1.4 Tujuan Penelitian

1. Mengetahui nilai P,Q dan R untuk mendapatkan estimasi akurasi *Ensemble Kalman Filter (EnKF)* pada model SIR demam berdarah dengue (DBD) dan model SEIR koronavirus 2019 (COVID-19)
2. Mengetahui tingkat akurasi estimasi *Ensemble Kalman Filter (EnKF)* pada model SIR demam berdarah dengue (DBD) dan model SEIR koronavirus 2019 (COVID-19)
3. Mengetahui parameter P,Q dan R ketika dilakukan secara trial error pengaruh yang diberikan pada hasil estimasi Ensemble Kalam Filter (EnKF) pada masing-masing parameter diantaranya kovariansi kesalahan estimasi (P), kovariansi noise sistem (Q) dan noise pengukuran (R) pada model SIR demam berdarah dengue (DBD) dan model SEIR koronavirus 2019 (COVID-19)

1.5 Manfaat Penelitian

1. Dari hasil simulasi diperoleh nilai estimasi awal (X_0), kovariansi kesalahan estimasi (P), kovariansi noise sistem (Q) dan noise pengukuran (R), dimana nilai P,Q dan R merupakan pemilihan secara trial error yang menghasilkan estimasi akurasinya sangat baik. Dengan demikian berguna bagi pemerintah, pihak rumah sakit dan masyarakat.
2. Didapatkan pengetahuan pemilihan P,Q dan R secara trial error untuk mendapatkan hasil estimasi akurasi sangat baik sehingga dapat berguna untuk literatur dan menunjang penelitian selanjutnya.
3. Wujud kontribusi dalam pengembangan ilmu matematika terapan dalam bidang kesehatan.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Pada bab ini diuraikan kajian pustaka dan dasar teori yang melandasi penelitian. Adapun hal yang dibahas meliputi: penelitian sebelumnya yang menjadi referensi penelitian yang diusulkan, model penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD) dan Koronavirus 2019 (COVID-19), Ensemble Kalman Filter (EnKF) mengetahui tingkat akurasi dengan memberikan tiga nilai estimasi awal (X_0), kovariansi kesalahan estimasi (P), serta kovariansi noise sistem (Q) dan noise pengukuran (R) yang menghasilkan nilai yang berbeda-beda. Dengan demikian bermanfaat untuk pengetahuan dalam penujang penelitian selanjutnya di bidang pendidikan.

2.1 Penelitian Terdahulu

1. Penelitian mengenai metode modifikasi Kalman Filter oleh Erna Apriliani yang berjudul “*Perbandingan Metode Kalman Filter, Extended Kalman Filter, dan Ensemble Kalman Filter pada Model Penyebaran Virus HIV/AIDS*” pada penelitian kali ini membandingkan tiga metode yaitu Kalman Filter, Extended Kalman Filter dan Ensemble Kaman Filter pada permasalaha penyebaran virus

HIV/AIDS. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui tingkat penyebaran virus HIV pada orang yang rentan normal, rentan gay, terinfeksi normal, terinfeksi gay, dan populasi AIDS-nya. Selanjutnya dilakukan beberapa simulasi dan dapat didapatkan hasil bahwa Metode Extended Kalman Filter jauh lebih baik dibandingkan dengan kedua metode tersebut. Pada penelitian kali ini metode Ensemble Kalman Filter (EnKF) menjadi panduan penulis dalam menyelesaikan estimasi akurasi dengan memberikan tiga nilai estimasi awal (X_0), kovariansi awal (P_0), serta kovariansi noise sistem Q dan noise pengukuran R, sehingga simulasi tersebut akan didapatkan hasil yang berbeda-beda, dan akan dilakukan perbandingan dengan data real yang diperoleh dan data bangkitan pada kovariansi noise sistem dan noise pengukuran.

2. Selanjutnya penelitian yang mendukung penulis menggunakan metode Ensemble Kalman Filter (EnKF) dengan judul penelitiannya adalah “*Pengembangan Region Based Covariance Localization Pada Ensemble Kalman Filter Untuk Proses History Matching Dalam Simulasi Reservoir*” oleh Fajril Ambia. Metode *Ensemble Kalman Filter (EnKF)* memiliki kemampuan *fine tuning* atas distribusi *static parameter* suatu reservoir seperti permeabilitas. Sebaran permeabilitas tersebut dapat dikoreksi seiring dengan bertambahnya data produksi, sehingga model dapat diperbarui secara terus-menerus. Algoritma ini juga sangat efisien karena hanya memerlukan informasi satu *timestep* sehingga sangat mengurangi waktu komputasi. Namun permasalahan yang timbul dari penggunaan algoritma *EnKF* adalah problem yang coba

diselesaikan memiliki variabel yang jauh lebih banyak. Sehingga permasalahan menjadi *underdetermined*. Ini mengakibatkan solusi yang diperoleh dapat menjadi jauh dari model yang sebenarnya. Untuk mengurangi efek dari *underdetermined system*, algoritma *EnKF* perlu dimodifikasi agar bekerja dengan syarat batas yang banyak. Hasil yang diperoleh menunjukkan terjadinya efek pembaruan *grid* yang lebih terlokalisasi dengan tetap mempertahankan konsep geologi yang telah didefinisikan sebelumnya sehingga cocok untuk diterapkan pada area sekitar. Dari penelitian ini sangat menunjang dalam penggunaan algoritma EnKF sehingga dalam simulasi tidak terjadi *underdetermined* dan menghasilkan nilai yang tidak jauh berbeda dengan kondisi real dan data bangkitan kovariansi noise sistem dan noise pengukuran.

3. Dalam penelitian Tugas Akhir ini penulis merujuk pada penelitian sebelumnya yang sesuai dengan topik penelitian. Syafruddin Side, Ahmad Zaki dan Nurwahidah Sari. (2018). Modifikasi Model SIR pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengue di Kabupaten Bone. Dengan penambahan asumsi baru bahwa 20% penderita DBD yang sembuh akan kembali terinfeksi dan 80 % dari individu yang telah sembuh tidak akan kembali menjadi rentan. Data yang digunakan adalah jumlah penderita DBD di Kabupaten Bone tahun 2016 dari Dinas Kesehatan Kabupaten Bone. Pembahasan dimulai dari penentuan titik equilibrium, stabilitas, bilangan reproduksi dasar (R_0) dan simulasi menggunakan Maple. Hal ini menunjukkan bahwa penyakit DBD di Kabupaten Bone akan terus meningkat dan menjadi endemik.

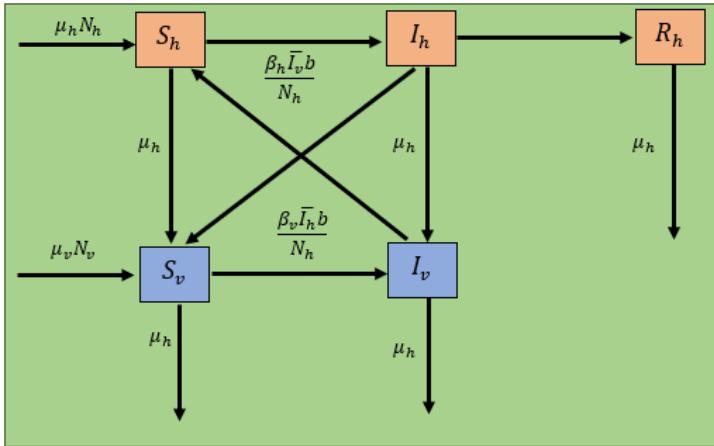
memberikan informasi bahwa modifikasi model matematika pada penyakit demam berdarah dengue (DBD) pada model SIR dengan asumsi-asumsi baru, demam berdarah dengue (DBD) merupakan sistem yang nonlinear Penulisan ini bertujuan untuk mengetahui langkah-langkah membuat model dan mengetahui model matematika penyakit demam berdarah dengue, mengetahui analisis model dan analisis kestabilan model menggunakan Routh-Hurwitz, menginterpretasikan model dengan melakukan simulasi model. Diperoleh model matematika SIR untuk penyakit Demam Berdarah Dengue, ini menunjukkan bahwa penyakit Demam Berdarah Dengue berstatus epidemik. Dari penelitian ini model SIR pada demam berdarah dengue (DBD) menjadi pendukung dalam penggeraan tugas akhir yang penulis lakukan.

4. Penelitian terakhir oleh Kassahun Getnet Mekonen, Tatek Getachew H/Michael dan teman-teman dalam judul (2020) *“Estimasi Parameter Model Pandemi Covid-19 dengan Perubahan Perilaku Perlindungan Diri”*. Penelitian dilakukan untuk menentukan estimasi parameter dimana model penyakit COVID-19 adalah model SEIR. Namun sebelum dilakukan estimasi berdasarkan data tidak diketahui parameter model sehingga menggunakan kombinasi dari metode least square dan estimasi bayesian. Dari indentifikasi antar negara, didapatkan parameter sensitif penyebaran yang bervariasi, dan didapatkan jumlah reproduksi tergantung pada tingkat infeksi atau populasi terjangkit, tingkat pemulihan/ sembuh, tingkat kematian virus pada lingkungan. Hal ini menunjukkan bahwa pengendalian laju transmisi efektif sangat penting untuk menghentikan

penyebaran dari virus tersebut. Selanjutnya dilakukan simulasi numerik yang menunjukkan bahwa transmisi virus bergantung pada banyaknya parameter sensitif tersebut. Dari penelitian ini model SEIR pada penyebaran penyakit koronavirus 2019 (COVID-19) menjadi pendukung dalam pengerjaan tugas akhir yang penulis lakukan.

2.2 Model Penyebaran Demam Berdarah Dengue (DBD)

Demam berdarah dengue (DBD) disebabkan oleh virus dengue yang menular dari orang ke orang melalui gigitan nyamuk *Aedes aegypti*. Setelah dari gigitan tersebut, virus masuk ke dalam tubuh sehingga penderita umumnya berada dalam fase demam akut, dimana demam ini timbul pada dua hari sebelum sampai lima hari setelah panas tinggi. Penyebaran penyakit demam berdarah dengue (DBD) ini berasal dari orang yang terkena virus dengue kepada orang yang tidak terkena virus dengue dan sebagian besar ini terjadi melalui gigitan nyamuk *Aedes aegypti*. Disamping melalui gigitan nyamuk, penyebaran virus dengue juga dapat terjadi karena terpapar darah penderita dengue seperti, janin yang terinfeksi dari ibunya, penerimaan transplantasi organ dan penerimaan transfusi darah. Berikut ini adalah model dinamik virus dengue sebagai berikut [6], berikut model SIR pada demam berdarah dengue (DBD):



Gambar 2.1 Diagram Kompartmen Model Matematika pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD)

Berdasarkan Gambar 2.1, maka didapatkan model matematika untuk penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD) dalam bentuk nonlinear sistem persamaan diferensial biasa yang dapat dituliskan pada persamaan (2.1)-(2.7) [6]:

$$\frac{dS_h}{dt} = \mu_h N_h - \left(\frac{\beta_h b}{N_h} I_v + \mu_h \right) S_h \quad (2.1)$$

$$\frac{dI_h}{dt} = \frac{\beta_h b}{N_h} S_h I_v - (\mu_h + \gamma_h) I_h \quad (2.2)$$

$$\frac{dR_h}{dt} = \gamma_h I_h - \mu_h R_h \quad (2.3)$$

$$\frac{dS_v}{dt} = \mu_v N_v - \frac{\beta_v b}{N_h} S_v I_h - N_v S_v \quad (2.4)$$

$$\frac{dI_v}{dt} = \frac{\beta_v b}{N_h} S_v I_h - \mu_v I_v \quad (2.5)$$

$$S_h + I_h + R_h = N_h \quad (2.6)$$

$$S_v + I_v = N_v \quad (2.7)$$

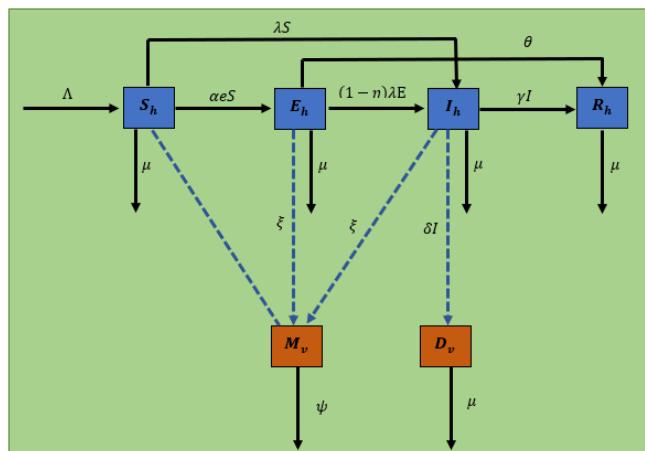
- S_h : Populasi manusia yang rentan terinfeksi
 I_h : Populasi manusia yang terinfeksi
 R_h : Populasi manusia yang sembuh
 S_v : Populasi nyamuk rentan terinfeksi
 I_v : Populasi nyamuk terinfeksi
 N_h : Total populasi manusia
 N_v : Total populasi nyamuk
 μ_h : Laju kematian alami manusia
 μ_v : Laju kematian alami nyamuk
 γ_h : Proporsi perpindahan dari manusia terinfeksi menjadi sembuh
 $\beta_h b$: Peluang terjadinya interaksi antara nyamuk terinfeksi dengan manusia rentan
 $\beta_v b$: Peluang terjadinya kontak antara nyamuk rentan dengan manusia terinfeksi

2.3 Model Penyebaran Koronavirus 2019

Koronavirus 2019 (bahasa Inggris: coronavirus disease 2019, disingkat COVID-19) adalah penyakit menular yang disebabkan oleh SARS-CoV-2, salah satu jenis koronavirus. Penyakit ini mengakibatkan penderita COVID-19 dapat mengalami demam, batuk kering, dan kesulitan bernapas. Sakit tenggorokan, pilek, atau bersin-bersin. Pada penderita yang paling rentan, penyakit ini dapat berujung pada pneumonia dan kegagalan multiorgan [1]. Infeksi menyebar dari satu orang ke orang lain melalui percikan (droplet) dari saluran pernapasan yang sering

dihasilkan saat batuk atau bersin. Jangka waktu dari paparan virus hingga timbulnya gejala klinis berkisar antara 1–14 hari dengan rata-rata 5 hari. Metode standar diagnosis adalah uji reaksi berantai polimerase transkripsi-balik (rRT-PCR) dari usap nasofaring atau sampel dahak dengan hasil dalam beberapa jam hingga 2 hari. Pemeriksaan antibodi dari sampel serum darah juga dapat digunakan dengan hasil dalam beberapa hari. Infeksi juga dapat didiagnosis dari kombinasi gejala, faktor risiko, dan pemindaian tomografi terkomputasi pada dada yang menunjukkan gejala pneumonia.

Pada model penyakit koronavirus 2019 (COVID-19) terdapat enam variabel dan sebelas parameter, dimana model yang dipilih adalah model SEIR dengan data yang diambil adalah pasien terinfeksi, pasien sembuh dan pasien meninggal tahun 2020 dalam akumulasi perbulan, mulai bulan Maret-Desember 2020 di provinsi Jawa Timur.



Gambar 2.2 Diagram Kompartmen Model Matematika pada Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)

Berikut model SEIR pada *Koronavirus 2019 (COVID-19)*[7]:

$$\frac{dS}{dt} = \Lambda - (\lambda + \alpha E + \mu)S \quad (2.8)$$

$$\frac{dE}{dt} = \alpha ES - (\theta + \mu + (1 - \eta)\lambda) E \quad (2.9)$$

$$\frac{dI}{dt} = \lambda S + (1 - \eta)\lambda E - (\mu + \delta + \gamma)I \quad (2.10)$$

$$\frac{dR}{dt} = \theta E + \gamma I - \mu R \quad (2.11)$$

$$\frac{dD}{dt} = \delta I - \mu D \quad (2.12)$$

$$\frac{dM}{dt} = \epsilon E + \xi I - \psi M \quad (2.13)$$

$$M_v = S_v \quad (2.14)$$

$$D_u = I_v \quad (2.15)$$

Keterangan variabel dan parameter sebagai berikut:

S_h : Individu yang rentan terinfeksi

E_h : Individu yang terinfeksi laten, yang tidak memiliki gejala penyakit virus COVID-19 dan bersifat menular (reaktif)

I_h : Individu yang terinfeksi, yang memiliki penyakit aktif dan bersifat menular (positif)

R_h : Individu yang sembuh

S_v : Orang yang meninggal hanya dengan COVID-19, tetapi tidak dengan penyakit lain dan kematian alami

- I_v : Bahan atau permukaan yang terkontaminasi COVID-19 di lingkungan
 Λ : Tingkat rekrutmen ke individu yang rentan
 α : Laju penyebaran informasi tentang penyakit dalam populasi
 e : Tingkat penularan penyakit langsung dari individu terinfeksi
 λ : Laju penyebaran dari individu rentan terinfeksi dengan individu terinfeksi
 θ : Peluang terjadinya interaksi antara individu terinfeksi Covid-19 dengan individu rentan terinfeksi
 η : Peluang terjadinya kontak antara individu laten dengan individu terinfeksi Covid-19
 γ : Tingkat populasi manusia rentan terinfeksi
 δ : Tingkat populasi positif covid-19
 μ : Laju kematian alami
 ψ : Laju kematian individu terinfeksi
 ϵ : Laju kematian individu laten
 ξ : Laju kematian akibat individu laten dan juga individu yang positif Covid-19

2.4 Pendiskritan

Beberapa sistem dinamik merupakan sistem dinamik kontinu atau berupa sistem persamaan diferensial parsial. Untuk sistem dinamik waktu kontinu dapat diubah menjadi sistem dinamik waktu diskrit dengan menggunakan metode beda hingga maju untuk perubahan terhadap waktu, sedangkan untuk sistem yang berbentuk persamaan diferensial parsial

maka sistem dapat didiskritkan dengan menggunakan beda hingga pusat atau metode lainnya [11].

Sebelum dilakukan estimasi pada kasus demam berdarah dengue (DBD) dan koronavirus 2019 (COVID-19) perlu dilakukan pendiskritan model dengan menggunakan metode beda hingga. Metode beda hingga adalah numerik yang umum digunakan untuk menyelesaikan persoalan teknis dan problem matematis dari suatu gejala fisis. Dalam metode beda hingga terdapat 3 pendekatan beda hingga yaitu pendekatan beda maju (*forward difference*), pendekatan beda mundur (*backward difference*), dan pendekatan beda pusat (*center difference*).

Pada pendiskritan model demam berdarah dengue (DBD) dan koronavirus 2019 (COVID-19) menggunakan metode metode beda hingga pusat (*center difference*) sebagai berikut:

$$\dot{x} = \frac{dx}{dt} = \frac{x_{k+1}^j - x_k^j}{\Delta t} \quad (2.16)$$

$$\frac{\partial f(x,y)}{\partial x} = \frac{x_k^{j+1} - x_k^{j-1}}{2\Delta x} \quad (2.17)$$

$$\frac{\partial f(x,y)}{\partial y} = \frac{y_k^{j+1} - y_k^{j-1}}{2\Delta y} \quad (2.18)$$

2.5 MAPE

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) merupakan standar ukuran yang digunakan untuk mengukur kesesuaian sebuah metode peramalan yang dapat dinyatakan dalam sebuah persentase. Dengan menggunakan MAPE dapat dilihat sejauh mana hasil peramalan melenceng dari data aktual. Hasil peramalan

semakin baik jika nilai MAPE semakin mendekati nol. Rumus untuk menghitung MAPE dinyatakan sebagai berikut [14]:

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{|S(t) - F(S(t))|}{S(t)}}{n} \quad (2.19)$$

Berikut ini merupakan Tabel untuk mengetahui keakuratan hasil dari peramalan dengan menggunakan MAPE

Tabel 2.1 Akurasi Peramalan Mape

MAPE	Tingkat Akurasi Peramalan
<10%	Akurasi Peramalan Tinggi
10%-20%	Akurasi Peramalan Baik
21%-50%	Akurasi Peramalan Biasa
>50%	Akurasi tidak Akurat

2.6 Metode Kalman Filter

Metode Kalman Filter diperkenalkan pertama kali oleh R.E. Kalman pada tahun 1960 [13]. Kalman Filter merupakan sebuah algoritma pengolahan data yang optimal. Kalman Filter merupakan suatu estimator sistem dinamik linear. Kalman filter mampu mengestimasi variabel keadaan dinamis dari sistem dengan dua tahapan yaitu tahap prediksi dan tahap koreksi. Tahap prediksi (time update) merupakan tahap estimasi dari sistem model dinamik, sedangkan tahap koreksi (measurement update) merupakan tahap estimasi dari model pengukuran [14]. Algoritma Kalman Filter waktu diskrit yang ditulis sebagai berikut:

Model sistem :

$$x_{k+1} = A_k x_k + B_k u_k + G_k w_k \quad (2.25)$$

Dengan x_{k+1} merupakan variable keadaan pada k+1, x_k merupakan vektor keadaan, u_k merupakan vektor masukan, w_k merupakan gangguan pada pengukuran merupakan *noise* sistem dan A_k , B_k , G_k adalah matriks koefisien dari masukan dengan ukuran bersesuaian.

Model Pengukuran :

$$z_k = H_k x_k + v_k \quad (2.20)$$

Dengan :

- z_k : vektor pengukuran
- v_k : vektor random merupakan *noise* pengukuran
- H_k : matriks koefisien dari masukan dengan ukuran bersesuaian

Dengan asumsi :

$$x_0 \sim N(\bar{x}_0, P_{x0}), w_k \sim N(0, Q_k), v_k \sim N(0, R_k) \quad (2.21)$$

$w_k \sim N(0, Q_k)$ dan $v_k \sim N(0, R_k)$ adalah proses *white noise* yang tidak berkorelasi dengan x_0 dan yang lainnya $R_k > 0$

Inisialisasi :

$$\begin{aligned}\widehat{x}_0 &= \bar{x}_0 \\ P_0 &= P_{x0}\end{aligned}$$

Tahap Prediksi (*time update*) :

$$\text{Estimasi : } \hat{x}_{k+1} = A_k \hat{x}_k + B_k u_k \quad (2.22)$$

$$\text{Kovarian Error : } P_{k+1}^- = A_k P_k A_k^T + G_k Q_k G_k^T \quad (2.23)$$

Dimana \hat{x}_{k+1} merupakan vektor prediksi dan P_{k+1}^- merupakan kovarian prediksi. Tahap prediksi yaitu memprediksi variabel keadaan dan tingkat akurasinya dihitung menggunakan persamaan kovarian error atau norm kovariansi error. Pada tahap

koreksi, hasil estimasi variabel keadaan dikoreksi menggunakan model pengukuran. Salah satu bagian dari tahap ini yaitu menentukan matriks Kalman Gain yang digunakan untuk meminimumkan kovariansi error [11].

