

Aplikasi Kalman Filter untuk Memprediksi Jumlah Penderita Tuberkulosis di Indonesia

Ngatini^{1*}, Devi Indriyani²

^{1,2}*Informatika, Universitas Internasional Semen Indonesia, Jl. Veteran Kompleks PT. Semen Indonesia (persero) Tbk.*

**Corresponding author: ngatini@uisi.ac.id*

Diterima : Desember 2021 | Disetujui 8 April 2022 | Diterbitkan 13 April 2022

Abstrak

Tuberkulosis atau yang sering disebut TBC merupakan suatu penyakit infeksi pada saluran pernafasan yang disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis*. Untuk melihat penyebaran penyakit tuberkulosis 5 tahun kedepan, maka diperlukan perhitungan untuk memprediksi jumlah penderita tuberkulosis di tahun berikutnya. Dalam menyelesaikan permasalahan tersebut, salah satu metode yang tepat untuk memprediksi jumlah penderita tuberkulosis di Indonesia adalah *Kalman Filter*. *Kalman Filter* merupakan algoritma yang digunakan untuk mengestimasi variabel keadaan pada sistem *Linear*. Tahapan dari proses *Kalman Filter* yaitu inisialisasi variabel, tahap prediksi (*Time Update*), dan tahap koreksi (*measurement update*). Untuk melihat tingkat kesalahan *Error* dari hasil prediksi, maka digunakan perhitungan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE).

Kata-kata kunci: Kalman Filter; Tuberkulosis; TBC; MAPE.

Abstract

Tuberculosis or often called tuberculosis is an infectious disease of the respiratory tract caused by the Mycobacterium tuberculosis. To see the spread of tuberculosis in the next 5 years, calculations are needed to predict the number of tuberculosis sufferers in the next year. In solving this problem, one of the right methods to predict the number of tuberculosis sufferers in Indonesia is Kalman Filter. Kalman Filter is an algorithm used to estimate state variables in linear systems. The process carried out in measurement with Kalman Filter is the initialization of variables, the prediction stage (Time Update), and the correction stage (measurement update). To see the error rate of the prediction result, the Mean Absolute Percentage Error (MAPE) calculation is used.

Keywords: Kalman Filter; Tuberculosis; TBC; MAPE.

Pendahuluan

Tuberkulosis atau yang sering disebut TBC merupakan suatu penyakit infeksi pada jaringan paru yang disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis*, sebagian besar tuberkulosis menyerang bagian paru – paru serta organ tubuh lainnya (Setyaningtyas, 2019). Gejala – gejala yang dirasakan penderita tuberkulosis antara lain batuk–batuk, sakit dada, nafas pendek, hilang nafsu makan, berat badan menurun, demam, kedinginan, dan kelelahan (Manalu dan Putra, 2010). Jumlah kasus Tuberkulosis di Indonesia sangat tinggi, The World Health Organization (WHO) menetapkan Indonesia sebagai negara dengan tingkat tuberkulosis yang tinggi dan terdapat sekitar 500.000 kasus

baru TBC (Tuberkulosis) setiap tahunnya (expat.or.id, 2021). Jumlah kasus TB di Indonesia hingga tahun 2015 mencapai 1.020.000 kasus (Kementerian Kesehatan RI, 2018) dan TBC menjadi penyebab kematian keempat tertinggi di Indonesia dan di antara penduduk Indonesia yang berusia 15 hingga 49 tahun, TBC menjadi penyebab kematian nomor satu karena penyakit menular (usaid.gov, 2020).