Tahap Koreksi (*measurement update*):

$$Kalman\ Gain : K_{k+1} = P_{k+1}^- H^T (H P_{k+1}^- H^T)^{-1} \quad (2.24)$$

$$Estimasi : \hat{x}_{k+1} = \hat{x}_{k+1}^- + P_{k+1}^- H_{k+1}^T R_{k+1}^{-1} (z_{k+1} - H_{k+1} \hat{x}_{k+1}^-) \quad (2.25)$$

$$\begin{aligned} Kovarian\ Error : P_{k+1} &= [(P_{k+1}^-)^{-1} + H_{k+1}^T R_{k+1}^{-1} H_{k+1}]^{-1} \\ &= [(P_{k+1}^-)^{-1} + H_{k+1}^T R_{k+1}^{-1} H_{k+1}]^{-1} \end{aligned} \quad (2.26)$$

Tahap prediksi dan tahap koreksi akan diulang terus menerus sampai waktu k yang ditentukan.

Tabel 2.2 Algoritma Kalman Filter (KF) [12]

Model Sistem	$x_{k+1} = A_k x_k + B_k u_k + G_k w_k$
Model Pengukuran	$z_k = H_k x_k + v_k$
Asumsi	$x_0 \sim N(\bar{x}_0, P_{x0}), w_k \sim N(0, Q_k), v_k \sim N(0, R_k)$
Inisialisasi	$\hat{x}_0 = \bar{x}_0$ $P_0 = P_{x0}$
Tahap Prediksi	$Estimasi : \hat{x}_{k+1} = A_k \hat{x}_k + B_k u_k$ $Kovarian\ Error : P_{k+1}^- = A_k P_k A_k^T + G_k Q_k G_k^T$
Tahap Koreksi	$Kalman\ Gain : K_{k+1} = P_{k+1}^- H^T (H P_{k+1}^- H^T)^{-1}$

	$\begin{aligned} \text{Estimasi : } \hat{x}_{k+1} &= \hat{x}_{k+1}^- \\ &+ P_{k+1} H_{k+1}^T R_{k+1}^{-1} (z_{k+1} \\ &- H_{k+1} \hat{x}_{k+1}^-) \\ \text{Kovarian Error : } P_{k+1} &= [(P_{k+1}^-)^{-1} \\ &+ H_{k+1}^T R_{k+1}^{-1} H_{k+1}]^{-1} \end{aligned}$
--	--

2.7 Metode Ensemble Kalman Filter

Metode Ensemble Kalman Filter (EnKF) adalah metode estimasi variable keadaan dari sistem dinamik stokastik berdasarkan model matematika dari sistem tersebut dan beberapa data pengukuran. Metode Ensemble Kalman Filter (EnKF) pertama kali diperkenalkan oleh Evensen pada tahun 1994. Metode Ensemble Kalman Filter (EnKF) merupakan salah satu modifikasi dari Metode Kalman Filter dengan membangkitkan atau menggunakan sejumlah *ensemble* untuk mengestimasi kovarian *error* pada tahap prediksi [5].

Algoritma Ensemble Kalman Filter (EnKF) mempunyai tiga tahapan, yaitu tahap inisialisasi, tahap prediksi (*time update step*) dan tahap koreksi (*measurement update step*). Pada tahap insialisasi, metode Ensemble Kalman Filter (EnKF) dijalankan dengan membangkitkan sejumlah *ensemble* yang merupakan representasi dari variabel keadaan (*variable state*). Dari ensemble yang dibangkitkan tersebut diperoleh nilai rata-rata (*mean ensemble*) yang dianggap sebagai nilai awal.

Misalkan diberikan sistem dinamik *nonlinier* :

$$x_{k+1} = f(x_k, u_k) + w_k \quad (2.27)$$

Dengan persamaan pengukuran linear :

$$z_k = Hx_k + v_k \quad (2.28)$$

Dengan x_{k+1} merupakan variabel keadaan pada waktu $k + 1$, $f(x_k, u_k)$ merupakan fungsi tak liniear dari x_k dengan input u_k , z_k merupakan data pengukuran, w_k merupakan noise sistem yang berdistribusi normal, v_k merupakan noise pengukuran yang memiliki distribusi normal, sedangkan H merupakan matriks yang merupakan representasi hubungan antara data pengukuran Dn variabel keadaan.

Proses estimasi EnKF diawali dengan membangkitkan sejumlah N ensemble . ensemble yang dibangkitkan dilakukan secara random dan berdistribusi normal.

Misalkan akan dibangkitkan sejumlah N_e ensemble untuk memperoleh nilai rata-rata (mean) yaitu :

$$\hat{X}_0 = [X_{0,1} \ X_{0,2} \ X_{0,3} \ \cdots \ X_{0,N_e}] \quad (2.29)$$

Sebelum masuk ketahap prediksi, terlebih dahulu dihitung mean ensemblenya dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\bar{X}_k = \frac{1}{N_e} \sum_{i=1}^{N_e} X_{k,i} \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (2.30)$$

Dan untuk menghitung kovarian error $P_{\bar{k}}$ menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_{\bar{k}} = \frac{1}{N_e - 1} \sum_{i=1}^{N_e} (X_{\bar{k},i} - \bar{X}_{\bar{k}})(X_{\bar{k},i} - \bar{X}_{\bar{k}})^T$$

Pada persamaan (2.36) hanya digunakan untuk kovarian pada tahap prediksi. Pada EnKF, noise sistem w_k pada tahap prediksi dan noise pengukuran v_k pada tahap koreksi akan dibangkitkan dalam bentuk ensemble. Algoritma metode Ensemble Kalman Filter (EnKF) disajikan pada Tabel 2.3 [11].

Tabel 2.3 Algoritma Ensemble Kalman Filter(EnKF)

Model sistem	$x_{k+1} = f(x_k, u_k) + w_k$
Model pengukuran	$z_k = Hx_k + v_k$
Asumsi	$w_k \sim N(0, Q_k), v_k \sim N(0, R_k)$
Inisialisasi	Bangkitkan N ensemble sesuai estimasi awal \bar{X}_0 $\hat{X}_0 = [X_{0,1} \ X_{0,2} \ X_{0,3} \ \cdots \ X_{0,N_e}]$ Tentukan nilai awal : $\hat{X}_0 = \frac{1}{N_e} \sum_{i=1}^{N_e} X_{0,i}$ Dengan $\hat{X}_{0,i} \sim N(\bar{X}_0, P_0)$
Tahap prediksi	$\hat{x}_{\bar{k},i} = f(\hat{X}_{k-1}, u_{k-1}) + w_{k,i}$ $w_{k,i} \sim N(0, Q_k)$ merupakan ensemble dari sistem Estimasi : $\hat{X}_k = \frac{1}{N_e} \sum_{i=1}^{N_e} \hat{x}_{\bar{k},i} \quad ; i = 1, 2, 3, \dots, N_e$

	<p>Kovarian Error :</p> $P_{\bar{k}} = \frac{1}{N_e - 1} \sum_{i=1}^{N_e} (X_{\bar{k},i} - X_{\bar{k}})(X_{\bar{k},i} - X_{\bar{k}})^T$ $; i = 1, 2, 3, \dots, N_e$
Tahap koreksi	<p>Bangkitkan N-ensemble data pengukuran</p> $z_{k,i} = z_k + v_{k,i}$ <p>Kalman Gain :</p> $K_k = P_{\bar{k}} H^T [H P_{\bar{k}} H^T + R_k]^{-1}$ <p>Estimasi :</p> $\hat{X}_{k,i} = \hat{X}_{\bar{k},i} + K_k (z_{k,i} - H \hat{X}_{\bar{k},i})$ <p>Rata-rata Estimasi :</p> $\hat{X}_k = \frac{1}{N_e} \sum_{i=1}^{N_e} \hat{X}_{\bar{k},i}$ <p>Kovarian error</p> $P_{k+1} = [I - K_k H] P_{\bar{k}}$

BAB III

METODE PENELITIAN

Pada bagian ini diuraikan serangkaian metode atau langkah sistematis yang dilakukan dalam proses pengerjaan Tugas Akhir. Adapun metode atau langkah-langkahnya meliputi studi literatur, pengumpulan dan penyajian data penelitian, analisis data penelitian, estimasi akurasi *Ensemble Kalman Filter (EnKF)* pada model penyakit demam berdarah dengue (DBD) dan koronavirus 2019 (COVID-19), serta penyusunan hasil penelitian.

3.1 Studi Literatur

Adapun studi literatur yang dilakukan dalam penelitian ini berkaitan dengan cara melakukan pencarian dan pengumpulan referensi yang menunjang pada penelitian. Referensi yang digunakan berupa buku-buku, jurnal ilmiah, literatur, tugas akhir atau tesis yang berkaitan dengan permasalahan. Dengan tujuan untuk mempelajari lebih dalam mengenai model Demam Berdarah Dengue (DBD) dan Koronavirus 2019 (Covid-19). Beberapa data sekunder yang dijadikan acuan dalam studi literatur penelitian ini meliputi buku-buku literatur, jurnal, paper, maupun artikel-artikel yang relevan.

3.2 Diskritisasi Model

Pada tahap ini, model linear penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD) dan Koronavirus 2019 (COVID-19) masih dalam bentuk waktu kontinu sehingga akan dilakukan diskritisasi

menggunakan Metode beda hingga agar sistemnya menjadi waktu diskrit. Pendiskritan dibantu dengan menggunakan *software* MATLAB.

3.3 Implementasi Metode Ensemble Kalman Filter (EnKF)

Pada tahap ini, model matematika berbentuk sistem non linear namun pada metode Ensemble Kalman Filter tidak perlu adanya pelinieran. Setelah dilakukannya diskritisasi selanjutnya algoritma Ensemble Kalman Filter dapat diterapkan. Langkah-langkah yang dilakukan untuk estimasi model dengan menggunakan Ensemble Kalman Filter sebagai berikut:

a. Tahap inisialisasi

Pada tahap inisialisasi dilakukan Bangkitkan sejumlah N-ensemble dari estimasi awal. Untuk disubstitusikan pada Tahap prediksi, N-ensemble pada studi kasus DBD dan Covid-19 adalah 10,100 dan 1000

b. Tahap Prediksi

N-ensemble yang telah diperoleh dari tahap inisialisasi, selanjutnya akan disubstitusikan ke fungsi tahap prediksi. Pada tahap prediksi ini dilakukan perhitungan sistem dan pengukuran. Tahap pertama akan dilakukan perhitungan N-ensemble baru tahap prediksi pada sistem dengan memetakan N-ensemble

c. Tahap Koreksi

Pada tahap koreksi ini, akan terdapat perhitungan kovarian *error sistem* pada pengukuran dan kovarian *kesalahan estimasi*, Dibangkitkan N-ensemble data pengukuran. Lakukan pengulangan ke tahap prediksi berdasarkan hasil estimasi tahap koreksi

d. Simulasi

Simulasi dilakukan menggunakan MATLAB dengan input parameter yang telah didefinisikan data yang sudah ada. Dengan demikian Langkah-langkah implementasi metode Ensemble Kalman Filter ini disajikan dalam diagram alir pada Gambar 3.2.

3.4 Simulasi, Analisis Hasil dan Pembahasan

Pada tahap ini, dilakukan simulasi dengan menggunakan *software* MATLAB untuk mengetahui hasil implementasi Metode Ensemble Kalman Filter. Selanjutnya dilakukan analisis terhadap hasil implementasi tersebut. Hasil analisis yang diperoleh menjadi landasan untuk mengambil kesimpulan.

3.5 Penarikan Kesimpulan dan Saran

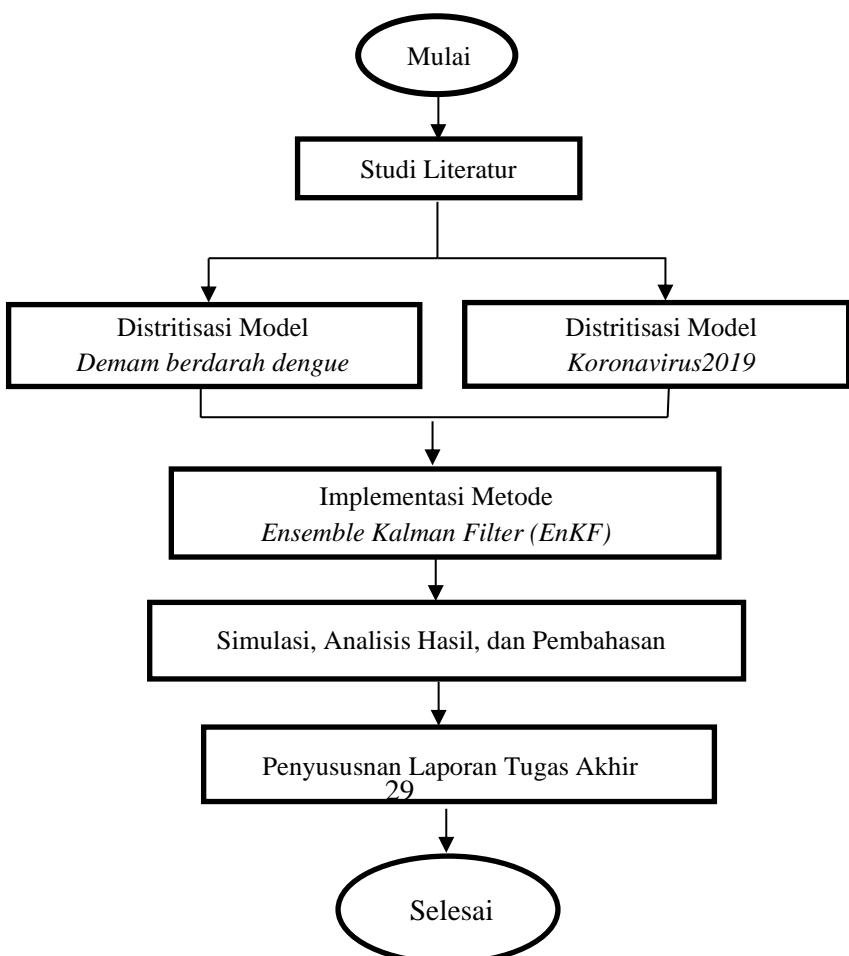
Pada tahap ini, dilakukan penarikan kesimpulan dari hasil pembahasan. Selanjutnya diberikan saran untuk perbaikan pada penelitian berikutnya.

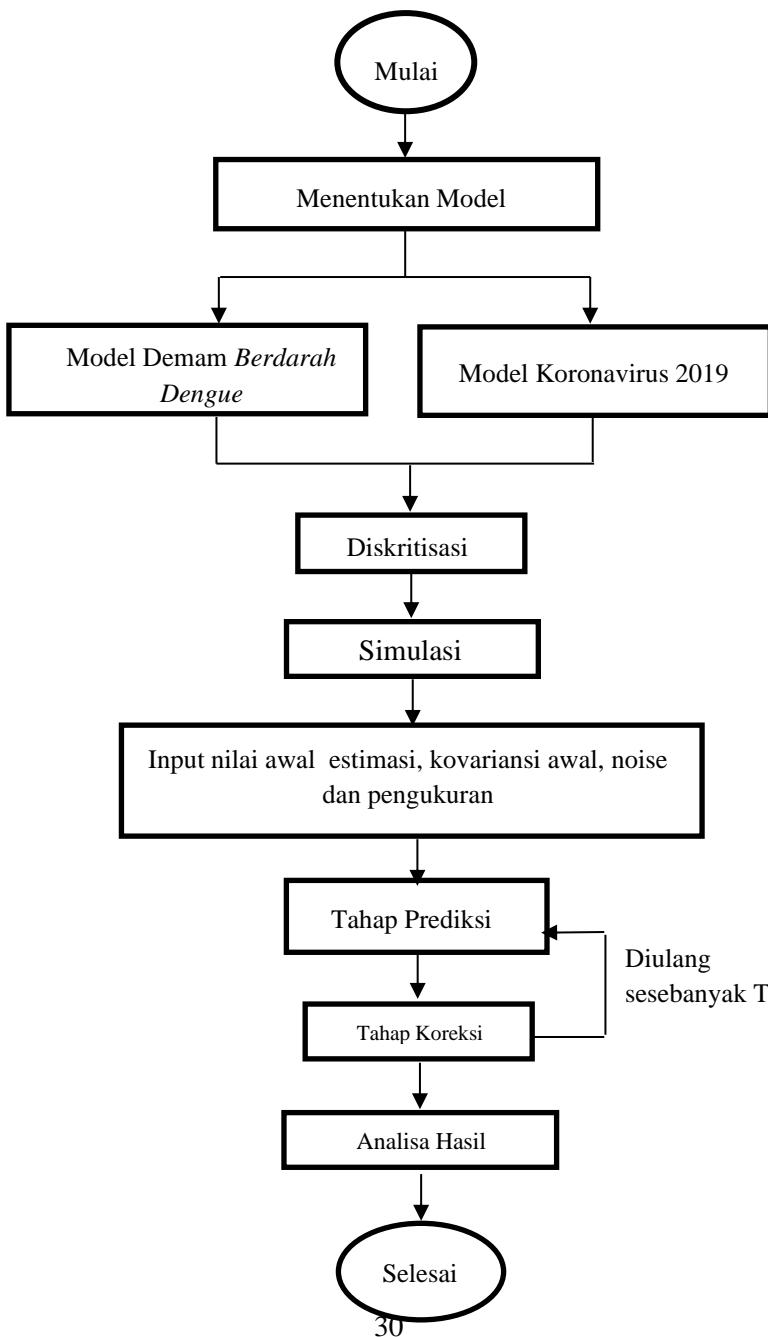
3.6 Pembuatan Laporan Tugas Akhir

Pada langkah ini, setelah mendapat jawaban permasalahan dari Tugas Akhir ini, maka akan dibuat laporan Tugas Akhir.

3.7 Diagram Alir Penelitian dan Metode Ensemcel Kalman Filter (EnKF)

Langkah-langkah penelitian pada Tugas Akhir ini disajikan dalam diagram alir pada Gambar 3.1 berikut:





Gambar 3.2 Diagram Metode Ensemble Kalman Filter

BAB IV PEMBAHASAN

Bab ini membahas mengenai pemilihan nilai P,Q dan R secara trial error, hasil estimasi *Ensemble Kalman Filter* studi kasus Demam Berdarah Dengue dan Covid-19 serta pengaruh P,Q dan R terhadap hasil estimasi saat N-ensemble yang diberikan 10,100 dan 1000. Analisa dan pembahasan pada bab ini meliputi pendiskritan untuk waktu kontinu sehingga menjadi waktu diskrit. Selanjutnya akan dilakukan proses estimasi menggunakan metode *Ensemble Kalman Filter* dan dilakukan simulasi dengan menggunakan *software MATLAB* untuk memperoleh keakuriasian dari metode *Ensemble Kalman Filter* dan menganalisis hasilnya. Setelah dilakukan analisa hasil, hasil tersebut dibandingkan dari beberapa simulasi untuk memperoleh pengaruh atas P,Q dan R.

4.1 Pendiskritan Model SIR Demam Berdarah Dengue (DBD) dan Model SEIR Koronavirus 2019 (COVID-19).

Model non linier dan kontinu pada kasus Demam Berdarah Dengue dan Covid-19, maka dari itu diperlukannya proses pendiskritan agar menghasilkan model linier dan diskrit dengan menggunakan metode Beda Hingga Maju (2.15). Maka dari itu dilakukan pendiskritan pada saat non endemik.

4.1.1 Pendiskritan saat Non Endemik pada Model Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengue (DBD)

$$\dot{S}_h = \mu_h I_h + \mu_h R_h - \beta_h b I_v \text{ sehingga,}$$

$$\frac{S_h^{k+1} - S_h^k}{\Delta t} = \mu_h I_h^k + \mu_h R_h^k - \beta_h b I_v^k$$

$$S_h^{k+1} = (\mu_h I_h^k + \mu_h R_h^k - \beta_h b I_v^k) \Delta t + S_h^k \quad (4.1.1)$$

$$\dot{I}_h = -\mu_h I_h - \gamma_h I_h + \beta_h b I_v \text{ sehingga,}$$

$$\frac{I_h^{k+1} - I_h^k}{\Delta t} = -\mu_h I_h^k - \gamma_h I_h^k + \beta_h b I_v^k$$

$$I_h^{k+1} = (-\mu_h I_h^k - \gamma_h I_h^k + \beta_h b I_v^k) \Delta t + I_h^k \quad (4.1.2)$$

$$\dot{R}_h = \gamma_h I_h - \mu_h R_h \text{ sehingga,}$$

$$\frac{R_h^{k+1} - R_h^k}{\Delta t} = \gamma_h I_h^k - \mu_h R_h^k$$

$$R_h^{k+1} = (\gamma_h I_h^k - \mu_h R_h^k) \Delta t + R_h^k \quad (4.1.3)$$

$$\dot{S}_v = (\mu_v - 2S_v - I_v) S_v - S_v I_v \text{ sehingga,}$$

$$\frac{S_v^{k+1} - S_v^k}{\Delta t} = (\mu_v - 2S_v - I_v) S_v^k - S_v I_v^k \quad (4.1.4)$$

$$S_v^{k+1} = ((\mu_v - 2S_v - I_v) S_v^k - S_v I_v^k) \Delta t + S_v^k$$

$$\dot{I}_v = \beta_h b S_v - \mu_h I_v \text{ sehingga,}$$

$$\frac{I_v^{k+1} - I_v^k}{\Delta t} = (\beta_h b S_v)^k + (\mu_h I_v)^k$$

$$I_v^{k+1} = ((\beta_h b S_v)^k + (\mu_h I_v)^k) \Delta t + I_v^k \quad (4.1.5)$$

Jadi didapat sistem diskrit yang bentuknya sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} S_h^{k+1} \\ I_h^{k+1} \\ R_h^{k+1} \\ S_v^{k+1} \\ I_v^{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_h \Delta t & & & & -\frac{\beta_h b}{S_h} \Delta t \\ -(\mu_h + \gamma_h) \Delta t + 1 & \mu_h \Delta t & 0 & 0 & \\ \gamma_h \Delta t & 0 & 0 & 0 & \\ -\frac{\beta_h b S_v}{S_h} \Delta t & -\mu_h \Delta t + 1 & 0 & 0 & \beta_h b \Delta t \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu_v \Delta t & \\ \frac{\beta_h b S_v}{S_h} \Delta t & 0 & 0 & -\mu_h \Delta t + 1 & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_h \\ I_h \\ R_h \\ S_v \\ I_v \end{bmatrix}$$

(4.1.6)

Selanjutnya, karena dilakukannya estimasi pada parameter-parameter model sehingga sistem pada persamaan (4.1.6) dapat dirubah menjadi persamaan (4.1.7)

$$x_{k+1} = \begin{bmatrix} \mu_h \Delta t & & & & -\frac{\beta_h b}{S_h} \Delta t & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -(\mu_h + \gamma_h) \Delta t + 1 & \mu_h \Delta t & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \gamma_h \Delta t & 0 & 0 & \beta_h b \Delta t & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{\beta_h b S_v}{S_h} \Delta t & \mu_h \Delta t & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \mu_v \Delta t & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\beta_h b S_v}{S_h} \Delta t & 0 & 0 & -\mu_h \Delta t + 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_h \\ I_h \\ R_h \\ S_v \\ I_v \\ \mu_h \\ \mu_v \\ \beta_h b \\ \beta_v b \\ \gamma_h \end{bmatrix} + Gw_k$$

(4.1.7)

4.1.2 Pendiskritan saat Non Endemik pada Model Penyebaran Penyakit Koronavirus 2019 (COVID-19)

$\dot{S}_h = \Lambda - (\lambda + \alpha E_h + \mu) S_h$ sehingga

$$\begin{aligned} \frac{S_h^{k+1} - S_h^k}{\Delta t} &= - \left(\lambda + \alpha \left(\frac{\lambda \Lambda}{(\lambda + \mu)(\mu + \delta + \gamma)} \right) + \mu \right) S_h^k \\ &\quad - \alpha \left(\frac{\Lambda}{\lambda + \mu} \right) E_h^k \\ S_h^{k+1} &= \left(\left(-\lambda S_h^k - \alpha \left(\frac{\lambda \Lambda}{(\lambda + \mu)(\mu + \delta + \gamma)} \right) S_h^k - \mu S_h^k \right) - \right. \\ &\quad \left. \alpha \left(\frac{\Lambda}{\lambda + \mu} \right) \right) E_h^k \Delta t + S_h^k \end{aligned} \quad (4.2.1)$$

$\dot{E}_h = \alpha E_h S_h - (\theta + \mu_h + (1 - \eta)\lambda) E_h$ sehingga

$$\begin{aligned} \frac{E_h^{k+1} - E_h^k}{\Delta t} &= \left(\alpha \left(\frac{\lambda \Lambda}{(\lambda + \mu)(\mu + \delta + \gamma)} \right) \right) S_h^k \\ &\quad + \left(\alpha \left(\frac{\Lambda}{\lambda + \mu} \right) - (\theta + \mu_h + (1 - \eta)\lambda) \right) E_h^k \\ &\quad - (\mu + \delta + \gamma) I_h^k \end{aligned}$$

$$E_h^{k+1} = \left(\left(\alpha \left(\frac{\lambda\Lambda}{(\lambda+\mu)(\mu+\delta+\gamma)} \right) \right) S_h^k + \left(\alpha \left(\frac{\Lambda}{\lambda+\mu} \right) - (\theta + \mu_h + (1-\eta)\lambda) \right) E_h^k - (\mu + \delta + \gamma) I_h^k \right) \Delta t + E_h^k \quad (4.2.2)$$

$\dot{I}_h = \lambda S_h + (1-\eta)\lambda E_h - (\mu + \delta + \gamma) I_h$ sehingga

$$\frac{I_h^{k+1} - I_h^k}{\Delta t} = \lambda S_h^k + ((1-\eta)\lambda) E_h^k + \gamma I_h^k - \mu R_h^k$$

$$I_h^{k+1} = (\lambda S_h^k + ((1-\eta)\lambda) E_h^k + \gamma I_h^k - \mu R_h^k) \Delta t + I_h^k \quad (4.4.9)$$

$\dot{R}_h = \theta E_h + \gamma I_h - \mu R_h$ sehingga

$$\frac{R_h^{k+1} - R_h^k}{\Delta t} = \theta E_h^k + \gamma I_h^k - \mu S_v^k$$

$$R_h^{k+1} = (\theta E_h^k + \gamma I_h^k - \mu S_v^k) \Delta t + R_h^k \quad (4.2.3)$$

$\dot{S}_v = \epsilon E_h + \xi I_h - \psi S_v$ sehingga

$$\frac{S_v^{k+1} - S_v^k}{\Delta t} = \epsilon E_h^k + \xi I_h^k - \psi S_v^k$$

$$S_v^{k+1} = (\epsilon E_h^k + \xi I_h^k - \psi S_v^k) \Delta t + S_v^k \quad (4.2.4)$$

$\dot{I}_v = \gamma I_v - \mu I_v$ sehingga

$$\frac{I_v^{k+1} - I_v^k}{\Delta t} = \gamma I_v^k - \mu I_v^k$$

$$I_v^{k+1} = (\gamma I_v^k - \mu I_v^k) \Delta t + I_v^k \quad (4.2.5)$$

Jadi didapat sistem diskrit yang bentuknya sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} S_h^{k+1} \\ E_h^{k+1} \\ I_h^{k+1} \\ R_h^{k+1} \\ S_v^{k+1} \\ I_v^{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -(\lambda + ae + \mu)\Delta t + 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ (ae)\Delta t & (-(\theta + \mu + (1 - \eta)\lambda)\Delta t + 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \lambda\Delta t & (1 - \eta)\lambda\Delta t & -(\mu + \delta + \gamma)\Delta t & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \theta\Delta t & \gamma\Delta t & (-\mu)\Delta t + 1 & 0 & 0 \\ 0 & \delta\Delta t & 0 & 0 & (-\mu)\Delta t + 1 & 0 \\ 0 & \epsilon\Delta t & \xi\Delta t & 0 & 0 & \psi\Delta t + 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_h \\ E_h \\ I_h \\ R_h \\ S_v \\ I_v \end{bmatrix}$$

(4.2.6)

Selanjutnya, karena dilakukannya estimasi pada parameter-parameter model sehingga sistem pada persamaan (4.2.6) dapat dirubah menjadi persamaan (4.2.7)

$$\begin{aligned}
& \left[\begin{array}{cccccccccccccc} x_{k+1} & -(\lambda + \alpha e + \mu) \Delta t + 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_h \\ -(\lambda + \alpha e + \mu) \Delta t & (-\theta + \mu + (1-\eta)\lambda) \Delta t + 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & E_h \\ \lambda \Delta t & (1-\eta)\lambda \Delta t & -(\mu + \delta + \gamma) \Delta t & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & E_h \\ 0 & \theta \Delta t & \gamma \Delta t & (-\mu) \Delta t + 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_h \\ 0 & \delta \Delta t & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & R_h \\ 0 & \epsilon \Delta t & \xi \Delta t & 0 & \psi \Delta t + 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_p \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_p \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & I_p \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \lambda \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \delta \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \theta \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & \eta \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \delta \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \gamma \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \epsilon \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \xi \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \zeta \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \psi \end{array} \right] \\
& = + G w_k
\end{aligned}$$

(4.2.7)

4.2 Analisis Hasil Simulasi Estimasi Akurasi Ensemble Kalman Filter (EnKF)

Pada bab ini akan diterapkan simulasi dengan menggunakan algoritma *Ensemble Kalman Filter* untuk model SIR Demam Berdarah Dengue dan SEIR Covid-19 menggunakan bantuan *software MATLAB*. Pada simulasi ini nilai P,Q dan R dipilih secara trial error di sekitar nilai data pada masing-masing studi kasus. Kemudian membandingkan nilai estimasi menggunakan algoritma *Ensemble Kalman Filter* dengan data dan variabel parameter Demam Berdarah Dengue yang ada dari Dinas Kesehatan Provinsi Jawa Timur tahun 2020 dan Covid-19 dari halaman resmi Covid-19. Selanjutnya data tersebut akan disajikan dalam bentuk grafik dan tabel serta menampilkan nilai MAPE dari beberapa simulasi yang dipilih terbaik. Dalam simulasi ini,

diberikan nilai awal dari parameter yang digunakan pada Tabel (4.1) sampai (4.4) sebagai berikut :

Tabel 4.1 Tabel variabel model matematika pada penyebaran penyakit demam berdarah dengue (DBD)

Variabel	Keterangan	Nilai
S_h	Jumlah manusia yang rentan terinfeksi	8425
I_h	Jumlah manusia yang terinfeksi	8353
R_h	Jumlah manusia yang sembuh	8281
S_v	Jumlah nyamuk yang rentan terinfeksi	5000
I_v	Jumlah nyamuk yang terinfeksi	2000

Tabel 4.2 Tabel parameter model matematika pada penyebaran penyakit demam berdarah dengue (DBD)

Parameter	Keterangan	Nilai
μ_h	Laju kematian alami manusia	0,00004
μ_v	Laju kematian alami nyamuk	0,025
γ	Proporsi perpindahan dari manusia terinfeksi menjadi sembuh	0,074
$\beta_h b$	Peluang terjadinya interaksi antara nyamuk terinfeksi dengan manusia rentan	0,73
$\beta_v b$	Peluang terjadinya kontak antara nyamuk rentan dengan manusia	0,1327

	terinfeksi	
--	------------	--

Tabel 4.3 Tabel variabel model matematika pada penyebaran penyakit koronavirus2019 (COVID-19)

Variabel	Keterangan	Nilai
S_h	Individu yang rentan terinfeksi	84103
E_h	Individu yang terinfeksi laten, yang tidak memiliki gejala penyakit virus COVID-19 dan bersifat menular (reaktif)	162052
I_h	Individu yang terinfeksi, yang memiliki penyakit aktif dan bersifat menular (positif)	8353
R_h	Individu yang sembuh	72123
S_v	Orang yang meninggal hanya dengan COVID-19, tetapi tidak dengan penyakit lain dan kematian alami	5826
I_v	Bahan atau permukaan yang terkontaminasi COVID-19 di lingkungan	100000

Tabel 4.4 Tabel parameter model matematika pada penyebaran penyakit koronavirus2019 (COVID-19)

Parameter	Keterangan	Nilai
Λ	Tingkat rekrutmen ke individu yang rentan	11958673
α	Laju penyebaran informasi tentang penyakit dalam populasi	0.8642
e	Tingkat penularan penyakit langsung dari individu terinfeksi	0.0328
λ	Kekuatan infeksi (Ini adalah kemungkinan tertular infeksi)	0.071756

	individu yang terinfeksi)	
θ	Peluang terjadinya interaksi antara individu terinfeksi Covid-19 dengan individu rentan terinfeksi	0.0105
η	Peluang terjadinya kontak antara individu laten dengan individu terinfeksi Covid-19	0.9999
γ	Tingkat populasi manusia rentan terinfeksi	0.0200
δ	Tingkat populasi positif covid-19	0.0151
μ	Laju kematian alami	0.0122
ψ	Laju kematian individu terinfeksi	0.7224
ϵ	Laju kematian individu laten	0.0755
ξ	Laju kematian akibat individu laten dan juga individu yang positif Covid-19	0.0027

Pada simulasi estimasi akurasi Ensemble Kalman Filter terdapat parameter P,Q dan R yang diberikan nilai awal secara trial error pada kasus tugas akhir ini, pemberian nilai tersebut dilakukan dibeberapa simulasi untuk mendapatkan estimasi akurasi dan pengaruh parameter P,Q dan R terhadap estimasi akurasi *Ensemble Kalman Filter*. Setelah beberapa kali dilakukan simulasi penulis menampilkan nilai P,Q dan R dengan hasil estimasi yang kurang baik dan hasil estimasi yang sangat baik hal tersebut untuk menyampaikan bahwa pemilihan parameter P,Q dan R dibutuhkan ketelitian dn ketepatan untuk mendapatkan hasil estimasi yang

diharapkan, untuk nilai Q sendiri dipilih nilai disekitar $Q=1$, $Q=10$, $Q=100$ dan $Q=1000$ karena setelah dilakukan beberapa kali simulasi pemberian nilai Q yang lebih besar dari nilai P dan R sangat berpengaruh pada hasil error estimasi akurasi dengan menggunakan metode *Ensemble Kalman Filter*. Parameter P merupakan kovarian kesalahan estimasi sehingga nilai yang dipilih meminimumkan kesalahan tebakan awal maka diperoleh nilai P disekitaran $P<1$, R merupakan noise pengukuran sehingga nilai yang dipilih juga kecil karena semakin kecil noise hasil estimasi semakin akurat didapatkan bahwa $R<1$. Q merupakan kovarian pengukuran sistem sedemikian hingga nilai Q didapat dari perkiraan disekitar data model sistem, untuk itu nilai pada variabel model DBD di provinsi Jawa Timur tahun 2020 rata-rata mencapai ribuan kasus sama halnya pada Covid-19 di provinsi Jawa Timur, hal tersebutlah yang mendasari pemilihan nilai parameter Q.

Hasil simulasi estimasi yang dipaparkan dari beberapa kali uji coba pemilihan nilai parameter, didapatkan nilai $P=R$ dipilih P dan R sekecil mungkin, penulis memaparkan kondisi saat hasil estimasi kurang baik dan hasil estimasi sangat baik untuk nilai P,Q dan R. pemilihan $P=R=1$ dan $P=R=0.01$ karena setelah disimulasikan $P=R=1$ menghasilkan error yang besar sebaliknya $P=R=0.01$ menghasilkan error yang kecil. sehingga hasil tebakan menghasilkan error yang kecil serta menampilkan nilai estimasi kurang baik dan sangat baik. Untuk mengukur akurasi pada studi kasus demam berdarah dengue dan covid-19 penulis menggunakan mape. Berikut analisa hasil pemilihan nilai P,Q dan R saat $P=R=1$ dan $P=R=0.01$ sebagai berikut:

4.2.1 Analisis Hasil Simulasi Estimasi pada Penyebaran Demam Berdarah Dengue dan Covid-19 saat $P=R=1$

Berikut analisa hasil simulasi saat $P=R=1$ untuk nilai $Q=1$, $Q=10$, $Q=100$ dan $Q=1000$. Pada kasus Demam Berdarah Dengue range waktu pada simulasinya mulai dari bulan januari sampai desember 2020 maka $T=12$ bulan, sedangkan pada kasus Covid-19 simulasinya mulai Maret sampai Desember tahun 2020 maka $T=10$ bulan, serta N -ensemble yang diberikan 10,100 dan 1000. Untuk simulasi jumlah state pada kasus demam berdarah $n=3$ untuk Sh merupakan populasi manusia rentan terinfeksi, Ih merupakan populasi manusia terinfeksi, Rh merupakan populasi manusia sembuh. Pada kasus Covid-19 $n=4$ untuk Sh merupakan individu rentan terinfeksi, Eh merupakan individu laten/ terinfeksi yang tidak memiliki gejala penyakit virus COVID-19 dan bersifat menular, Ih merupakan individu terinfeksi/positif akibat Covid-19, Rh merupakan kasus individu sembuh dari Covid-19.

Berikut tabel hasil simulasi error rata-rata menggunakan metode *Ensemble Kalman Filter* pada kasus demam berdarah dengue dan covid-19 dengan hasil kurang baik dan sangat baik demikian diperoleh sebagai berikut :

Tabel 4. 5 Tabel Rata-rata Error Estimasi Akurasi Ensemble Kalman Filter (EnKF)

$P=1, R=1;$ $N=10$	State	$Q=1$	$Q=10$	$Q=100$	$Q=1000$
DBD	Sh	181.4240	33.6746	10.8814	0.3488
	Ih	23.8057	19.5373	1.6719	0.3661
	Rh	212.4935	46.8487	10.7772	0.4757
	t	4.97349 s	4.04153 s	4.61524 s	4.07357 s
COVID-19	Sh	1.3318	5.8094	696.5866	26.8497

	Eh	1.6302	1.1507	9.9046	9.8587
	Ih	7.9732	9.5556	1.0927	1.1006
	Rh	8.6674	7.6614	8.3820	8.4858
	t	5.54477 s	7.42195 s	5.23553s	6.06888 s

P=1, R=1; N=100	State	Q=1	Q=10	Q=100	Q=1000
DBD	Sh	156.1335	26.8722	2.8514	0.2511
	Ih	10.5919	3.6194	0.3512	0.0739
	Rh	164.4810	26.1436	2.8909	0.2209
	t	4.13584 s	4.54555 s	4.19630 s	4.06505 s
COVID-19	Sh	1.3800	2.8036	205.5956	21.0615
	Eh	1.7543	1.0472	9.8827	9.8573
	Ih	1.4545	1.0830	1.0959	1.1012
	Rh	7.2186	8.2217	8.4691	8.4865
	t	5.45953 s	5.54469 s	5.52202 s	5.31753 s

P=1, R=1; N=1000	State	Q=1	Q=10	Q=100	Q=1000
DBD	Sh	161.3690	24.2310	2.5381	0.2530
	Ih	3.2156	0.8334	0.1684	0.0408
	Rh	159.0558	23.5603	2.4811	0.2536
	t	4.87456 s	4.62852 s	4.85678 s	4.88732 s
COVID-19	Sh	1.4114	2.4266	254.6622	28.3932
	Eh	1.7815	1.0401	9.8900	9.8578
	Ih	1.5761	1.0599	1.0958	1.1011
	Rh	7.0423	8.2429	8.4626	8.4856
	t	5.96570 s	6.94443 s	5.76113 s	6.08443 s

Berikut analisa hasil pemilihan nilai P,Q dan R:

- Hasil estimasi rata-rata error pada model demam berdarah dengue untuk P=R=1, Q disekitar Q=1, Q=10, Q=100 dan

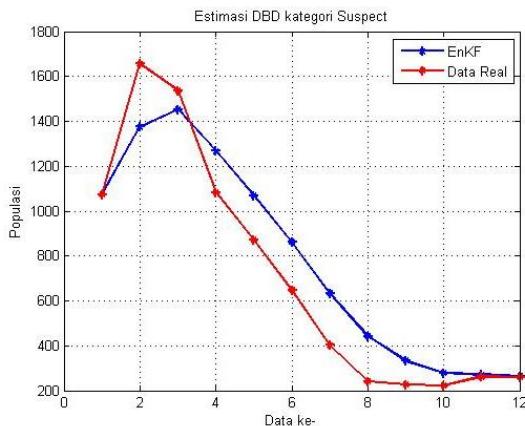
$Q=1000$ mendapatkan hasil estimasi mendekati keadaan real saat $Q=1000$ dan jauh dengan keadaan real saat $Q=1$. Dari tabel N-ensemble 1000, $Q=1000$ rata-rata error estimasi akurasi mendapatkan hasil rata-rata error estimasi populasi rentan terinfeksi 0.2530, rata-rata error estimasi populasi terinfeksi 0.0408, rata-rata error estimasi populasi sembuh 0.2536 dengan waktu komputasi 4.88732 detik. Hasil estimasi akurasinya baik.

2. Saat $Q=1$ dengan N-ensemble 1000 model demam berdarah dengue mendapatkan hasil rata-rata error estimasi populasi rentan terinfeksi 161.3690, rata-rata error estimasi populasi terinfeksi 3.2156, rata-rata error estimasi populasi sembuh 159.0558 dengan waktu komputasi 4.87456 detik. Hasil estimasi akurasinya tidak akurat.
3. Hasil rata-rata error estimasi pada model covid-19 untuk $P=R=1$, Q disekitar $Q=1$, $Q=10$, $Q=100$ dan $Q=1000$ mendapatkan hasil estimasi yang mendekati keadaan real saat $Q=1$ dan jauh dengan keadaan real saat $Q=1000$. Dari tabel N-ensemble 1000, $Q=1$ error estimasi akurasi mendapatkan hasil rata-rata error estimasi populasi rentan terinfeksi 1.4114, rata-rata error estimasi populasi laten 1.7815, rata-rata error estimasi populasi terinfeksi 1.5761 rata-rata error estimasi populasi sembuh 7.0423 dengan waktu komputasi 5.96570 detik. Hasil estimasi akurasinya tidak akurat krena error estimasi $>50\%$.
4. Saat $Q=1000$ model covid-19 mendapatkan hasil rata-rata error estimasi populasi rentan terinfeksi 28.3932, rata-rata error estimasi populasi laten 9.8578, rata-rata error estimasi populasi terinfeksi 1.1011 rata-rata error estimasi populasi sembuh

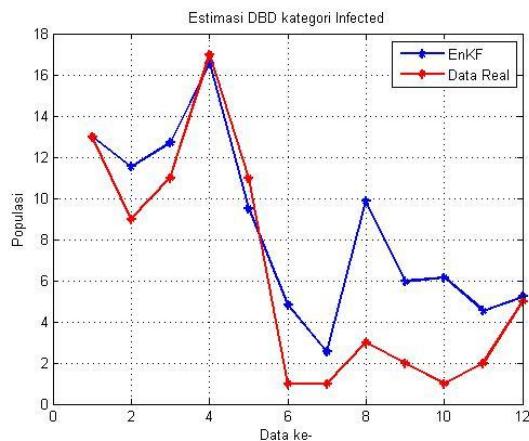
8.4856 dengan waktu komputasi 6.0844 detik. Hasil estimasi akurasinya tidak akurat karena error estimasi >50%.