Untuk melihat penyebaran penyakit tuberkulosis 10 tahun kedepan, maka diperlukan perhitungan untuk memprediksi jumlah penderita tuberkulosis di tahun berikutnya. Salah satu metode atau algoritma yang dapat digunakan untuk melakukan prediksi adalah Kalman Filter. Kalman filter merupakan metode estimasi yang sering diimplementasikan untuk sistem persamaan yang berbentuk linear. Terdapat beberapa modifikasi dari algoritma tersebut, diantaranya adalah Extended Kalman Filter (EKF), Unscented Kalman Filter (UKF) (Ngatini, dkk., 2019), Ensemble Kalman Filter, Fuzzy Kalman Filter (Ngatini, dkk., 2017), dan modifikasi lainnya. Modifikasi dari algoritma tersebut dapat digunakan untuk persamaan matematika tertentu, seperti Fuzzy Kalman Filter yang dapat diimplementasikan untuk persamaan matematika yang berbentuk linear. Pada beberapa kasus terdapat modifikasi lain dari Kalman Filter yaitu Extended Kalman Filter yang dapat digunakan untuk memprediksi Covid-19 dengan menambahkan Maksimum Likelihood (Song, 2021). Algoritma tersebut efektif untuk digunakan dalam mensimulasikan dan menganalisa pandemi Covid-19 di Cina dan Amerika Serikat (Song, 2021). Terdapat pula penelitian yang menggunakan Kalman Filter untuk prediksi prevalensi, jumlah kasus aktif, jumlah penderita sembuh hingga jumlah kematian yang disebabkan oleh Covid-19 di Pakistan dengan error prediksi kurang dari 0.0058 (Aslam, 2020). Berdasarkan hasil penelitian yang menggunakan Kalman Filter maupun modifikasinya dapat diketahui bahwa algoritma tersebut cukup efektif untuk digunakan sebagai metode prediksi, khususnya dalam bidang kesehatan atau penyakit.

Pada penelitian kali ini penulis menggunakan algoritma Kalman Filter untuk memprediksi jumlah penyakit TBC di Indonesia untuk tahun 2019-2028 dimana dilakukan prediksi dengan menggunakan *data training* dan *data testing*. Implementasi Kalman Filter diterapkan pada persamaan differensial jumlah penduduk sehat dan jumlah penderita tuberkulosis, dengan akurasi hasil prediksi yang dihitung menggunakan RMSE (Root Mean Square Error).

Metode

1. Model State Space

Model *state* pada penyakit tuberkulosis yaitu persamaan diferensial stokastik untuk $N_i(t)$, $i = 1, 2$ sebagai berikut (Herdiani, dkk., 2010).

$$\begin{aligned} \Delta N_1(t) &= N_1(t + \Delta t) - N_1(t) \\ &= \{[\lambda_1(t) + b_1(t) - d_1(t) - \alpha_1(t)]N_1(t) + \alpha_2(t)N_2(t)\}\Delta t + \varepsilon_1(t)\Delta t \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \Delta N_2(t) &= N_2(t + \Delta t) - N_2(t) \\ &= \{[\lambda_2(t) + b_2(t) - d_2(t) - \alpha_2(t)]N_2(t) + \alpha_1(t)N_1(t)\}\Delta t + \varepsilon_2(t)\Delta t \end{aligned} \quad (2)$$

Keterangan:

t = waktu

Δt = selisih waktu antara (t) dengan $(t - 1)$

$N_1(t)$ = jumlah penduduk sehat pada waktu ke t

$N_2(t)$ = jumlah penderita tuberkulosis pada waktu ke t

$\alpha_1(t)$ = Laju penyakit (laju transisi dari $N_1 \rightarrow N_2$)

$\alpha_2(t)$ = Laju kesembuhan (laju transisi dari $N_2 \rightarrow N_1$)

$\lambda_1(t)$ = Laju imigrasi dari orang sehat

$\lambda_2(t)$ = Laju imigrasi dari orang sakit

$b_1(t)$ = Laju kelahiran dari orang sehat

$b_2(t)$ = Laju kelahiran dari orang sakit

$d_1(t)$ = Laju kematian dari orang sehat

$d_2(t)$ = Laju kematian dari orang sakit

Data jumlah penduduk sehat dan penderita TBC di Indonesia yang digunakan adalah data pada tahun 2001 hingga 2018 (lihat Tabel 1). Model pada Persamaan 1 dan Persamaan 2 untuk selanjutnya akan dilakukan diskritisasi untuk kemudian diimplementasikan dengan Kalman Filter. Simulasi dengan Kalman Filter untuk mendapatkan hasil prediksi dari jumlah penderita TBC 5 tahun mendatang.