5. Beberapa faktor pada model covid-19 hasil simulasi rata-rata error estimasinya bernilai besar sehingga akurasinya tidak akurat karena waktu kumulatif bulanan dengan uji coba selama 10 bulan, sementara data kasus covid-19 diketahui nilainya mencapai ratusan ribu maka demikianlah error estimasi menghasilkan nilai error yang besar, akan tetapi grafik hasil estimasi menggunakan *Ensemble Kalman Filter* mendekati keadaan realnya. berikut adalah gambar grafik hasil estimasi dan error pada kedua studi kasus sebagai berikut:

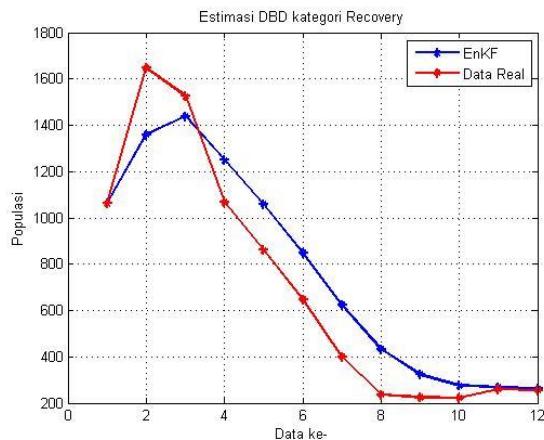
- a. Saat $P=Q=R=1$ pada penyebaran penyakit demam berdarah dengue (DBD)



Gambar 4.1 Grafik Estimasi Populasi Rentan Terinfeksi (S) saat $P=Q=R=1$



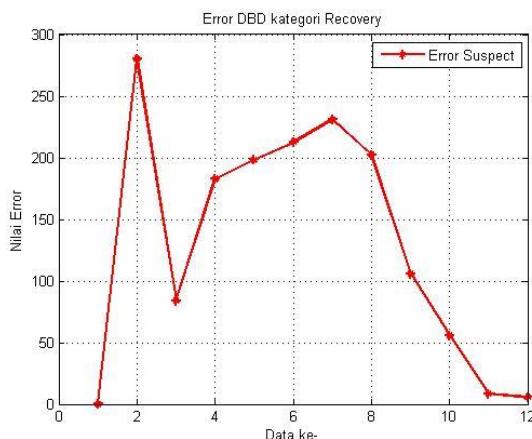
Gambar 4.2 Grafik Estimasi Populasi Terinfeksi (I)
saat $P=Q=R=1$



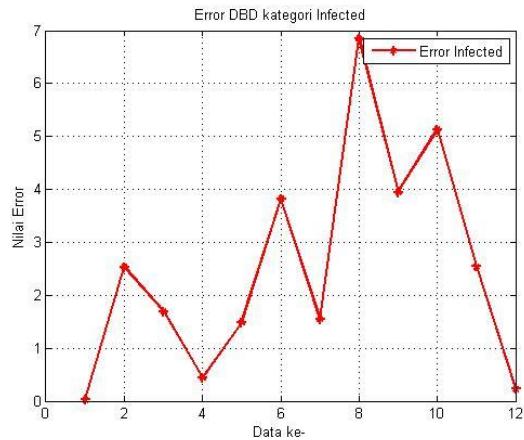
Gambar 4.3 Grafik Estimasi Populasi Sembuh (R)
saat $P=Q=R=1$

Pada gambar (4.1), (4.2) dan (4.3) merupakan gambar estimasi pada model demam berdarah dengue Saat $P=Q=R=1$ untuk pemilihan nilai parameter secara trial error, gambar (4.1) merupakan grafik estimasi populasi rentan terinfeksi, dari gambar menunjukkan kedua grafik tidak berdekatan, terlihat grafik hasil estimasi *Ensemble Kalman Filter* yang berbeda dengan data real hal itu menunjukkan bahwa hasil estimasinya kurang baik. Dan pada gambar (4.2) merupakan grafik estimasi populasi terinfeksi, terlihat pada gambar terjadi perbedaan jauh antara grafik hasil estimasi *Ensemble Kalman Filter* dengan data realnya, serta gambar (4.3) merupakan grafik estimasi populasi sembuh. Dari gambar (4.1), (4.2) dan (4.3) adalah hasil estimasi yang kurang baik, yang penulis ingin tunjukkan bahwa jika tebakan pada nilai P, Q dan R kurang tepat maka mempengaruhi hasil estimasinya.

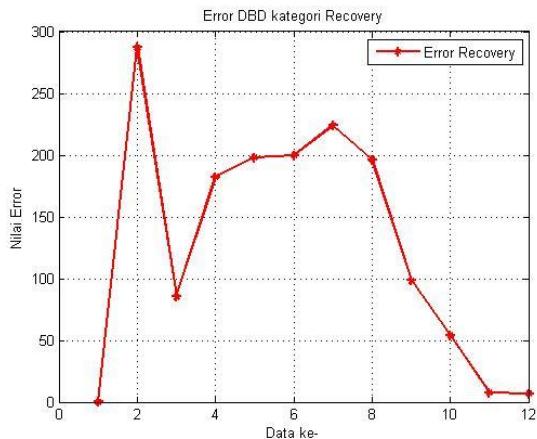
Berikut hasil estimasi dengan nilai rata-rata error estimasi pada populasi rentan terinfeksi sebesar 161.3690, populasi terinfeksi sebesar 3.2156 dan populasi sembuh sebesar 159.0558 dengan waktu komputasi adalah 4.87456 detik.



Gambar 4.4 Grafik Error Estimasi Populasi Rentan Terinfeksi (S) untuk $P=Q=R=1$ 481



Gambar 4.5 Grafik Error Estimasi Populasi Terinfeksi (I)
untuk $P=Q=R=1$

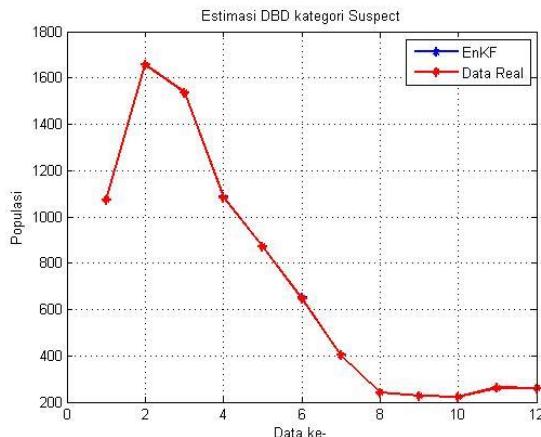


Gambar 4.6 Grafik Error Estimasi Populasi Sembuh (R)
untuk $P=Q=R=1$

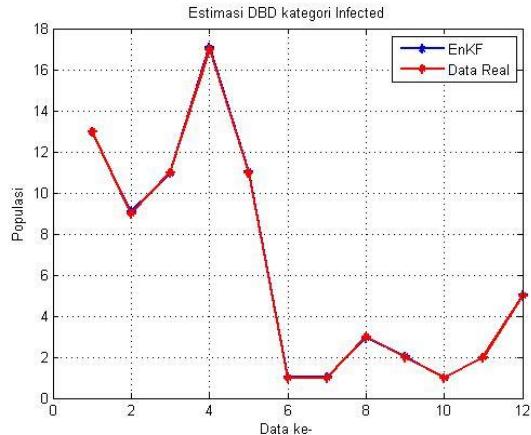
Pada gambar (4.4), (4.5) dan (4.6) merupakan gambar error pada model demam berdarah dengue Saat $P=Q=R=1$ untuk pemilihan nilai parameter secara trial error, gambar (4.4) merupakan grafik error estimasi populasi rentan terinfeksi, dari gambar menunjukkan grafik error tertinggi pada waktu ke-2 dan grafik error terendah menunjukkan pada waktu ke-12. Dan pada gambar (4.5) merupakan grafik error estimasi populasi terinfeksi, terlihat pada gambar grafik error estimasi posisi tertinggi pada waktu ke-3 dan grafik error terendah pada waktu ke-6, serta gambar (4.6) merupakan grafik error estimasi populasi sembuh dimana grafik error tertinggi pada waktu ke-6 dan terendah pada waktu ke-12.

Dari gambar (4.3), (4.4) dan (4.5) menunjukkan error estimasi Ensemble Kalman Filter saat $P=Q=R=1$ menghasilkan nilai yang tinggi dengan demikian akurasi estimasinya tidak akurat.

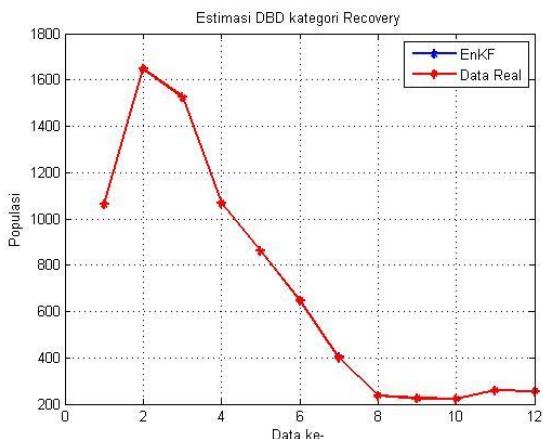
b. Saat $P=R=1$ dan $Q=1000$ pada penyebaran penyakit demam berdarah dengue (DBD)



Gambar 4.7 Grafik Estimasi Populasi Rentan Terinfeksi (S) untuk $P=R=1$ dan $Q=1000$



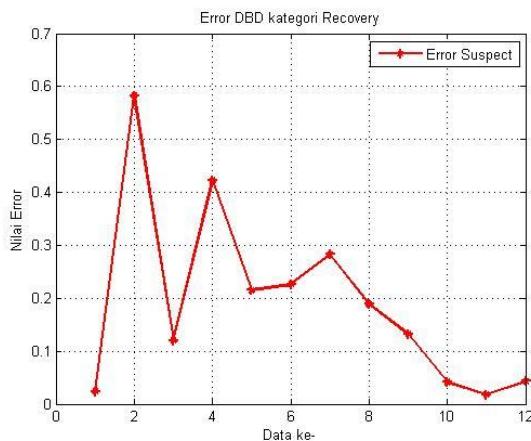
Gambar 4.8 Grafik Estimasi Populasi Terinfeksi (I)
untuk $P=R=1$ dan $Q=1000$



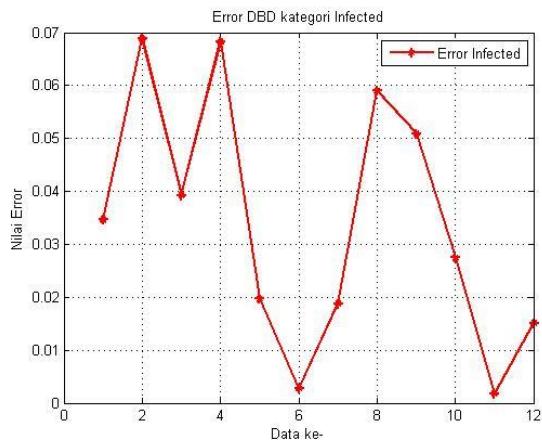
Gambar 4.9 Grafik Estimasi Populasi Sembuh (R)
untuk P=R=1 dan Q=1000

Pada gambar (4.7), (4.8) dan (4.9) merupakan gambar estimasi pada model demam berdarah dengue Saat $P=R=1$ dan $Q=1000$ untuk pemilihan nilai parameter secara trial error, gambar (4.7) merupakan grafik estimasi populasi rentan terinfeksi, dari gambar menunjukkan kedua grafik berdekatan, terlihat grafik hasil estimasi *Ensemble Kalman Filter* mendekati data real hal itu menunjukkan bahwa hasil estimasinya baik. Pada gambar (4.8) merupakan grafik estimasi populasi terinfeksi, terlihat pada gambar grafik yang berdempatan antara hasil estimasi *Ensemble Kalman Filter* dengan data realnya, serta gambar (4.9) merupakan grafik estimasi populasi sembuh. Dari gambar (4.7), (4.8) dan (4.9) menunjukkan hasil estimasi yang kurang baik.

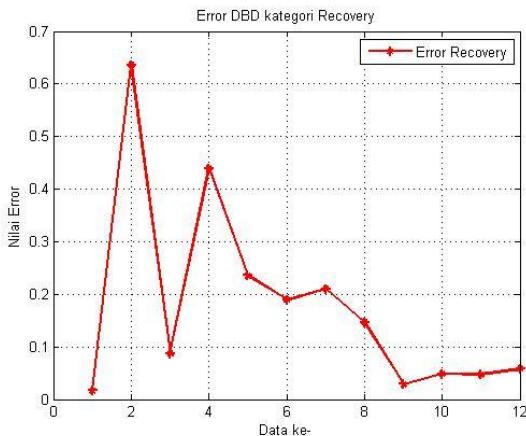
Berikut hasil estimasi dengan nilai rata-rata error pada populasi rentan terinfeksi sebesar 0.2530, populasi terinfeksi sebesar 0.0408 dan populasi sembuh sebesar 0.2536 dengan waktu komputasi adalah 4.887328 detik.



Gambar 4.10 Grafik Error Estimasi Populasi Rentan Terinfeksi (S) untuk $P=R=1$ dan $Q=1000$



Gambar 4.11 Grafik Error Estimasi Populasi Terinfeksi (I) untuk $P=R=1$ dan $Q=1000$

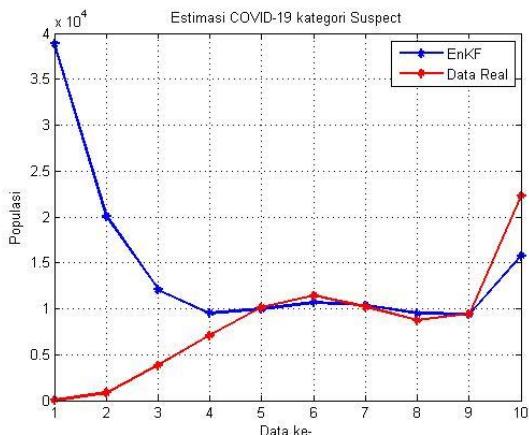


Gambar 4.12 Grafik Error Estimasi Populasi Sembuh (R) untuk $P=R=1$ dan $Q=1000$

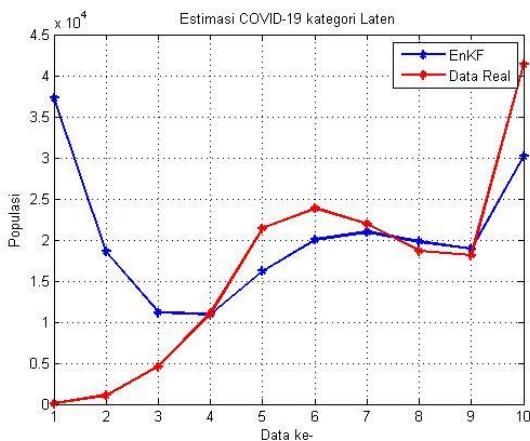
Pada gambar (4.10), (4.11) dan (4.12) merupakan gambar error pada model demam berdarah dengue Saat $P=R=1$ dan $Q=1000$ untuk pemilihan nilai parameter secara trial error, gambar (4.10) merupakan grafik error estimasi populasi rentan terinfeksi, dari gambar menunjukkan grafik error tertinggi pada waktu ke-5 dan grafik error terendah menunjukkan pada waktu ke-3. Dan pada gambar (4.11) merupakan grafik error estimasi populasi terinfeksi, terlihat gambar grafik error estimasi tertinggi pada waktu ke-4 dan grafik error terendah pada waktu ke-11, serta gambar (4.12) merupakan grafik error estimasi populasi sembuh dimana grafik error tertinggi pada waktu ke-4 dan terendah pada waktu ke-11.

Dari gambar (4.10), (4.11) dan (4.12) menunjukkan error estimasi *Ensemble Kalman Filter* saat $P=Q=R=1$ menghasilkan nilai yang tinggi dengan demikian akurasi estimasinya tidak akurat.

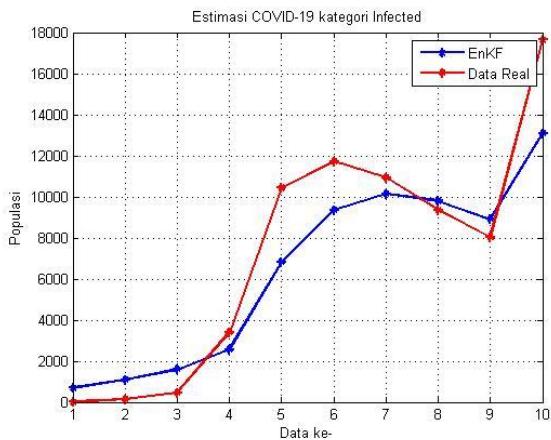
c. Saat $P=R=Q=1$ pada penyebaran penyakit koronavirus 2019 (COVID-19)



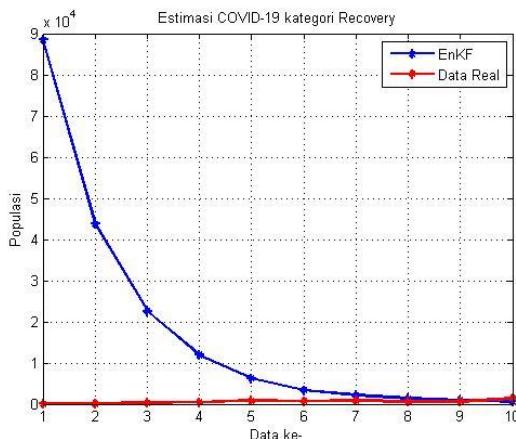
Gambar 4.13 Grafik Estimasi Populasi Terkonfirmasi (S)
untuk $P= R=Q=1$



Gambar 4.14 Grafik Estimasi Populasi Laten (E)
untuk $P= R=Q=1$



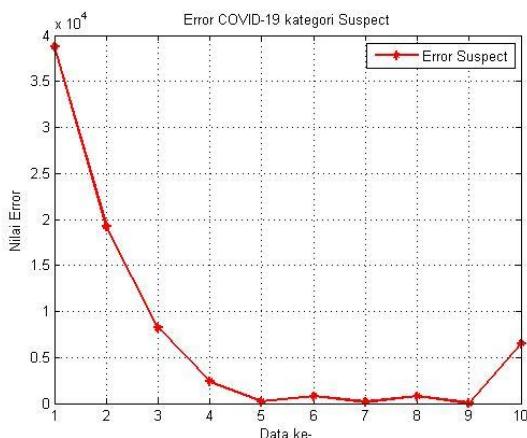
Gambar 4.15 Grafik Estimasi Populasi Positif (I)
untuk $P = R = Q = 1$



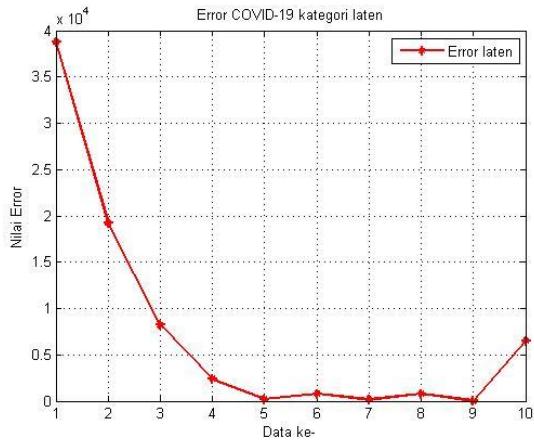
Gambar 4.16 Grafik Estimasi Populasi Sembuh (R)
untuk $P=R=Q=1$

Pada gambar (4.13), (4.14), (4.15) dan (4.16) merupakan gambar estimasi pada model Covid-19 Saat $P=R=Q=1$ untuk pemilihan nilai parameter dilakukan secara trial error, gambar (4.13) merupakan gambar grafik estimasi populasi rentan terinfeksi/terkonfirmasi, dari gambar menunjukkan kedua grafik tidak saling berdekatan akan tetapi arahnya sama, terlihat grafik hasil estimasi *Ensemble Kalman Filter* tidak berdekatan dengan data real hal itu menunjukkan bahwa hasil estimasinya kurang baik. Pada gambar (4.14) merupakan grafik estimasi populasi laten (reaktif), terlihat pada gambar grafik hasil estimasi menggunakan EnKF dengan data realnya tidak saling berdekatan, serta gambar (4.15) merupakan grafik estimasi populasi terinfeksi/positif sedangkan gambar (4.16) merupakan grafik hasil estimasi populasi sembuh. Dari gambar (4.13), (4.14), (4.15) dan (4.16) menunjukkan hasil estimasi Ensemble Kalman Filter yang kurang baik pada kasus Covid-19.

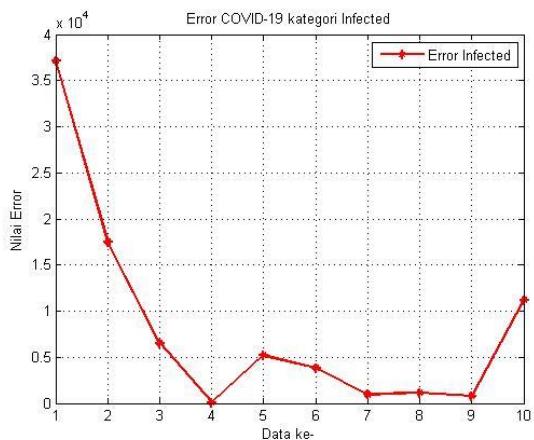
Berikut hasil estimasi dengan nilai rata-rata error estimasi pada populasi rentan terinfeksi/terkonfirmasi sebesar 1.6637, populasi laten (reaktif) sebesar 1.9809, populasi terinfeksi/positif sebesar 1.6604 dan populasi sembuh sebesar 7.1082 dengan waktu komputasi adalah 6.07261 detik. Untuk kasus Covid-19 data yang diketahui bernilai ratusan ribu jangka waktu yang singkat tidak dapat menghasilkan error yang kecil, dengan demikian uji coba yang penulis lakukan mencari ketepatan pemilihan nilai P,Q dan R akan tetapi untuk kasus Covid-19 hasil estimasi yang didapatkan mendekati keadaan realnya dan rata-rata error estimasi nya bernilai besar. Maka akurasi pada kasus Covid-19 dikatakan kurang akurat.



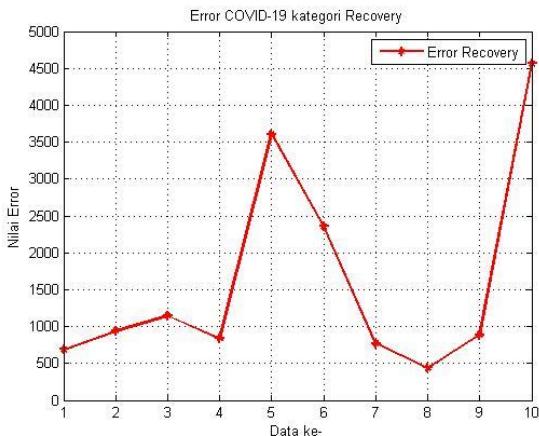
Gambar 4.17 Grafik Error Estimasi Populasi Terkonfirmasi (S) untuk $P=R=Q=1$



Gambar 4.18 Grafik Error Estimasi Populasi Laten (E)
untuk $P= R=Q=1$



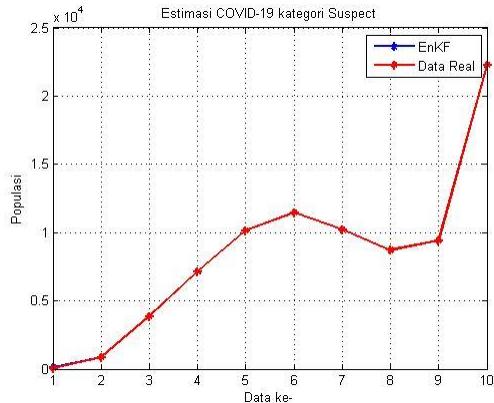
Gambar 4.19 Grafik Error Estimasi Populasi Positif (I)
untuk $P= R=Q=1$



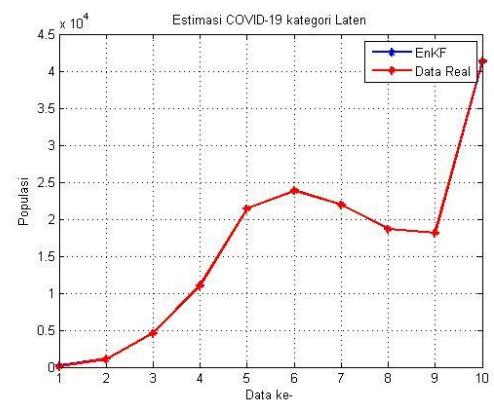
Gambar 4.20 Grafik Error Estimasi Populasi Sembuh(R)
untuk $P=R=Q=1$

Pada gambar (4.17), (4.18), (4.19) dan (4.20) merupakan gambar error pada model Covid-19 Saat $P=R=Q=1$ untuk pemilihan nilai parameter secara trial error, gambar (4.17) merupakan grafik error estimasi populasi rentan terinfeksi/terkonfirmasi, dari gambar menunjukkan grafik error tertinggi pada waktu pertama dan grafik error terendah menunjukkan pada waktu ke-9. Dan pada gambar (4.18) merupakan grafik error estimasi populasi laten (reaktif), terlihat gambar grafik error estimasi sama dengan gambar (4.17), serta gambar (4.19) merupakan grafik error estimasi populasi terinfeksi/positif dimana grafik error tertinggi pada waktu awal dan akhir simulasi sedangkan terendah pada waktu ke-2 menuju waktu ke-3 dan pada grafik waktu ke-8 menuju ke-9. Dari gambar (4.17), (4.18), (4.19) dan (4.20) menunjukkan error estimasi Ensemble Kalman Filter nilainya besar.

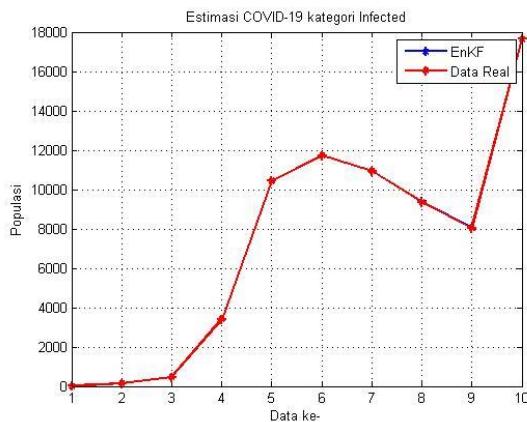
d. Saat $P=R=1$ dan $Q=1000$ pada penyebaran koronavirus 2019 (COVID-19)



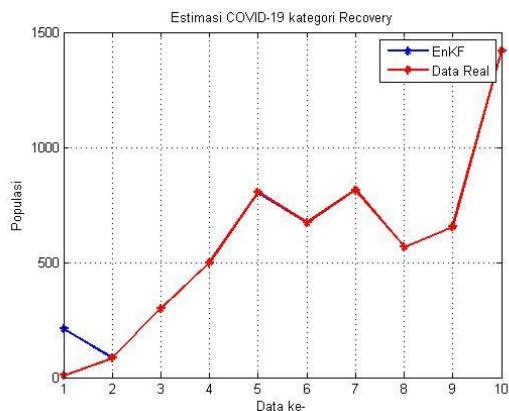
Gambar 4.21 Grafik Estimasi Populasi Terkonfirmasi (S) untuk $P= R=1$ dan $Q=1000$



Gambar 4.22 Grafik Estimasi Populasi Laten (E) untuk $P= R=1$ dan $Q=1000$



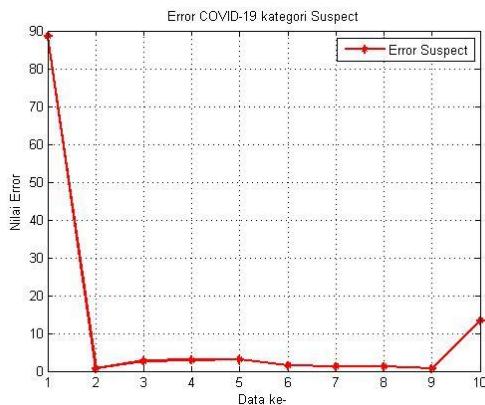
Gambar 4.23 Grafik Estimasi Populasi Positif (I)
untuk $P = R=1$ dan $Q=1000$



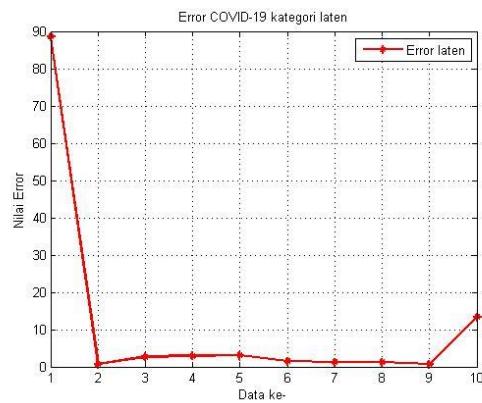
Gambar 4.24 Grafik Estimasi Populasi Sembuh (R)
untuk $P = R=1$ dan $Q=1000$

Pada gambar (4.21), (4.22), (4.23) dan (4.24) merupakan gambar estimasi pada model Covid-19 Saat $P=R=Q=1$ untuk pemilihan nilai parameter dilakukan secara trial error, gambar (4.21) merupakan gambar grafik estimasi populasi rentan terinfeksi/terkonfirmasi, dari gambar menunjukkan kedua grafik tidak saling berdekatan akan tetapi arahnya sama, terlihat grafik hasil estimasi *Ensemble Kalman Filter* tidak berdekatan dengan data real hal itu menunjukkan bahwa hasil estimasinya kurang baik. Pada gambar (4.22) merupakan grafik estimasi populasi laten (reaktif), terlihat pada gambar grafik hasil estimasi menggunakan EnKF dengan data realnya tidak saling berdekatan, serta gambar (4.23) merupakan grafik estimasi populasi terinfeksi/positif sedangkan gambar (4.24) merupakan grafik hasil estimasi populasi sembuh. Dari gambar (4.21), (4.22), (4.23) dan (4.24) menunjukkan hasil estimasi Ensemble Kalman Filter yang kurang baik pada kasus Covid-19.

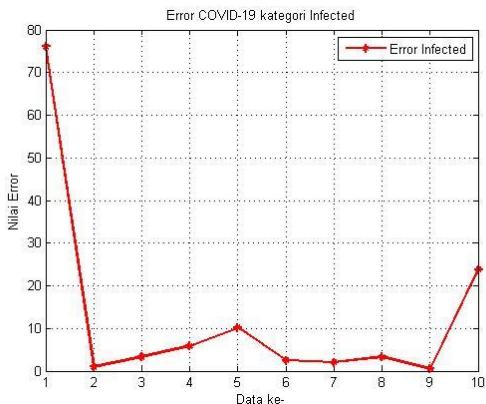
Berikut hasil estimasi dengan nilai rata-rata error pada populasi rentan terinfeksi/terkonfirmasi sebesar 28.3932, populasi laten (reaktif) sebesar 9.8578, populasi terinfeksi/positif sebesar 1.1011 dan populasi sembuh sebesar 8.4856 dengan waktu komputasi adalah 6.0844 detik. Untuk kasus Covid-19 data yang diketahui bernilai ratusan ribu jangka waktu yang singkat tidak dapat menghasilkan error yang kecil, dengan demikian uji coba yang penulis lakukan mencari ketepatan pemilihan nilai P, Q dan R akan tetapi untuk kasus Covid-19 hasil estimasi yang didapatkan mendekati keadaan realnya dan rata-rata error estimasi nya bernilai besar. Maka akurasi pada kasus Covid-19 dikatakan kurang akurat.



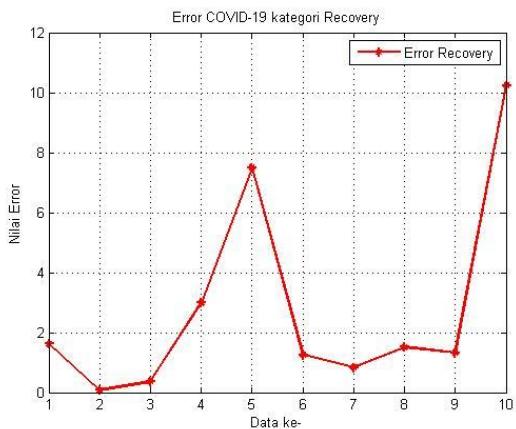
Gambar 4.25 Grafik Error Estimasi Populasi Terkonfirmasi (S) untuk $P= R=1$ dan $Q=1000$



Gambar 4.26 Grafik Error Estimasi Populasi Laten (E) untuk $P= R=1$ dan $Q=1000$



Gambar 4.27 Grafik Error Estimasi Populasi Positif (I)
untuk $P=R=1$ dan $Q=1000$



Gambar 4.28 Grafik Error Estimasi Populasi Sembuh(R)
untuk $P=R=1$ dan $Q=1000$

Pada gambar (4.25), (4.26), (4.27) dan (4.28) merupakan gambar error pada model Covid-19 Saat $P=R=Q=1$ untuk

pemilihan nilai parameter secara trial error, gambar (4.17) merupakan grafik error estimasi populasi rentan terinfeksi/terkonfirmasi, dari gambar menunjukkan grafik error tertinggi pada waktu pertama dan grafik error terendah menunjukkan pada waktu ke-9. Dan pada gambar (4.18) merupakan grafik error estimasi populasi laten (reaktif), terlihat gambar grafik error estimasi sama dengan gambar (4.17), dari gambar (4.17), (4.18), (4.19) dan (4.20) menunjukkan error estimasi Ensemble Kalman Filter nilainya besar.

4.2.2 Analisis Hasil Simulasi Estimasi pada Penyebaran Demam Berdarah Dengue dan Covid-19 saat P=R= 0.01

Tabel 4. 6 Tabel Error Estimasi Ensemble Kalman Filter (EnKF)

P=0.01, R=0.01; N=10	State	Q=1	Q=10	Q=100	Q=1000
DBD	Sh	4.7473	0.2247	0.0600	0.0374
	Ih	3.9006	0.1266	0.0677	0.0353
	Rh	4.0172	0.3045	0.0706	0.0312
	t	4.04937 s	4.13350 s	4.11188 s	4.20885 s
COVID-19	Sh	342.3743	39.0624	18.7211	0.4112
	Eh	9.8793	9.8655	9.8568	9.8550
	Ih	1.0849	1.1011	1.1016	1.1017
	Rh	8.4261	8.4796	8.4887	8.4883
	t	5.12671 s	5.17357 s	5.37167 s	5.22818 s

P=0.01, R=0.01; N=100	State	Q=1	Q=10	Q=100	Q=1000
DBD	Sh	2.3972	0.2902	0.0238	0.0129
	Ih	0.2186	0.0443	0.0078	0.0121

	Rh	2.5566	0.3033	0.0365	0.0125
	t	4.53762 s	4.32098 s	4.08792 s	4.23189 s
COVID-19	Sh	194.1473	43.0823	2.0173	0.2483
	Eh	9.8921	9.8599	9.8549	9.8548
	Ih	1.0954	1.1008	1.1017	1.1017
	Rh	8.4564	8.4850	8.4881	8.4883
	t	5.40163 s	5.31334 s	5.32528 s	5.27775 s

P=0.01, R=0.01; N=1000	State	Q=1	Q=10	Q=100	Q=1000
DBD	Sh	2.6339	0.2380	0.0272	0.0050
	Ih	0.1010	0.0102	0.0034	0.0034
	Rh	2.5269	0.2423	0.0245	0.0042
	t	4.71008 s	4.62710 s	4.58221 s	5.04152 s
COVID-19	Sh	228.7531	27.1311	2.9059	0.2721
	Eh	9.8872	9.8577	9.8550	9.8547
	Ih	1.0956	1.1011	1.1017	1.1017
	Rh	8.4644	8.4857	8.4881	8.4883
	t	5.9786 s	6.18468 s	5.91887 s	6.0025 s

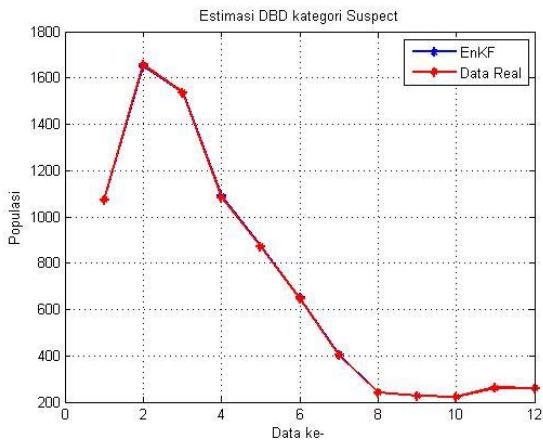
Berikut analisa hasil pemilihan nilai P,Q dan R:

1. Hasil estimasi rata-rata error pada model demam berdarah dengue untuk $P=R=0.01$, Q disekitar Q=1, Q=10, Q=100 dan Q=1000 mendapatkan hasil estimasi yang mendekati keadaan real saat Q=1000 dan jauh dengan keadaan real saat Q=1. Dari tabel N-ensemble 1000, Q=1000 error rata-rata estimasi akurasi mendapatkan hasil populasi rentan terinfeksi 0.0050, error populasi terinfeksi 0.0034, error populasi sembuh 0.0042 dengan waktu komputasi 5.04152 detik. Maka hasil estimasi akurasinya sangat tinggi.

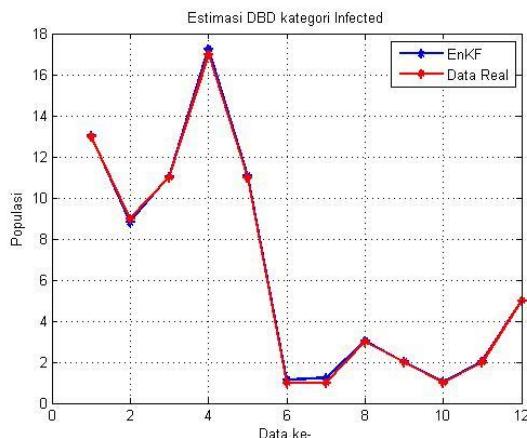
2. Saat $Q=1$ model demam berdarah dengue mendapatkan hasil populasi rentan terinfeksi 2.6339, error populasi terinfeksi 0.1010, error populasi sembuh 2.5269 dengan waktu komputasi 4.71008 detik. Maka hasil estimasi akurasinya tidak akurat.
3. Hasil estimasi rata-rata error pada model covid-19 untuk $P=R=1$, Q disekitar $Q=1$, $Q=10$, $Q=100$ dan $Q=1000$ mendapatkan hasil estimasi yang mendekati keadaan real saat $Q=1$ dan jauh dengan keadaan real saat $Q=1000$. Dari tabel N-ensemble 1000, $Q=1$ error rata-rata estimasi akurasi mendapatkan hasil rata-rata error populasi rentan terinfeksi/terkonfirmasi 228.7531, rata-rata error populasi laten/reaktif 9.8872, rata-rata error populasi terinfeksi/positif 1.0956, rata-rata error populasi sembuh 8.4644 dengan waktu komputasi 5.9786 detik. Maka hasil estimasi akurasinya tidak akurat krena error estimasi $>50\%$.
4. Saat $Q=1000$ model covid-19 mendapatkan hasil rata-rata esrror estimasi populasi rentan terinfeksi/terkonfirmasi sebesar 0.2484, rata-rata error estimasi populasi laten/reaktif 9.8547, rata-rata error estimasi populasi terinfeksi/positif 1.1017, rata-rata error estimasi populasi sembuh 8.4883 dengan waktu komputasi 6.03739 detik. Maka hasil estimasi akurasinya tidak akurat.
5. Beberapa faktor pada model covid-19 sehingga hasil simulasi rata-rata error estimasinya bernilai besar sehingga akurasinya tidak akurat karena waktu kumulatif bulanan dengan uji coba selama 10 bulan, sementara data kasus covid-19 diketahui nilainya mencapai ratusan ribu maka error estimasi didapatkan nilai error yang besar, akan tetapi grafik hasil estimasi menggunakan Ensemble Kalman Filter mendekati keadaan

realnya. berikut adalah gambar grafik hasil estimasi dan error pada kedua studi kasus sebagai berikut:

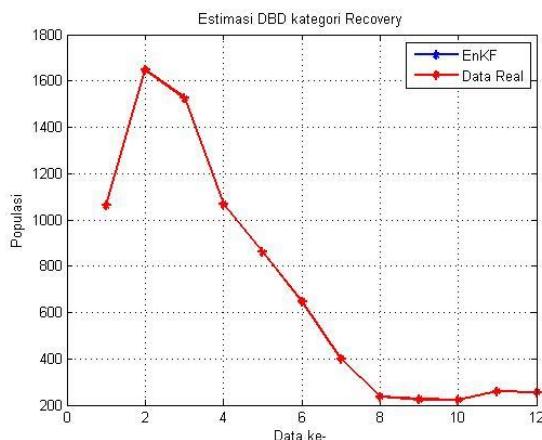
- a. Saat $P=R=0.01$ dan $Q=1$ pada penyebaran penyakit demam berdarah dengue (DBD)



Gambar 4.29 Grafik Estimasi Populasi Rentan Terinfeksi (S) untuk $P=R=0.01$



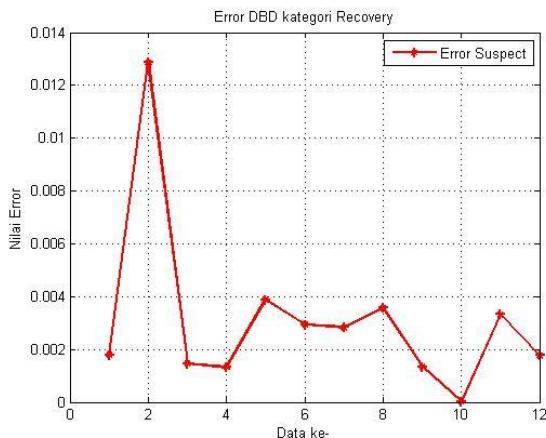
Gambar 4.30 Grafik Estimasi Populasi Terinfeksi (I)
untuk $P=R=0.01$



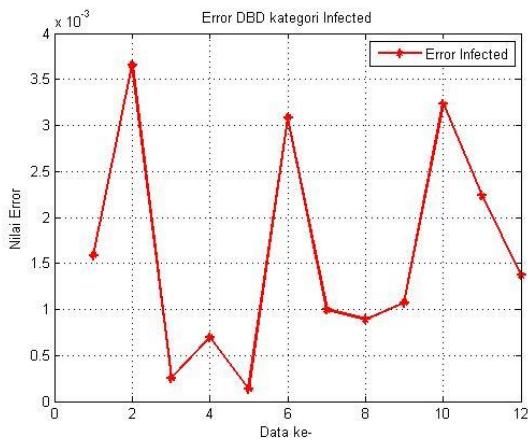
Gambar 4.31 Grafik Estimasi Populasi Sembuh (R)
untuk $P=R=0.01$

Pada gambar (4.29), (4.30) dan (4.31) merupakan gambar estimasi pada model demam berdarah dengue Saat $P=R=0.01$ untuk pemilihan nilai parameter secara trial error, gambar (4.29) merupakan grafik estimasi populasi rentan terinfeksi, dari gambar menunjukkan kedua grafik berdekatan, terlihat grafik hasil estimasi menggunakan EnKF sama /mendekati dengan data real hal itu menunjukkan bahwa hasil estimasinya baik. Dan pada gambar (4.30) merupakan grafik estimasi populasi terinfeksi, terlihat pada gambar arah dan posisinya sama antara grafik hasil estimasi menggunakan EnKF dengan data realnya, serta gambar (4.31) merupakan grafik estimasi populasi sembuh. Dari gambar (4.29), (4.30) dan (4.31) menunjukkan hasil estimasi yang baik.

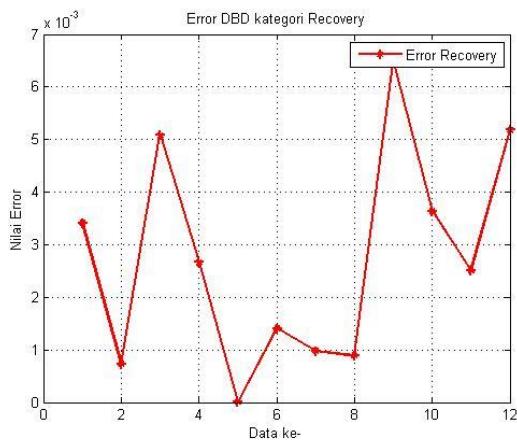
Berikut hasil estimasi dengan nilai nilai rata-rata error pada populasi rentan terinfeksi sebesar 2.6339, populasi terinfeksi sebesar 0.1010 dan populasi sembuh sebesar 2.5269 dengan waktu komputasi adalah 4.71008 detik.