Tabel 1. Data Jumlah Penduduk, Penduduk Sehat dan Penderita TBC di Indonesia

Tahun	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Sehat (Jiwa)	Penderita TBC (Jiwa)
2001	209.206.000	208.936.922	269.078
2002	212.190.000	211.930.030	259.970
2003	215.216.000	214.974.896	241.104
2004	218.285.000	218.070.342	214.658
2005	221.398.000	221.101.619	296.381
2006	224.555.000	224.277.411	277.589
2007	227.758.000	227.525.642	232.358
2008	231.006.000	230.777.515	228.485
2009	234.300.000	234.005.269	294.731
2010	237.641.000	237.338.139	302.861
2011	241.991.000	241.669.692	321.308
2012	245.425.000	245.093.559	331.441
2013	248.818.000	248.490.897	327.103
2014	252.165.000	251.840.461	324.539
2015	255.462.000	255.131.271	330.729
2016	258.705.000	258.353.107	351.893
2017	261.989.000	261.628.230	360.770
2018	265.950.000	265.529.006	420.994

Sumber: Country Economic, Pusdatin KemenKes RI, 2017

2. Prediksi dengan Kalman Filter dan Perhitungan Akurasi

Metode *Kalman Filter* digunakan untuk mengestimasi variabel keadaan dari sistem dinamik stokastik *Linear* diskrit. Tahapan dalam algoritma Kalman Filter terdiri dari yaitu tahap inisialisasi, tahap *time update* dan tahap *measurement update* (kalmanfilter.net, 2021). Algoritma tersebut dijelaskan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Algoritma Kalman Filter

Model Sistem & Model Pengukuran

$$x_{k+1} = A_k x_k + B_k u_k + G_k w_k$$

$$z_k = M x_k + v_k$$

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

Inisialisasi

$$P(0) = P_0, \hat{x}(0) = \hat{x}_0$$

Tahap Prediksi (Time Update)

Kovariansi Error:

$$P_{k+1}^- = A_k P_k A_k^T + G_k Q_k G_k^T$$

Estimasi:

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

Tahap Koreksi (Measurement Update)

Kalman Gain:

$$K_{k+1} = P_{k+1}^- H^T (H P_{k+1}^- + R_k)^{-1}$$

Estimasi:

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

Kovariansi Error:

$$(1 - K_{k+1} H_{k+1})$$

Sumber: Lewis, 2006

Keterangan:

x_{k+1} = matriks yang berisi nilai N_i pada waktu $(k + 1)$

A_k = matriks yang berisi nilai koefisien dari N_i dalam model state pada waktu (k)

x_k = matriks yang berisi nilai N_i pada waktu (k)

B_k = matriks yang berisi input kontrol pada waktu (k)

u_k = nilai input kontrol pada waktu (k)

G_k = matriks identitas untuk membangkitkan *noise* pada waktu (k)

w_k = matriks yang berisi nilai *noise* pada waktu (k)

z_k = matriks yang berisi nilai banyaknya N_i yang diamati pada waktu (k)

H = matriks yang menghubungkan antara model state dengan model pengamatan

x_k = matriks yang berisi nilai dari N_i pada waktu ke (k)

v_k = matriks yang berisi nilai *noise* pengamatan pada waktu (k)

Dalam hal ini variabel $w_k \sim N(0, Q)$ dan $v_k \sim N(0, Q)$ diasumsikan tidak berkorelasi satu sama lain dan berdistribusi normal atau biasa disebut *white noise* (Hadianto, 2015).

Tingkat akurasi dari hasil prediksi dihitung dengan menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Perhitungan MAPE dilakukan untuk mengetahui persentase error dari prediksi penderita TBC di Indonesia untuk data uji tahun 2001-2018, berikut persamaan MAPE (statology.org, 2020).

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(|Y_i| - |\bar{Y}_i|)}{|Y_i|}}{n} \cdot 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

Y_i = Nilai Real (nilai sebenarnya)