Gambar 4.32 Grafik Error Estimasi Populasi Rentan Terinfeksi (S) untuk $P=R=0.01$



Gambar 4.33 Grafik Error Estimasi Populasi Terinfeksi (I)
untuk $P=R=0.01$

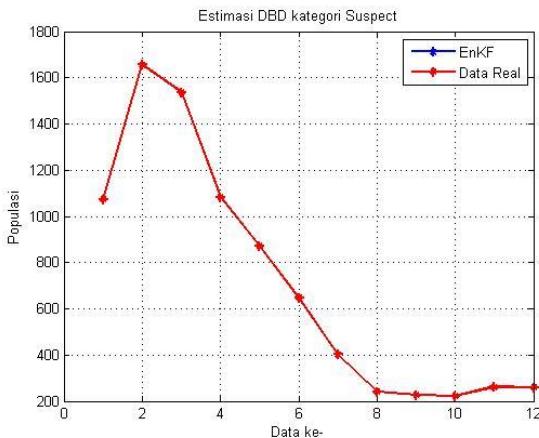


Gambar 4.34 Grafik Error Estimasi Populasi Sembuh (R)
untuk $P=R=0.01$

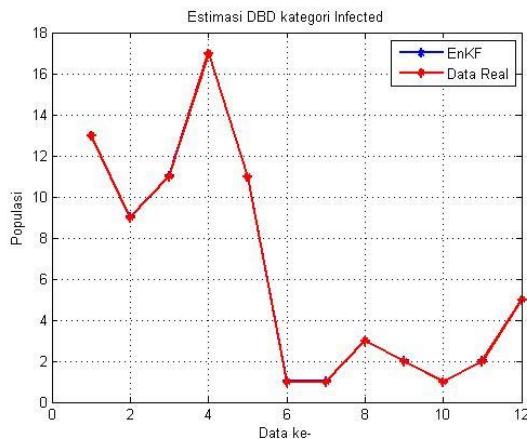
Pada gambar (4.32), (4.33) dan (4.34) merupakan gambar error pada model demam berdarah dengue Saat $P=R=0.01$ dan $Q=1000$ untuk pemilihan nilai parameter secara trial error, gambar (4.32) merupakan grafik error estimasi populasi rentan terinfeksi, dari gambar menunjukkan grafik error tertinggi pada waktu ke-2 dan grafik error terendah menunjukkan pada waktu ke-10. Dan pada gambar (4.33) merupakan grafik error estimasi populasi terinfeksi, terlihat gambar grafik error estimasi tertinggi pada waktu ke-8 dan grafik error terendah pada waktu ke-5, serta gambar (4.34) merupakan grafik error estimasi populasi sembuh dimana grafik error tertinggi pada waktu ke-2 dan terendah pada waktu ke-10.

Dari gambar (4.32), (4.33) dan (4.34) menunjukkan error estimasi Ensemble Kalman Filter nilainya kecil.

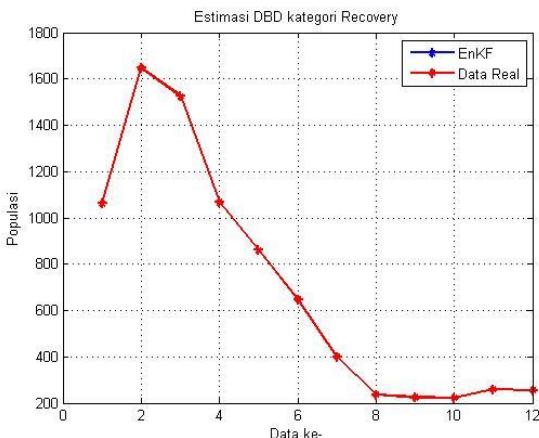
- b. Saat $Q=1000$ pada penyebaran penyakit demam berdarah dengue (DBD)



Gambar 4.35 Grafik Estimasi Populasi Rentan Terinfeksi (S) untuk $P=R=0.01$



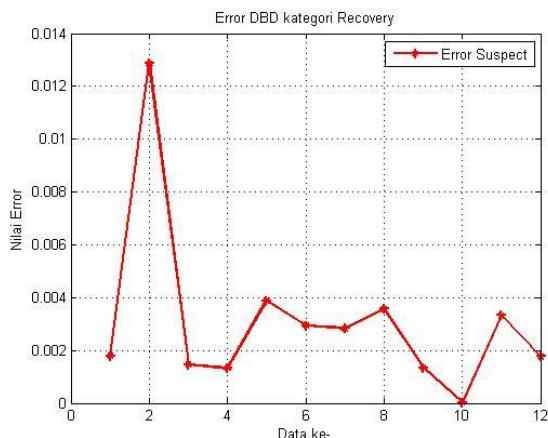
Gambar 4.36 Grafik Estimasi Populasi Terinfeksi (I) untuk $P=R=0.01$



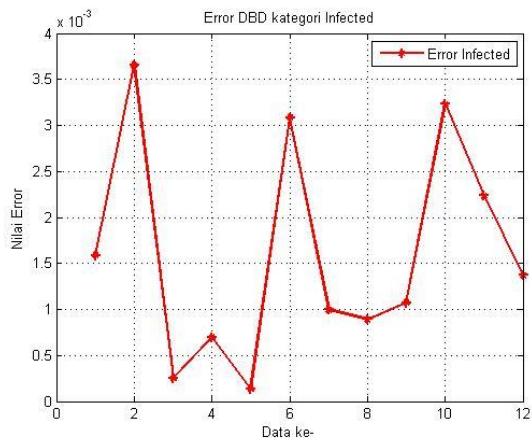
Gambar 4.37 Grafik Estimasi Populasi Sembuh (R)
untuk $P=R=0.01$

Pada gambar (4.29), (4.30) dan (4.31) merupakan gambar estimasi pada model demam berdarah dengue Saat $P=R=0.01$ untuk pemilihan nilai parameter secara trial error, gambar (4.29) merupakan grafik estimasi populasi rentan terinfeksi, dari gambar menunjukkan kedua grafik berdekatan, terlihat grafik hasil estimasi menggunakan EnKF yang berbeda dengan data real hal itu menunjukkan bahwa hasil estimasinya sangat baik. Dan pada gambar (4.30) merupakan grafik estimasi populasi terinfeksi, terlihat pada gambar berdekatan antara grafik hasil estimasi menggunakan EnKF dengan data realnya, serta gambar (4.31) merupakan grafik estimasi populasi sembuh. Dari gambar (4.29), (4.30) dan (4.31) menunjukkan hasil estimasi yang kurang baik.

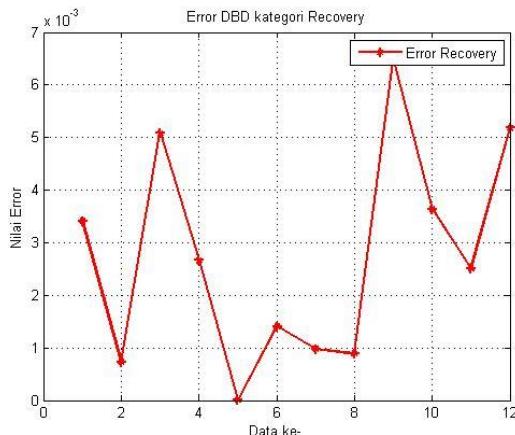
Berikut hasil estimasi dengan nilai rata-rata error pada populasi rentan terinfeksi sebesar 0.0044, populasi terinfeksi sebesar 0.0020 dan populasi sembuh sebesar 0.0034 dengan waktu komputasi adalah 4.89869 detik.



Gambar 4.38 Grafik Error Estimasi Populasi Rentan Terinfeksi (S) untuk $P=R=0.01$



Gambar 4.39 Grafik Error Estimasi Populasi Terinfeksi (I) untuk $P=R=0.01$

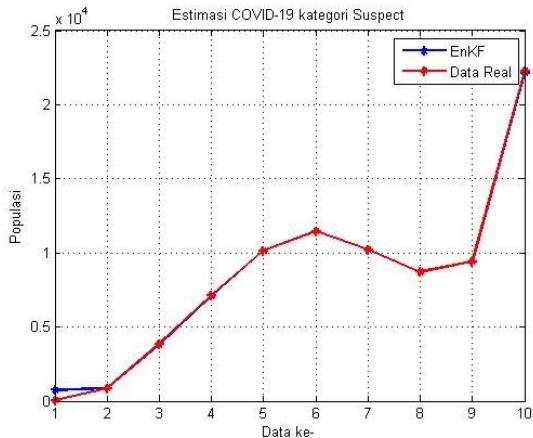


Gambar 4.40 Grafik Error Estimasi Populasi Sembuh (R)
untuk $P=R=0.01$

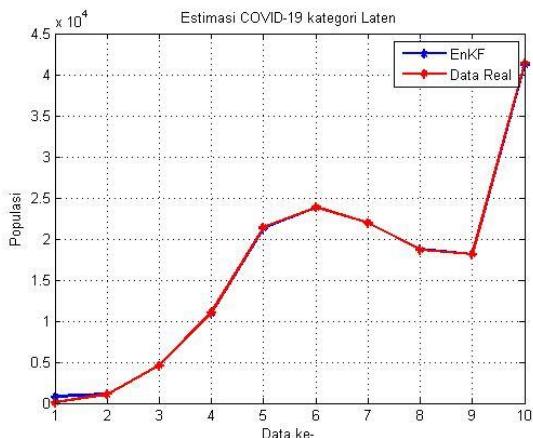
Pada gambar (4.38), (4.39) dan (4.40) merupakan gambar error pada model demam berdarah dengue Saat $P=R=0.01$ dan $Q=1000$ untuk pemilihan nilai parameter secara trial error, gambar (4.38) merupakan grafik error estimasi populasi rentan terinfeksi, dari gambar menunjukkan grafik error tertinggi pada waktu ke-7 dan grafik error terendah menunjukkan pada waktu ke-5 dan waktu ke-9. Dan pada gambar (4.39) merupakan grafik error estimasi populasi terinfeksi, terlihat gambar grafik error estimasi tertinggi pada waktu ke-8 dan grafik error terendah pada waktu ke-10, serta gambar (4.40) merupakan grafik error estimasi populasi sembah dimana grafik error tertinggi pada waktu ke-5 dan terendah pada waktu ke-10 dan waktu ke-12.

Dari gambar (4.38), (4.39) dan (4.40) menunjukkan error estimasi Ensemble Kalman Filter nilainya kecil.

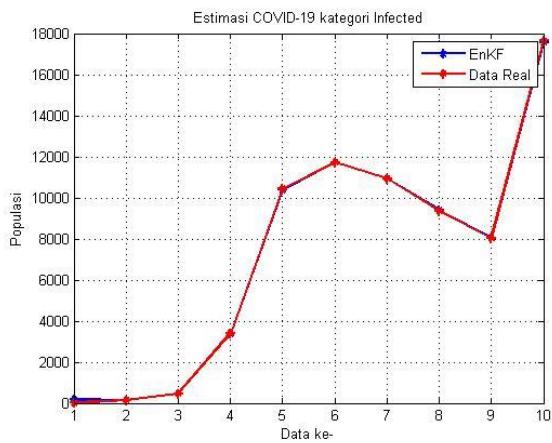
c. Saat $P=R=0.01$ dan $Q=1$ pada penyebaran penyakit koronavirus 2019 (COVID-19)



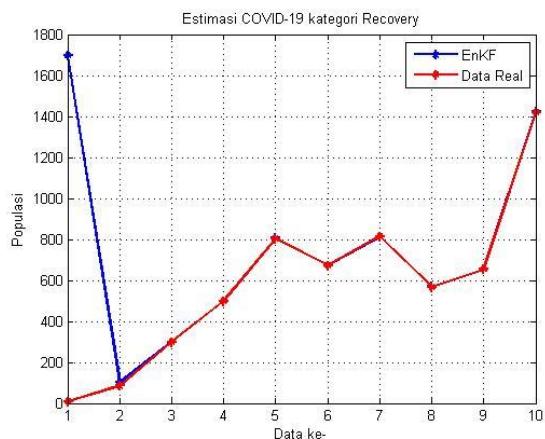
Gambar 4.41 Grafik Estimasi Populasi Terkonfirmasi (S)
untuk $P=R=0.01$



Gambar 4.42 Grafik Estimasi Populasi Laten (E)
untuk $P=R=0.01$



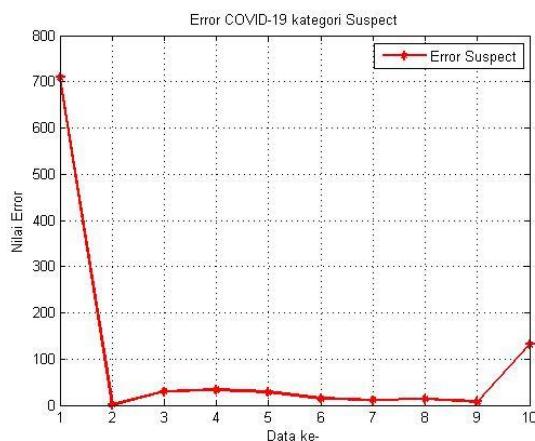
Gambar 4.43 Grafik Estimasi Populasi Positif (I)
untuk $P=R=0.01$



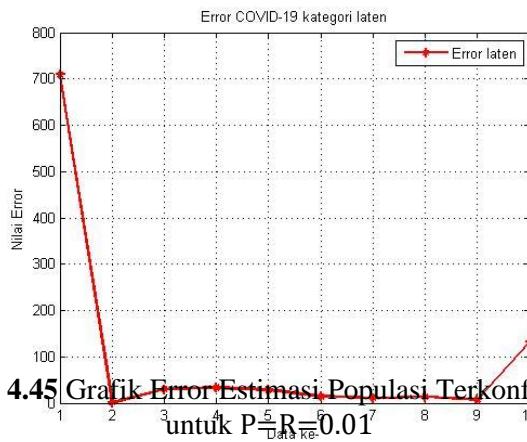
Gambar 4.44 Grafik Estimasi Populasi Sembuh (R)
untuk $P=R=0.01$

Pada gambar (4.41), (4.42), (4.43) dan (4.44) merupakan gambar estimasi pada model Covid-19 Saat $P=R=0.01$ untuk pemilihan nilai parameter dilakukan secara trial error, gambar (4.41) merupakan gambar grafik estimasi populasi rentan terinfeksi/terkonfirmasi, dari gambar menunjukkan kedua grafik saling berdekatan, terlihat grafik hasil estimasi menggunakan EnKF berdekatan dengan data real hal itu menunjukkan bahwa hasil estimasinya baik. Pada gambar (4.42) merupakan grafik estimasi populasi laten (reaktif), terlihat pada gambar grafik hasil estimasi menggunakan EnKF dengan data realnya saling berdekatan, serta gambar (4.43) merupakan grafik estimasi populasi terinfeksi/positif sedangkan gambar (4.44) merupakan grafik hasil estimasi populasi sembuh. Pada gambar menunjukkan hasil estimasi Ensemble Kalman Filter yang kurang baik pada kasus Covid-19.

Berikut hasil estimasi dengan nilai rata-rata error estimasi pada populasi rentan terinfeksi/terkonfirmasi sebesar 228.7531, populasi laten (reaktif) sebesar 9.8872, populasi terinfeksi/positif

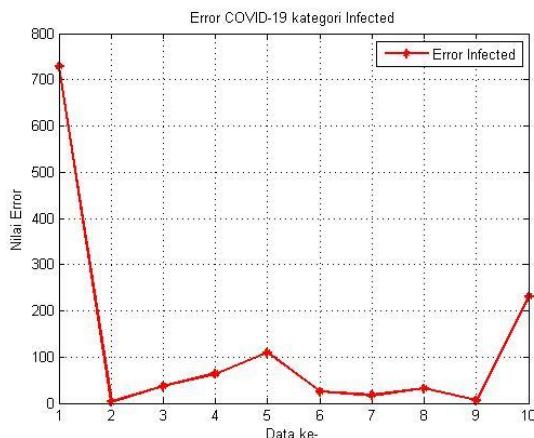


sebesar 1.0956 dan populasi sembuh sebesar 8.4644 dengan waktu komputasi adalah 5.9786 detik.

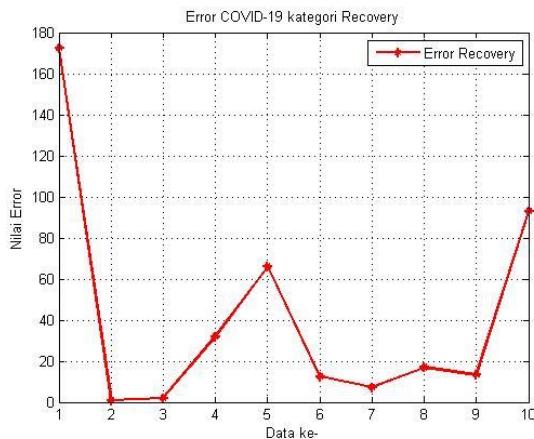


Gambar 4.45 Grafik Error Estimasi Populasi Terkonfirmasi (S)
untuk $P=R=0.01$

Gambar 4.46 Grafik Error Estimasi Populasi Laten (E)
untuk $P=R=0.01$



Gambar 4.47 Grafik Error Estimasi Populasi Positif (I)
untuk $P=R=0.01$

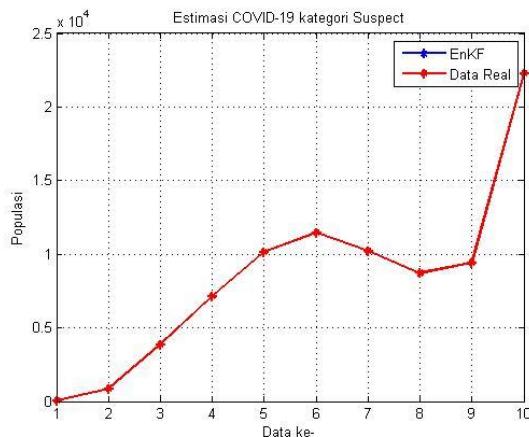


Gambar 4.48 Grafik Error Estimasi Populasi Sembuh(R)
untuk $P=R=0.01$

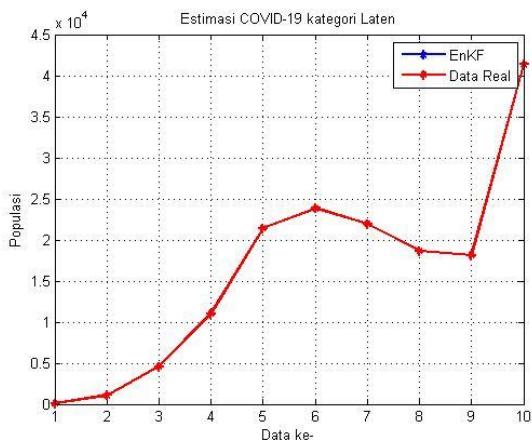
Pada gambar (4.45), (4.46), (4.47) dan (4.48) merupakan gambar error pada model Covid-19 Saat $P=R=0.01$ untuk pemilihan nilai parameter secara trial error, gambar (4.45) merupakan grafik error estimasi populasi rentan terinfeksi/terkonfirmasi, dari gambar menunjukkan grafik error stabil pada waktu ke-2 sampai waktu ke-9 dan grafik naik ketika waktu ke-9 menuju waktu ke-10. Dan pada gambar (4.46) merupakan grafik error estimasi populasi laten (reaktif), terlihat gambar grafik error estimasi sama dengan gambar (4.45), serta gambar (4.47) merupakan grafik error estimasi populasi terinfeksi/positif dimana grafik error tertinggi pada waktu ke-5 sedangkan terendah pada waktu ke-9.

Dari gambar (4.45), (4.46), (4.47) dan (4.48) menunjukkan error estimasi Ensemble Kalman Filter nilainya besar.

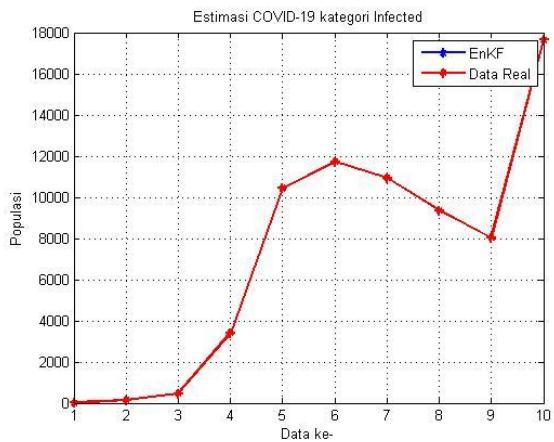
d. Saat $P=R=0.01$ dan $Q=1000$ pada penyebaran penyakit koronavirus 2019 (COVID-19)



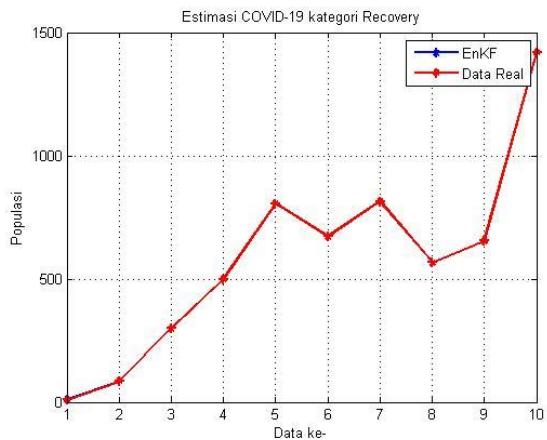
Gambar 4.49 Grafik Estimasi Populasi Terkonfirmasi (S) untuk $P=R=0.01$



Gambar 4.50 Grafik Estimasi Populasi Laten (E) untuk $P=R=0.01$



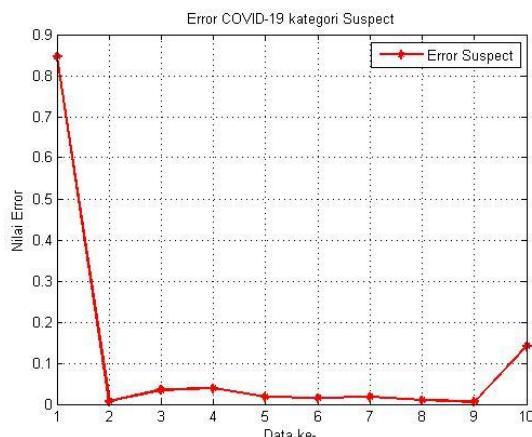
Gambar 4.51 Grafik Estimasi Populasi Positif (I)
untuk $P=R=0.01$



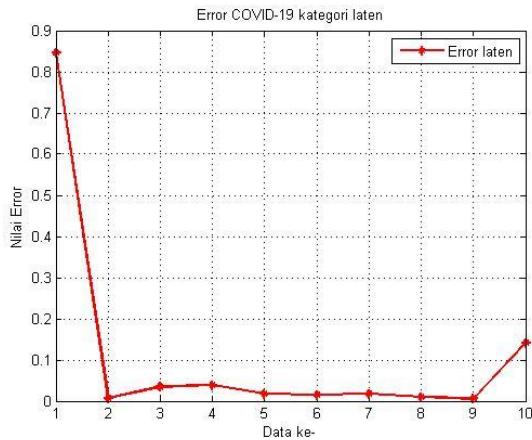
Gambar 4.52 Grafik Estimasi Populasi Sembuh (R)
untuk $P=R=0.01$

Pada gambar (4.49), (4.50), (4.51) dan (4.52) merupakan gambar estimasi pada model Covid-19 Saat $P=R=0.01$ untuk pemilihan nilai parameter dilakukan secara trial error, gambar (4.49) merupakan gambar grafik estimasi populasi rentan terinfeksi/terkonfirmasi, dari gambar menunjukkan kedua grafik saling berdekatan, terlihat grafik hasil estimasi menggunakan EnKF berdekatan dengan data real hal itu menunjukkan bahwa hasil estimasinya baik. Pada gambar (4.50) merupakan grafik estimasi populasi laten (reaktif), terlihat pada gambar grafik hasil estimasi menggunakan EnKF dengan data realnya saling berdekatan, serta gambar (4.51) merupakan grafik estimasi populasi terinfeksi/positif sedangkan gambar (4.52) merupakan grafik hasil estimasi populasi sembuh. Maka hasil estimasi Ensemble Kalman Filter yang kurang baik pada kasus Covid-19.

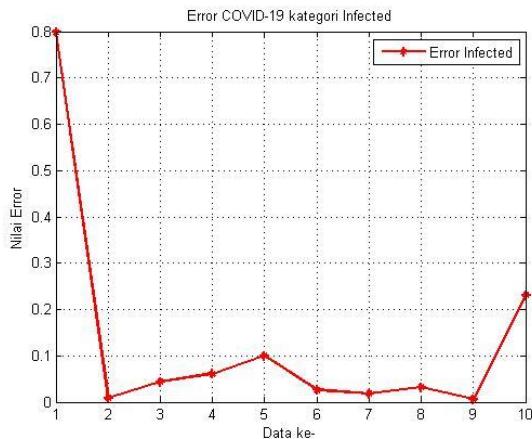
Berikut hasil estimasi dengan nilai rata-rata error estimasi pada populasi rentan terinfeksi/terkonfirmasi sebesar 0.2721, populasi laten (reaktif) sebesar 9.8547, populasi terinfeksi/positif sebesar 1.1017 dan populasi sembuh sebesar 8.4883 dengan waktu komputasi adalah 6.0025 detik.



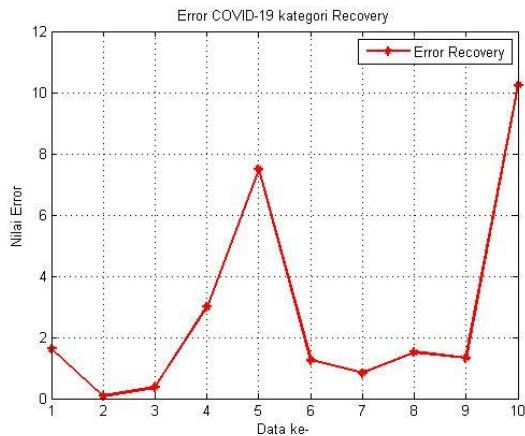
Gambar 4.53 Grafik Error Estimasi Populasi Terkonfirmasi (S) untuk $P=R=0.01$



Gambar 4.54 Grafik Error Estimasi Populasi Laten (E) untuk $P=R=0.01$



Gambar 4.55 Grafik Error Estimasi Populasi Positif (I) untuk $P=R=0.01$



Gambar 4.56 Grafik Error Estimasi Populasi Sembuh(R) untuk $P=R=0.01$

Pada gambar (4.53), (4.54), (4.55) dan (4.56) merupakan gambar error pada model Covid-19 Saat $P=R=0.01$ untuk pemilihan nilai parameter secara trial error, gambar (4.53) merupakan grafik error estimasi populasi rentan terinfeksi/terkonfirmasi, dari gambar menunjukkan grafik error tertinggi pada waktu pertama dan grafik error terendah menunjukkan pada waktu ke-9. Dan pada gambar (4.54) merupakan grafik error estimasi populasi laten (reaktif), terlihat gambar grafik error estimasi sama dengan gambar (4.53).

Dari gambar (4.53), (4.54), (4.55) dan (4.56) menunjukkan error estimasi Ensemble Kalman Filter nilainya besar.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada bab ini, diberikan kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dijabarkan pada bab sebelumnya. Selain itu, diberikan pula saran atau rekomendasi:

1. Pemilihan nilai P , R , dan Q secara trial error untuk Q disekitar $Q=1$, $Q=10$, $Q=100$, $Q=1000$, didapatkan simulasi saat $P=R=1$, $Q=1000$ estimasi akurasinya baik sedangkan saat $Q=1$ estimasi akurasinya kurang baik. Hasil estimasi akurasi saat $P=R=0.01$, $Q=1000$ estimasi akurasinya sangat baik sedangkan saat $Q=1$ hasil estimasinya kurang baik.
2. Hasil simulasi estimasi akurasi pada penyebaran model SIR demam berdarah dengue diperoleh rata-rata error terkecil setelah beberapa kali dilakukan simulasi pada parameter P,Q,R dan mendapatkan hasil akurasi yang tinggi saat $P=R=0.01$ dan $Q=1000$ dengan rata-rata nilai error sebesar 0.005 atau 0.5% populasi rentan terinfeksi, 0.0034 atau 0.03% populasi terinfeksi dan 0.0042 atau 0.04% populasi sembuh dan waktu komputasinya adalah 5.04152 detik. Maka diperoleh estimasi akurasi dengan *Ensemble Kalman Filter* pada model SIR demam berdarah dengue akurasinya tinggi.
3. Hasil simulasi estimasi akurasi pada penyebaran model SEIR koronavirus 2019 (COVID-19) diperoleh rata-rata error terkecil setelah beberapa kali dilakukan simulasi pada parameter P,Q,R dan mendapatkan hasil akurasi yang tinggi saat $P=R=0.01$ dan $Q=1000$ dengan rata-rata nilai error

sebesar 0.2721 populasi rentan terinfeksi, 9.8547 populasi laten, 1.1017 populasi terinfeksi covid-19, 8.4883 populasi sembuh dari covid-19 dan Waktu komputasinya adalah 6.0025 detik. Maka diperoleh estimasi akurasi dengan Ensemble Kalman Filter pada model SEIR Covid-19 akurasinya tidak akurat.

4. Parameter P,Q dan R pada hasil estimasi simulasi dengan Ensemble Kalman Filter untuk parameter Q merupakan parameter yang paling mempengaruhi pada hasil estimasi akurasi kedua studi kasus dimana nilai $Q>P$ dan $P=R$.
5. Dalam pemilihan nilai P, Q dan R. melihat jumlah banyak data jika data yang diketahui berbentuk ribuan maka pemberian nilai P dan R bernilai kecil antara ≤ 1 . sedangkan pemilihan nilai Q semakin besar nilai Q maka hasil estimasi semakin mendekati keadaan realnya. Jika data ribuan maka pemilihan nilai Q sebesar $Q\geq 1000$.

5.2 Saran

Saran yang penulis berikan untuk penelitian berikutnya adalah:

Diharapkan pada penelitian selanjutnya untuk mencari aspek-aspek yang mempengaruhi estimasi akurasi pada kasus penyakit menular di masa mendatang dengan menggunakan metode Extended Kalman Filter atau modifikasi Kalman Filter dimana waktu dibuat dalam bentuk harian sehingga didapatkan estimasi akurasi yang lebih tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Diakses melalui "Q&A on coronaviruses". Organisasi Kesehatan Dunia (WHO). Diarsipkan dari versi asli tanggal 4 Maret 2020. Diakses tanggal 15 Juli 2020 pukul 16.30 WIB.
- [2] Diakses memalui www.kemkes.go.id pada tanggal 15 Juli 2020 pukul 19.40 WIB.
- [3] Diakses memalui www.covid-19.go.id pada tanggal 15 Juli 2020 pukul 21.40 WIB.
- [4] Welch G., Bishop, G. (2006). **An Introduction to the Kalman Filter.** Department of Computer Science, University of Nort Carolina at Chapel Hlll. Chapel.
- [5] Purnomo, K. D., Apriliani., E.(1994). **Estimasi Populasi Plankton dengan Ensemble Kalman Filter Estimation of Plankton Population Using Ensemble Kalman Filter.** pp. 38–44.
- [6] Side, S., Zaki, A., Sari, N. (2018). **Modifikasi Model SIR pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengue di Kabupaten Bone.** Journal of Mathematics, Computations, and Statistics. Vol.1. Hal. 169 – 182.
- [7] Mekonen, K. G., Michael, T. G. H., Feyissa. S. (2020). **Parameter Estimation of COVID-19 Pandemic Model with Self Protection Behavior Changes.** Department of Applied Mathematics, Adama Science and Technology University, Adama, Ethiopia.

- [8] Apriliani, E., Agus N. A., Syarifudin., Merdekawati, D. A. (2018). **Perbandingan Metode Kalman Filter, Extended Kalman Filter, dan Ensemble Kalman Filter pada Model Penyebaran Virus HIV/AIDS.** ITS Surabaya.
- [9] Ambia, F. (2019). **Region Based Covariance Localization Pada Ensemble Kalman Filter Untuk Proses History Matching Dalam Simulasi Reservoir.** ITB
- [10] Subiono. (2016). **Sistem Linear dan Kontrol Optimal.** ITS Surabaya.
- [11] Apriliani, E., Wiwit, B. (2011). **Sensitivitas Metode Ensemble Kalman Filter untuk Mendeteksi Gangguan pada Masalah Konduksi Panas Satu Dimensi.** *Jurnal Matematika & Sains* 16.
- [12] Welch, G., Bishop, G. (2006). **An Introduction to The Kalman Filter.** Chapel Hill: University of North Carolina.
- [13] Kleeman, L. (2007). “Understanding and Applying Kalman Filtering”. Clayton: Monash University.
- [14] Lewis, F. L. (1998). “Optimal Estimation with An Introduction to Stochastic Control Theory”. Georgia: School of Electrical Engineering Georgia Institute of Technology Atlanta.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data diambil dari Dinas Kesehatan provinsi Jawa Timur. Data manusia terinfeksi, manusia sembuh dan manusia meninggal akibat Demam Berdarah Dengue (DBD) di provinsi Jawa Timur. Sejak bulan Januari-Desember 2020

Bulan	Penderita	Meninggal	Sembuh
Januari	1074	13	1061
Februari	1656	9	1647
Maret	1536	11	1525
April	1084	17	1067
Mei	871	11	860
Juni	649	1	648
Juli	402	1	401
Agustus	240	3	237
September	227	2	225
Okttober	223	1	222
November	262	2	260
Desember	259	5	254
Jumlah	8483	76	8407

Lampiran 2. Data diambil dari halaman resmi covid-19. Data Bulanan individu terkonfirmasi, individu laten, individu sembuh dan akibat koronavirus 2019 (COVID-19) di provinsi Jawa Timur. Sejak bulan Maret-Desember 2020.

Bulan	Penderita	Meninggal	Sembuh	Laten
Maret	43	9	6	58
April	860	85	142	1087
Mei	3850	299	452	4601
Juni	7130	499	3402	11031
Juli	10152	805	10437	21394
Agustus	11458	672	11723	23853
September	10202	815	10924	21941
Oktober	8721	566	9367	18654
November	9418	655	8026	18099
Desember	22269	1421	17644	41334
Jumlah	84103	5826	72123	162052

Lampiran 3. Data diambil dari halaman resmi covid-19. Data Harian individu terkonfirmasi, individu laten, individu sembuh dan akibat koronavirus 2019 (COVID-19) di provinsi Jawa Timur. Sejak bulan Maret-Desember 2020.

Hari/Tgl	Penderita	Meninggal	Sembuh
Rabu/20/03/18	2	0	0
Kamis/20/03/19	0	0	1
Jumat/20/03/20	0	0	0
Sabtu/20/03/21	0	0	0
Minggu/20/03/22	0	0	0
Senin/20/03/23	0	0	1
Selasa/20/03/24	0	1	0
Rabu/20/03/25	0	2	2
Kamis/20/03/26	8	0	2
Jumat/20/03/27	7	0	0
Sabtu/20/03/28	11	0	0
Minggu/20/03/29	12	3	0
Senin/20/03/30	1	1	0
Selasa/20/03/31	2	2	0
Rabu/20/04/01	11	0	5
Kamis/20/04/02	0	1	2
Jumat/20/04/03	48	0	0
Sabtu/20/04/04	0	3	4
Minggu/20/04/05	35	2	1
Senin/20/04/06	3	0	10
Selasa/20/04/07	5	0	1
Rabu/20/04/08	2	0	1

Kamis/20/04/09	27	1	7
Jumat/20/04/10	33	4	11
Sabtu/20/04/11	10	3	2
Minggu/20/04/12	119	0	0
Senin/20/04/13	52	2	5
Selasa/20/04/14	36	13	7
Rabu/20/04/15	25	4	11
Kamis/20/04/16	15	1	3
Jumat/20/04/17	8	1	8
Sabtu/20/04/18	33	3	2
Minggu/20/04/19	33	5	2
Senin/20/04/20	0	3	2
Selasa/20/04/21	15	1	1
Rabu/20/04/22	34	0	0
Kamis/20/04/23	25	2	11
Jumat/20/04/24	28	7	16
Sabtu/20/04/25	77	8	5
Minggu/20/04/26	17	12	5
Senin/20/04/27	11	1	2
Selasa/20/04/28	61	2	5
Rabu/20/04/29	14	4	8
Kamis/20/04/30	83	2	5
Jumat/20/05/01	77	3	5
Sabtu/20/05/02	6	7	3
Minggu/20/05/03	72	5	9
Senin/20/05/04	9	6	4
Selasa/20/05/05	42	0	2
Rabu/20/05/06	56	6	17
Kamis/20/05/07	45	10	8
Jumat/20/05/08	18	5	9
Sabtu/20/05/09	134	3	12

Minggu/20/05/10	78	2	3
Senin/20/05/11	37	6	14
Selasa/20/05/12	115	6	14
Rabu/20/05/13	115	8	16
Kamis/20/05/14	89	4	4
Jumat/20/05/15	60	11	16
Sabtu/20/05/16	176	5	8
Minggu/20/05/17	54	12	10
Senin/20/05/18	135	15	25
Selasa/20/05/19	83	13	38
Rabu/20/05/20	123	6	12
Kamis/20/05/21	489	13	16
Jumat/20/05/22	124	14	10
Sabtu/20/05/23	450	14	13
Minggu/20/05/24	77	12	39
Senin/20/05/25	231	9	24
Selasa/20/05/26	58	9	17
Rabu/20/05/27	176	19	16
Kamis/20/05/28	125	14	26
Jumat/20/05/29	168	11	22
Sabtu/20/05/30	195	27	19
Minggu/20/05/31	233	24	21
Senin/20/06/01	72	16	45
Selasa/20/06/02	215	6	46
Rabu/20/06/03	174	11	106
Kamis/20/06/04	97	8	285
Jumat/20/06/05	141	10	118
Sabtu/20/06/06	265	17	155
Minggu/20/06/07	103	20	46
Senin/20/06/08	354	19	89
Selasa/20/06/09	199	12	84

Rabu/20/06/10	262	15	98
Kamis/20/06/11	282	24	115
Jumat/20/06/12	308	22	72
Sabtu/20/06/13	184	15	247
Minggu/20/06/14	198	11	74
Senin/20/06/15	265	15	62
Selasa/20/06/16	246	22	73
Rabu/20/06/17	237	14	56
Kamis/20/06/18	383	13	79
Jumat/20/06/19	138	14	102
Sabtu/20/06/20	376	20	104
Minggu/20/06/21	90	17	125
Senin/20/06/22	300	13	66
Selasa/20/06/23	250	13	60
Rabu/20/06/24	167	9	80
Kamis/20/06/25	247	14	241
Jumat/20/06/26	361	32	192
Sabtu/20/06/27	280	17	189
Minggu/20/06/28	320	17	101
Senin/20/06/29	288	32	171
Selasa/20/06/30	328	31	121
Rabu/20/07/01	187	34	188
Kamis/20/07/02	352	22	192
Jumat/20/07/03	350	21	245
Sabtu/20/07/04	407	27	100
Minggu/20/07/05	593	23	155
Senin/20/07/06	309	33	104
Selasa/20/07/07	304	26	119
Rabu/20/07/08	356	23	205
Kamis/20/07/09	510	23	264
Jumat/20/07/10	257	27	235

Sabtu/20/07/11	412	36	314
Minggu/20/07/12	523	20	206
Senin/20/07/13	235	18	277
Selasa/20/07/14	355	21	351
Rabu/20/07/15	184	28	514
Kamis/20/07/16	187	26	443
Jumat/20/07/17	284	37	390
Sabtu/20/07/18	227	11	559
Minggu/20/07/19	289	52	472
Senin/20/07/20	241	32	378
Selasa/20/07/21	307	28	348
Rabu/20/07/22	265	35	395
Kamis/20/07/23	357	29	668
Jumat/20/07/24	495	29	427
Sabtu/20/07/25	309	18	420
Minggu/20/07/26	289	17	359
Senin/20/07/27	279	19	364
Selasa/20/07/28	316	22	407
Rabu/20/07/29	362	33	539
Kamis/20/07/30	291	14	446
Jumat/20/07/31	320	21	353
Sabtu/20/08/01	240	21	464
Minggu/20/08/02	180	0	191
Senin/20/08/03	478	22	468
Selasa/20/08/04	430	40	337
Rabu/20/08/05	417	18	390
Kamis/20/08/06	286	18	469
Jumat/20/08/07	377	17	492
Sabtu/20/08/08	429	22	464
Minggu/20/08/09	408	21	364
Senin/20/08/10	296	17	367

Selasa/20/08/11	291	17	363
Rabu/20/08/12	303	16	345
Kamis/20/08/13	341	22	370
Jumat/20/08/14	418	14	467
Sabtu/20/08/15	435	21	454
Minggu/20/08/16	488	35	367
Senin/20/08/17	336	14	417
Selasa/20/08/18	312	18	377
Rabu/20/08/19	335	20	452
Kamis/20/08/20	371	24	456
Jumat/20/08/21	458	31	417
Sabtu/20/08/22	321	25	403
Minggu/20/08/23	279	20	325
Senin/20/08/24	320	23	317
Selasa/20/08/25	363	27	346
Rabu/20/08/26	331	31	348
Kamis/20/08/27	367	30	345
Jumat/20/08/28	417	20	236
Sabtu/20/08/29	641	21	305
Minggu/20/08/30	467	26	223
Senin/20/08/31	323	21	384
Selasa/20/09/01	350	27	323
Rabu/20/09/02	385	29	317
Kamis/20/09/03	377	35	344
Jumat/20/09/04	350	28	287
Sabtu/20/09/05	326	27	281
Minggu/20/09/06	303	28	363
Senin/20/09/07	307	31	338
Selasa/20/09/08	401	32	339
Rabu/20/09/09	371	35	349
Kamis/20/09/10	381	41	207

Jumat/20/09/11	362	29	284
Sabtu/20/09/12	385	29	359
Minggu/20/09/13	249	17	608
Senin/20/09/14	342	36	365
Selasa/20/09/15	378	32	338
Rabu/20/09/16	372	35	345
Kamis/20/09/17	327	29	281
Jumat/20/09/18	485	27	526
Sabtu/20/09/19	379	20	429
Minggu/20/09/20	336	23	412
Senin/20/09/21	368	25	341
Selasa/20/09/22	341	25	403
Rabu/20/09/23	338	20	455
Kamis/20/09/24	344	27	431
Jumat/20/09/25	293	22	350
Sabtu/20/09/26	278	18	338
Minggu/20/09/27	221	15	396
Senin/20/09/28	284	20	378
Selasa/20/09/29	276	24	385
Rabu/20/09/30	293	29	352
Kamis/20-Okt-1	315	29	323
Jumat/20-Okt-2	284	19	360
Sabtu/20-Okt-3	307	20	347
Minggu/20-Okt-4	248	20	318
Senin/20-Okt-5	238	22	286
Selasa/20-Okt-6	281	23	290
Rabu/20-Okt-7	331	25	292
Kamis/20-Okt-8	346	24	335
Jumat/20-Okt-9	311	19	304
Sabtu/20-Okt-10	310	10	306
Minggu/20-Okt-11	266	21	273

Senin/20-Okt-12	298	21	301
Selasa/20-Okt-13	316	21	349
Rabu/20-Okt-14	299	17	329
Kamis/20-Okt-15	267	11	312
Jumat/20-Okt-16	291	18	349
Sabtu /20-Okt-17	238	13	323
Minggu/20-Okt-18	242	14	252
Senin/20-Okt-19	242	15	340
Selasa/20-Okt-20	300	20	308
Rabu/20-Okt-21	327	24	316
Kamis/20-Okt-22	268	13	346
Jumat/20-Okt-23	295	11	342
Sabtu/20-Okt-24	289	16	307
Minggu/20-Okt-25	268	16	241
Senin/20-Okt-26	296	20	296
Selasa/20-Okt-27	289	20	245
Rabu/20-Okt-28	246	20	234
Kamis/20-Okt-29	268	16	301
Jumat/20-Okt-30	222	18	216
Sabtu/20-Okt-31	223	10	226
Minggu/20-Nov-1	253	8	322
Senin/20-Nov-2	284	23	304
Selasa/20-Nov-3	272	19	262
Rabu/20-Nov-4	239	21	296
Kamis/20-Nov-5	278	16	264
Jumat/20-Nov-6	289	17	259
Sabtu/20-Nov-7	269	14	264
Minggu/20-Nov-8	282	15	263
Senin/20-Nov-9	234	13	238
Selasa/20-Nov-10	272	20	294
Rabu/20-Nov-11	168	20	180