\bar{Y}_i = Nilai Prediksi (nilai hasil estimasi)

n = jumlah data

Hasil dan Pembahasan

Sebelum diimplementasikan Kalman Filter pada model persamaan jumlah penduduk sehat dan penderita TBC, langkah pertama yang dilakukan adalah mendefinisikan model state space yang nantinya akan diimplementasikan pada Kalman Filter. Dengan mensubstitusikan nilai-nilai pada parameter dari Persamaan (1) dan Persamaan (2) diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \Delta N_1(t) &= \{[b_1(t) + \lambda_1(t) - d_1(t) - \alpha_1(t)]N_1(t) + \alpha_2(t)N_2(t)\}\Delta t + \varepsilon_1(t)\Delta t \\ &= 0,13N_1(t)\Delta t + 0,00042N_2(t)\Delta t + \varepsilon_1(t)\Delta t \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \Delta N_2(t) &= \{[b_2(t) + \lambda_2(t) - d_2(t) - \alpha_2(t)]N_2(t) + \alpha_1(t)N_1(t)\}\Delta t + \varepsilon_2(t)\Delta t \\ &= -0,4N_2(t)\Delta t + 0,0003N_1(t)\Delta t + \varepsilon_2(t)\Delta t \end{aligned} \quad (5)$$

Variabel N_1 merupakan variabel yang menggambarkan jumlah penduduk sehat pada waktu ke t dan N_2 merupakan variabel yang menggambarkan jumlah penderita TBC pada waktu ke t . Setelah mendapatkan persamaan diatas, selanjutnya adalah membentuk model state dari persamaan (4) dan (5). Model state dari N_1 dan N_2 dibentuk dari penyederhanaan Δt . Sehingga diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$\Delta N_1(t) = 0,13N_1(t-1)\Delta t + 0,00042N_2(t-1)\Delta t + \varepsilon_1(t)\Delta t \quad (6)$$

$$N_1(t) - N_1(t-1) = 0,13(t-1)\Delta t + 0,00042(t-1)\Delta t + \varepsilon_1(t)\Delta t \quad (7)$$

$$N_1(t) = N_1(t-1) + 0,13N_1(t-1)\Delta t + 0,00042N_2(t-1)\Delta t + \varepsilon_1(t)\Delta t \quad (8)$$

$$\Delta N_2(t) = -0,4N_2(t-1)\Delta t + 0,0003N_1(t-1)\Delta t + \varepsilon_2(t)\Delta t \quad (9)$$

$$N_2(t) - N_2(t-1) = -0,4N_2(t-1)\Delta t + 0,0003N_1(t-1)\Delta t + \varepsilon_2(t)\Delta t \quad (10)$$

$$N_2(t) = N_2(t-1) - 0,4N_2(t-1)\Delta t + 0,0003N_1(t-1)\Delta t + \varepsilon_2(t)\Delta t \quad (11)$$

Sehingga terbentuk persamaan model state yang dituliskan dalam persamaan berikut.

$$N_1(t) = N_1(t-1) + 0,13N_1(t-1)\Delta t + 0,00042N_2(t-1)\Delta t + \varepsilon_1(t)\Delta t$$

$$N_2(t) = N_2(t-1) - 0,4N_2(t-1)\Delta t + 0,0003N_1(t-1)\Delta t + \varepsilon_2(t)\Delta t$$

Langkah selanjutnya adalah implementasi dari model state yang telah diperoleh ke dalam algoritma *Kalman Filter*.

1. Penerapan *Kalman Filter*

Kalman Filter terdiri dari 2 tahap pengerjaan yaitu tahap prediksi (*Time Update*) dan tahap koreksi (*Measurement Update*). Sebelum masuk ke dalam tahap prediksi dan tahap koreksi, dilakukan pendefinisian model sistem dan model pengukuran. Model sistem digunakan untuk menetapkan nilai sebenarnya (*real-value*) yang dijadikan perhitungan awal.

i. Model Sistem dan Model Pengukuran

a. Model Sistem

$$\begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \end{bmatrix}_{(t)} = \begin{bmatrix} 1 + 0,13\Delta t & 0,00042\Delta t \\ 0,0003\Delta t & 1 - 0,4\Delta t \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \end{bmatrix}_{(t-1)} + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \end{bmatrix}_{(t)} \quad (12)$$

b. Model Pengukuran

$$\begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix}_{(k)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \end{bmatrix}_{(t_k)} + \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \end{bmatrix}_{(k)} \quad (13)$$

ii. Tahap Prediksi (*Time Update*)