Kamis/20-Nov-12	270	19	225
Jumat/20-Nov-13	239	12	212
Sabtu/20-Nov-14	256	27	202
Minggu/20-Nov-15	217	16	267
Senin/20-Nov-16	264	28	247
Selasa/20-Nov-17	207	22	67
Rabu/20-Nov-18	480	16	100
Kamis/20-Nov-19	425	6	400
Jumat/20-Nov-20	378	24	195
Sabtu/20-Nov-21	343	16	373
Minggu/20-Nov-22	295	24	301
Senin/20-Nov-23	365	36	392
Selasa/20-Nov-24	354	31	157
Rabu/20-Nov-25	402	34	280
Kamis/20-Nov-26	390	26	303
Jumat/20-Nov-27	428	39	359
Sabtu/20-Nov-28	453	32	394
Minggu/20-Nov-29	412	29	287
Senin/20-Nov-30	400	32	319
Selasa/20-Des-1	430	31	373
Rabu/20-Des-2	460	30	397
Kamis/20-Des-3	564	25	344
Jumat/20-Des-4	564	33	338
Sabtu/20-Des-5	539	24	444
Minggu/20-Des-6	572	34	383
Senin/20-Des-7	545	34	441
Selasa/20-Des-8	542	49	529
Rabu/20-Des-9	718	38	358
Kamis/20-Des-10	796	36	672
Jumat/20-Des-11	748	51	501
Sabtu/20-Des-12	769	41	529

Minggu/20-Des-13	792	47	650
Senin/20-Des-14	712	41	530
Selasa/20-Des-15	735	49	760
Rabu/20-Des-16	755	47	537
Kamis/20-Des-17	855	39	582
Jumat/20-Des-18	819	48	599
Sabtu/20-Des-19	752	47	520
Minggu/20-Des-20	724	60	794
Senin/20-Des-21	837	44	610
Selasa/20-Des-22	706	49	594
Rabu/20-Des-23	834	50	660
Kamis/20-Des-24	734	46	572
Jumat/20-Des-25	822	78	520
Sabtu/20-Des-26	803	58	661
Minggu/20-Des-27	738	48	592
Senin/20-Des-28	784	54	693
Selasa/20-Des-29	789	64	793
Rabu/20-Des-30	896	61	911
Kamis/20-Des-31	935	65	757

Lampiran 4. *Source Code* fungsi program *Ensemble Kalman Filter (EnKF)* pada kasus Demam Berdarah Dengue (DBD)

```
function [x_EnKF, P]=enkf2(N,x_EnKF,P,H,z,Q,R)
% EnKF Ensemble Kalman Filter for nonlinear
dynamic systems
% [x_EnKF, P] = enkf1(N,x_EnKF,P,H,zn,Q,R)
returns state estimate, x_EnKF and state
covariance, P
% for nonlinear dynamic system (for simplicity,
noises are assumed as additive):
%
%           x_k+1 = Ax_k + w_k
%           z_k   = h(x_k) + v_k
```

```

% where w ~ N(0,Q) meaning w is gaussian noise
with covariance Q
%           v ~ N(0,R) meaning v is gaussian noise
with covariance R
% Inputs:
%           N      : number of ensemble
%           x_EnKF : "a priori" state estimate
NO2
%           P      : "a priori" estimated state
covariance
%           H      : ouput/measurement matrix
%           zn     : current measurement
%           Q      : process noise covariance
%           R      : measurement noise
covariance
% Output:   x_EnKF : "a posteriori" state
estimate
%           P      : "a posteriori" state
covariance

n = numel(x_EnKF);
%number of state
m = numel(z);
%number of measurements

% Parameter model
miuh=0.00004;
miuv=0.025;
betahb=0.73;
betavb=1178.828245;
gammah = 0.0074;
dt=0.1;

%Matriks A
A=zeros(10);
A(1,1)=1;
A(1,2)=miuh*dt;
A(1,3)=miuh*dt;

```

```

A(1,5)=-betahb*miuh*dt;
A(2,2)=- (miuh+gammah)*dt+1;
A(2,5)=betahb*dt;
A(3,2)=gammah*dt;
A(3,3)=-miuh*dt+1;
A(4,4)=-miuv*dt+1;
A(4,5)=-miuv*dt;
A(5,4)=betahb*dt;
A(5,5)=-miuh*dt+1;
A(6,6)=1;
A(7,7)=1;
A(8,8)=1;
A(9,9)=1;
A(10,10)=1;

%=====Step of Prediction ========
for ens=1:N

xpre0_EnKF(:,ens)=A*x_EnKF+sqrt(Q)*randn(n,1);
end
xpre_meanEnKF=mean(xpre0_EnKF,2);
for ens=1:N
    xpre_EnKF(:,ens)=xpre_meanEnKF;
end
ek=xpre_EnKF-xpre0_EnKF;
Ce=ek*ek';
Ppre=Ce./(N-1);

%===== Step of Correction ========
for ens=1:N
    z4(:,ens)=z'+sqrt(R)*randn(m,1);
end
K=Ppre*H'*inv(H*Ppre*H'+R);
%Kalman Gain
for ens=1:N

```

```
xkor0_EnKF(:,ens)=xpre0_EnKF(:,ens)+K*(z4(:,ens)
-H*xpre0_EnKF(:,ens));
end
x_EnKF=mean(xkor0_EnKF,2);
%mean of state estimate
P=(eye(n)-K*H)*Ppre;
```

Lampiran 5. Source Code Program Ensemble Kalman Filter pada kasus Demam Berdarah Dengue (DBD)

```
close all
clear all;
clc;

%data DBD
dataDBD=[1074 13 1061
1656 9 1647
1536 11 1525
1084 17 1067
871 11 860
649 1 648
402 1 401
240 3 237
227 2 225
223 1 222
262 2 260
259 5 254
];

T=length(dataDBD);

%Pendefisian Nilai Parameter
n=10; %jumlah state
N=1000; %Banyaknya Ensemble
m=3; %jumlah variabel yang diestimasi
dt=0.1;
q=1000;
r=1;
% P=eye(n)*0.001;
P=0.1;
Q=q*eye(n);
R=r*eye(m);
Sh=20291592;
Sv=1000000;
```

```

miuh=0.00004;
miuv=0.025;
betahb=0.73;
betavb=1178.828245;
gammah = 0.0074;

%Matriks A
A=zeros(10);
A(1,1)=1;
A(1,2)=miuh*dt;
A(1,3)=miuh*dt;
A(1,5)=-betahb/Sh*dt;
A(2,2)=- (miuh+gammah)*dt+1;
A(2,5)=betahb*dt;
A(3,2)=gammah*dt;
A(3,3)=-miuh*dt+1;
A(4,2)=-betahb*Sv/Sh*dt;
A(4,4)=1;
A(5,2)=betahb*Sv/Sh*dt;
A(5,5)=-miuh*dt+1;
A(1,1)=1;
A(6,6)=1;
A(7,7)=1;
A(8,8)=1;
A(9,9)=1;
A(10,10)=1;

%Matriks koefisien pengukuran
H = zeros(3,n);
H(1,1) = 1;
H(2,2) = 1;
H(3,3) = 1;

%Inisialisasi Nilai Awal
xi = zeros(n,1);
xi(1)=1074;

```

```

xi(2)=13;
xi(3)=1061;
xi(6)=0.00041431;
xi(7)=0.5;
xi(8)= 0.024640748;
xi(9)=1178.828245;
xi(10)=0.000418055;
x=xi;

% Membangkitkan N ensemble awal dari nilai
Estimation awal
for ens=1:N
x0(:,ens)=x+sqrt(Q)*randn(10,1);
end

% Rata-rata dari Estimation awal yang
dibangkitkan
x_EnKF=mean(x0,2); % xk= 1/N (sigma i=1 sd N
xk,i)
xkor_EnKF(:,1)=x_EnKF;

tic
for k=1:T
z = dataDBD(k,:);
XZ(k,:)=z;
% measurement
%===== Ensemble Kalman filter
=====
[x_EnKF,P]=enkf2(N,x_EnKF,P,H,z,Q,R);
xkor_EnKF(:,k)=x_EnKF;
end
toc

%=====EnKF=====
figure(1)
plot(1:T,abs(xkor_EnKF(1,:)), '-b', 1:T,XZ(:,1), '-r', 'linewidth', 1.5)

```

```

xlabel('Data ke-')
ylabel('Populasi')
title('Estimasi DBD kategori Suspect')
legend('EnKF', 'Data Real')
grid on;
hold on;

figure(2)
plot(1:T,abs(xkor_EnKF(2,:)), '-*b', 1:T,XZ(:,2), '-*r', 'linewidth', 1.5)
xlabel('Data ke-')
ylabel('Populasi')
title('Estimasi DBD kategori Infected')
legend('EnKF', 'Data Real')
grid on;
hold on;

figure(3)
plot(1:T,abs(xkor_EnKF(3,:)), '-*b', 1:T,XZ(:,3), '-*r', 'linewidth', 1.5)
xlabel('Data ke-')
ylabel('Populasi')
title('Estimasi DBD kategori Recovery')
legend('EnKF', 'Data Real')
grid on;
hold on;

figure(4)
errorSuspect = abs(XZ(:,1)-xkor_EnKF(1,:'))
plot(1:T,errorSuspect, '-*r', 'linewidth', 1.5)
xlabel('Data ke-')
ylabel('Nilai Error')
title('Error DBD kategori Recovery')
legend('Error Suspect')
grid on;
hold on;

```

```

figure(5)
errorInfected = abs(XZ(:,2)-xkor_EnKF(2,:)')
plot(1:T,errorInfected,'-*r','linewidth',1.5)
xlabel('Data ke-')
ylabel('Nilai Error')
title('Error DBD kategori Infected')
legend('Error Infected')
grid on;
hold on;

figure(6)
errorRecovery = abs(XZ(:,3)-xkor_EnKF(3,:)')
plot(1:T,errorRecovery,'-*r','linewidth',1.5)
xlabel('Data ke-')
ylabel('Nilai Error')
title('Error DBD kategori Recovery')
legend('Error Recovery')
grid on;
hold on;

%Error EnKF
ErrorSuspect=sqrt((sum((XZ(:,1)-
xkor_EnKF(1,:')).^2))/T)
ErrorInfected=sqrt((sum((XZ(:,2)-
xkor_EnKF(2,:')).^2))/T)
ErrorRecovery=sqrt((sum((XZ(:,3)-
xkor_EnKF(3,:')).^2))/T)

toc

```

Lampiran 6. Source Code fungsi program *Ensemble Kalman Filter (EnKF)* pada kasus Koronavirus (COVID-19)

```
function
[x_enkf,P]=enkfCOVID19skripsi1(N,x_enkf,P,H,z,Q,
R)
% EnKF    Ensemble Kalman Filter for nonlinear
dynamic systems
% [x_EnKF, P] = enkf1(N,x_EnKF,P,H,zn,Q,R)
returns state estimate, x_EnKF and state
covariance, P
% for nonlinear dynamic system (for simplicity,
noises are assumed as additive):
%           x_k+1 = Ax_k + w_k
%           z_k   = h(x_k) + v_k
% where w ~ N(0,Q) meaning w is gaussian noise
with covariance Q
%           v ~ N(0,R) meaning v is gaussian noise
with covariance R
% Inputs:
%           N      : number of ensemble
%           x_EnKF : "a priori" state estimate
NO2
%           P      : "a priori" estimated state
covariance
%           H      : ouput/measurement matrix
%           zn     : current measurement
%           Q      : process noise covariance
%           R      : measurement noise
covariance
```

```

% Output:    x_EnKF : "a posteriori" state
estimate
%
%           P       : "a posteriori" state
covariance

n = numel(x_enkf);
%number of state
m = numel(z);
%number of measurements

% Parameter model
dt= 0.1;
alpha= 0.8642;
rho=0.0023;
lambdaav=0.071756;
theta=0.0105;
eta=0.9999;
gamma= 0.0200;
delta= 0.0105;
miu=0.0122;
epsilon= 0.0755;
xb=0.0151;
psi=0.7224;

%Matriks A
A=zeros(17);
A(1,1)=-(lambdaav+(alpha*rho)+miu)*dt+1;
A(2,1)=(alpha*rho)*dt;
A(2,2)=-(theta+miu*(1-eta)*lambdaav)*dt+1;
A(3,1)=lambdaav*dt;
A(3,2)=(1-eta)*lambdaav*dt;
A(3,3)=-(miu+delta+gamma)*dt+1;
A(4,2)=theta*dt;
A(4,3)=gamma*dt;
A(4,4)=-miu*dt+1;
A(5,3)=delta*dt;
A(5,5)=-miu*dt+1;

```

```

A(6,2)=epsilon*dt;
A(6,3)=xb*dt;
A(6,5)=-psi*dt;
A(6,6)=1;
A(7,7)=1;
A(8,8)=1;
A(9,9)=1;
A(10,10)=1;
A(11,11)=1;
A(12,12)=1;
A(13,13)=1;
A(14,14)=1;
A(15,15)=1;
A(16,16)=1;
A(17,17)=1;

%===== Step of Prediction ======
for ens=1:N

xpre0_EnKF(:,ens)=A*x_enkf+sqrt(Q)*randn(n,1);
end
xpre_meanEnKF=mean(xpre0_EnKF,2);
for ens=1:N
    xpre_EnKF(:,ens)=xpre_meanEnKF;
end
ek=xpre_EnKF-xpre0_EnKF;
Ce=ek*ek';
Ppre=Ce./(N-1);

%=====Step of Correction ======
for ens=1:N
    z1(:,ens)=z'+sqrt(R)*randn(m,1);
end
K=Ppre*H'*inv(H*Ppre*H'+R);
%Kalman Gain
for ens=1:N

```

```

xkor0_EnKF(:,ens)=xpre0_EnKF(:,ens)+K*(z1(:,ens)
-H*xpre0_EnKF(:,ens));
end
x_enkf=mean(xkor0_EnKF,2);
%mean of state estimate
P=(eye(n)-K*H)*Ppre;

```

Lampiran 7. Source Code Program Ensemble Kalman Filter pada kasus Koronavirus 2019 (COVID-19)

```

clear all;
clc;

%data COVID19
dataCOVID19=[43 58 6 9
860 1087 142 85
3850 4601 452 299
7130 11031 3402 499
10152 21394 10437 805
11458 23853 11723 672
10202 21941 10924 815
8721 18654 9367 566
9418 18099 8026 655
22269 41334 17644 1421
];

T=length(dataCOVID19);

%Pendefisian Nilai Parameter
n=17; %jumlah state
N=1000; %Banyaknya Ensemble

```

```

m=4 ; %jumlah variabel yang diestimasi
dt=0.1;
q=1000;
r=0.1;
% P=eye(n) *0.001;
P=0.1;
Q=q*eye(n);
R=r*eye(m);

alpha= 0.8642;
rho=0.0023;
lambdav=0.071756;
theta=0.0105;
eta=0.9999;
gamma= 0.0200;
delta= 0.0105;
miu=0.0122;
epsilon= 0.0755;
xb=0.0151;
psi=0.7224;

%Matriks A
A=zeros(17);
A(1,1)=-(lambdav+(alpha*rho)+miu)*dt+1;
A(2,1)=(alpha*rho)*dt;
A(2,2)=-(theta+miu*(1-eta)*lambdav)*dt+1;
A(3,1)=lambdav*dt;
A(3,2)=(1-eta)*lambdav*dt;
A(3,3)=-(miu+delta+gamma)*dt+1;
A(4,2)=theta*dt;
A(4,3)=gamma*dt;
A(4,4)=-miu*dt+1;
A(5,3)=delta*dt;
A(5,5)=-miu*dt+1;
A(6,2)=epsilon*dt;
A(6,3)=xb*dt;
A(6,5)=-psi*dt;
A(6,6)=1;

```

```

A(7,7)=1;
A(8,8)=1;
A(9,9)=1;
A(10,10)=1;
A(11,11)=1;
A(12,12)=1;
A(13,13)=1;
A(14,14)=1;
A(15,15)=1;
A(16,16)=1;
A(17,17)=1;

%Matriks koefisien pengukuran
H = zeros(4,n);
H(1,1) = 1;
H(2,2) = 1;
H(3,3) = 1;
H(4,4) = 1;

%Inisialisasi Nilai Awal
xi = zeros(n,1);
xi(1)=84103;
xi(2)=72123;
xi(3)=5826;
xi(4)=176291;
xi(7)=0.6594;
xi(8)= 0.0116;
xi(9)=0.005;
xi(10)=0.0541;
xi(11)=0.1892;
xi(12)=0.0962;
xi(13)=0.0043;
xi(14)=0.0022;
xi(15)=0.0155;
xi(16)=0.0081;
xi(17)=0.8808;
x=xi;

```

```

% Membangkitkan N ensemble awal dari nilai
Estimation awal
for ens=1:N
x0(:,ens)=x+sqrt(Q)*randn(17,1);
end

% Rata-rata dari Estimation awal yang
dibangkitkan
x_enkf=mean(x0,2); % xk= 1/N (sigma i=1 sd N
xk,i)
xkor_EnKF(:,1)=x_enkf;

tic
for k=1:T
z = dataCOVID19(k,:);
XZ(k,:)=z;
% measurement
%===== Ensemble Kalman filter =====
[x_enkf,P]=enkfCOVID19skripsi1(N,x_enkf,P,H,z,Q,
R);
xkor_EnKF(:,k)=x_enkf;
end
toc

%=====EnKF=====
figure(1)
plot(1:T,abs(xkor_EnKF(1,:)), '-*b',1:T,XZ(:,1), '-*r', 'linewidth',1.5)
xlabel('Data ke-')
ylabel('Populasi')
title('Estimasi COVID-19 kategori Suspect')
legend('EnKF','Data Real')
grid on;
hold on;

figure(2)

```

```

plot(1:T,abs(xkor_EnKF(2,:)), '-*b',1:T,XZ(:,2),'-*r','linewidth',1.5)
xlabel('Data ke-')
ylabel('Populasi')
title('Estimasi COVID-19 kategori Laten')
legend('EnKF','Data Real')
grid on;
hold on;

figure(3)
plot(1:T,abs(xkor_EnKF(3,:)), '-*b',1:T,XZ(:,3),'-*r','linewidth',1.5)
xlabel('Data ke-')
ylabel('Populasi')
title('Estimasi COVID-19 kategori Infected')
legend('EnKF','Data Real')
grid on;
hold on;

figure(4)
plot(1:T,abs(xkor_EnKF(4,:)), '-*b',1:T,XZ(:,4),'-*r','linewidth',1.5)
xlabel('Data ke-')
ylabel('Populasi')
title('Estimasi COVID-19 kategori Recovery')
legend('EnKF','Data Real')
grid on;
hold on;

figure(5)
errorSuspect = abs(XZ(:,1)-xkor_EnKF(1,:'))
plot(1:T,errorSuspect,'-*r','linewidth',1.5)
xlabel('Data ke-')
ylabel('Nilai Error')
title('Error COVID-19 kategori Suspect')
legend('Error Suspect')
grid on;

```

```

hold on;

figure(6)
errorLaten = abs(XZ(:,1)-xkor_EnKF(1,:)')
plot(1:T,errorLaten,'-*r','linewidth',1.5)
xlabel('Data ke-')
ylabel('Nilai Error')
title('Error COVID-19 kategori laten')
legend('Error laten')
grid on;
hold on;

figure(7)
errorInfected = abs(XZ(:,2)-xkor_EnKF(2,:)')
plot(1:T,errorInfected,'-*r','linewidth',1.5)
xlabel('Data ke-')
ylabel('Nilai Error')
title('Error COVID-19 kategori Infected')
legend('Error Infected')
grid on;
hold on;
figure(8)
errorRecovery = abs(XZ(:,3)-xkor_EnKF(3,:)')
plot(1:T,errorRecovery,'-*r','linewidth',1.5)
xlabel('Data ke-')
ylabel('Nilai Error')
title('Error COVID-19 kategori Recovery')
legend('Error Recovery')
grid on;
hold on;

%Error EnKF
ErrorSuspect=sqrt((sum((XZ(:,1)-
xkor_EnKF(1,:')).^2))/T)
ErrorLaten=sqrt((sum((XZ(:,2)-
xkor_EnKF(1,:')).^2))/T)

```

```
ErrorInfected=sqrt((sum((XZ(:,3)-  
xkor_EnKF(2,:)').^2))/T)  
ErrorRecovery=sqrt((sum((XZ(:,4)-  
xkor_EnKF(3,:)').^2))/T)
```

toc



BIODATA PENULIS

Penulis dilahirkan di kota Bangkalan, 11 April 1998, merupakan anak tunggal dari keluarga kecil. Penulis sebelumnya telah menempuh jenjang pendidikan formal, tepatnya di SDN Sobih 1 (2004-2010), SMPN 3 Burneh (2010-2013), dan SMAS Al-Hikam (2013-2016). Penulis kemudian melanjutkan pendidikan S1 Jurusan Matematika di Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui Jalur SBMPTN pada tahun 2016 dan terdaftar dengan NRP 06111640000057. Dalam penelitian Tugas Akhir ini, penulis mendalami bidang studi Pemodelan dan Simulasi Sistem.

Penulis aktif di beberapa organisasi dan unit kegiatan mahasiswa diantaranya : Himpunan Mahasiswa Matematika (HIMATIKA) sebagai staf Socdev periode 2017-2018 dan Sekdep periode 2018-2019, Anggota UKM Kopma ITS (2016-2017), Staf Uktk ITS (2017-2017) dan lanjut menjadi Wakil divisi tari tradisional periode 2018-2019, serta staf Ifls ITS, lanjut staf Humas periode 2018-2019.

Disamping itu, sejak semester 5 penulis dipercaya menjadi tutor disalah satu LBB di Jawa Timur. Kritik, saran, maupun pertanyaan serta informasi lebih lengkap mengenai Tugas Akhir ini dapat ditujukan ke alamat email penulis: Mudha.rika@gmail.com.