a. Kovariansi *Error*

$$\begin{bmatrix} P_1 & 0 \\ 0 & P_2 \end{bmatrix}_{k+1}^- = \begin{bmatrix} 1 + 0,13\Delta t & 0,00042\Delta t \\ 0,0003\Delta t & 1 - 0,4\Delta t \end{bmatrix}_k \times \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}_k \begin{bmatrix} 1 + 0,13\Delta t & 0,0003\Delta t \\ 0,00042\Delta t & 1 - 0,4\Delta t \end{bmatrix}_k + \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}_k \begin{bmatrix} 0,01 & 0 \\ 0 & 0,01 \end{bmatrix}_k \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}_k \quad (14)$$

b. Estimasi

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_1 & 0 \\ 0 & \hat{x}_2 \end{bmatrix}_{k+1}^- = \begin{bmatrix} 1 + 0,13\Delta t & 0,00042\Delta t \\ 0,0003\Delta t & 1 - 0,4\Delta t \end{bmatrix}_k \begin{bmatrix} \mu N_1 & 0 \\ 0 & \mu N_2 \end{bmatrix}_k \quad (15)$$

iii. Tahap Koreksi (*Measurement Update*)

a. *Kalman Gain*

$$\begin{bmatrix} K_1 & 0 \\ 0 & K_2 \end{bmatrix}_{k+1} = \begin{bmatrix} P_1 & 0 \\ 0 & P_2 \end{bmatrix}_{k+1}^- \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \left(\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 & 0 \\ 0 & P_2 \end{bmatrix}_{k+1}^- + \begin{bmatrix} 0,1 & 0 \\ 0 & 0,1 \end{bmatrix} \right)^{-1} \quad (16)$$

b. Estimasi

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_1 & 0 \\ 0 & \hat{x}_2 \end{bmatrix}_{k+1} = \begin{bmatrix} \hat{x}_1 & 0 \\ 0 & \hat{x}_2 \end{bmatrix}_{k+1}^- + \begin{bmatrix} K_1 & 0 \\ 0 & K_2 \end{bmatrix}_{k+1} \left(\begin{bmatrix} z_1 & 0 \\ 0 & z_2 \end{bmatrix}_{k+1} - \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}_1 & 0 \\ 0 & \hat{x}_2 \end{bmatrix}_{k+1}^- \right) \quad (17)$$

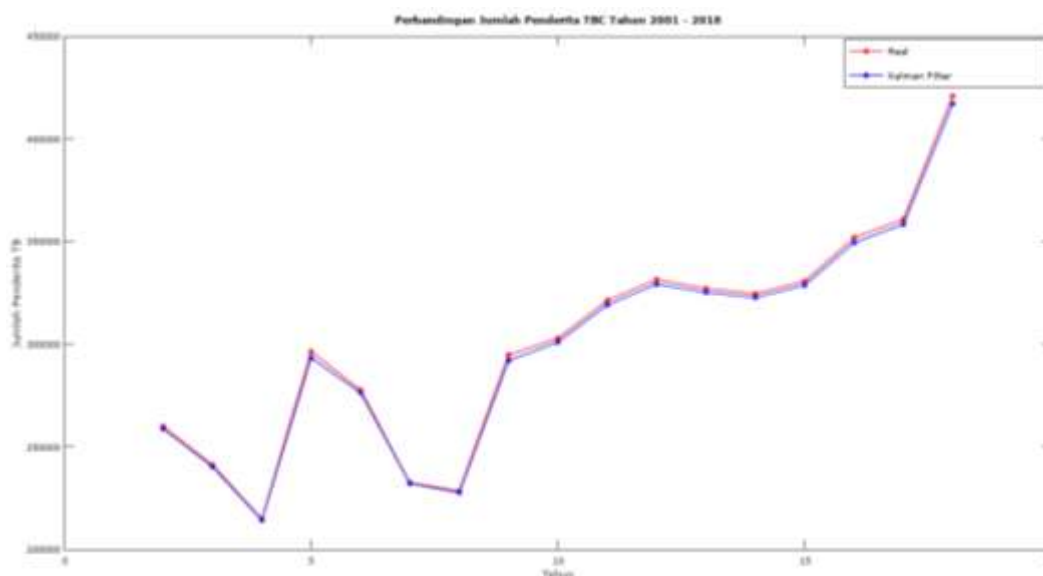
c. Kovariansi *Error*

$$\left(\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} K_1 & 0 \\ 0 & K_2 \end{bmatrix}_{k+1} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}_{k+1} \right) \quad (18)$$

2. Hasil Simulasi

i. Simulasi Prediksi Penderita TBC Tahun 2001 – 2018

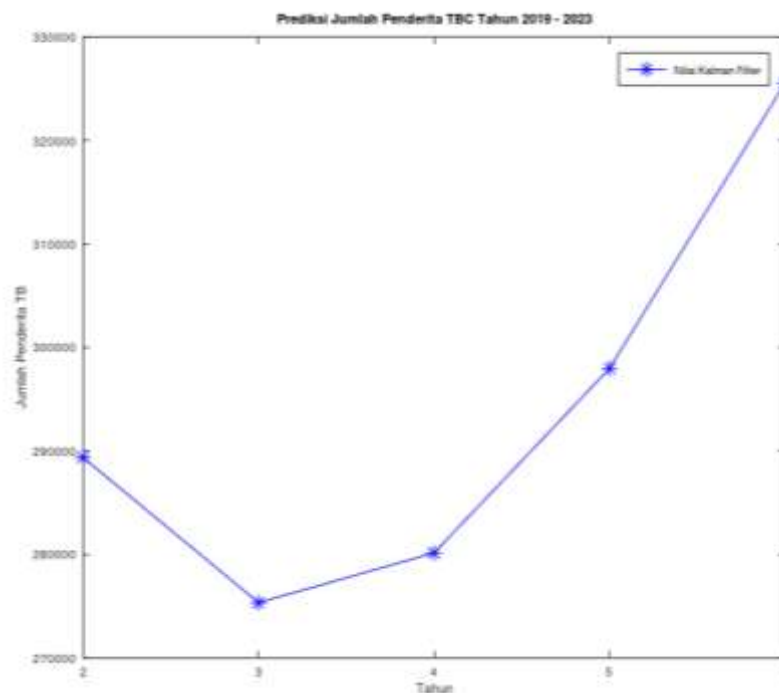
Sebelum dilakukan prediksi penderita TBC di Indonesia, peneliti melakukan pengujian dengan menggunakan data real pada tahun 2001 hingga 2018. Berdasarkan hasil simulasi pada Gambar 1 terlihat bahwa nilai prediksi tuberkulosis tahun 2001 – 2018 hampir mendekati nilai sebenarnya. Grafik tersebut menunjukkan adanya penurunan di tahun 2001 – 2004 dan di tahun selanjutnya terlihat adanya kenaikan. Dari hasil prediksi yang diperoleh selanjutnya dilakukan perhitungan *Error* dengan menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) dan hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa prediksi jumlah penderita TBC di tahun 2001 – 2018 memiliki rata – rata kesalahan *Error* sebesar 0.03 %. Jadi, hasil prediksi *Kalman Filter* terhadap penderita TBC tahun 2001 – 2018 dapat dikatakan akurat karena memiliki rata-rata kesalahan *Error* kurang dari 1%.



Gambar 1. Prediksi Penderita TBC Tahun 2001-2018 dengan Kalman Filter

ii. Prediksi Penderita TBC 5 Tahun Mendatang

Hasil prediksi dari simulasi penderita tuberkulosis di Indonesia untuk 5 tahun mendatang dapat dilihat pada Gambar 2 berikut yang menunjukkan kecenderungan penurunan jumlah penderita pada tahun 2019 hingga 2021, walaupun jumlah tersebut mengalami kenaikan hingga tahun 2023.



Gambar 2. Prediksi Jumlah Penderita TBC di Indonesia pada Tahun 2019-2023

Penutup

Kesimpulan

1. Algoritma Kalman Filter dapat digunakan untuk melakukan prediksi jumlah penderita TBC di Indonesia dengan menggunakan data real maupun dengan model state.
2. Hasil prediksi jumlah penderita TBC dengan data real tahun 2001-2018 menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi yaitu nilai error MAPE 0.03 %.
3. Prediksi jumlah penderita TBC tahun 2019-2023 mengalami penurunan di tahun 2020 yang kemudian mengalami kenaikan hingga tahun 2023

Saran

Prediksi jumlah penderita TBC dapat dilakukan dengan menggunakan metode prediksi lain untuk dapat dilakukan perbandingan hasil prediksi.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) UISI atas dukungan yang diberikan kepada peneliti dalam menunjang berlangsungnya penelitian ini dengan baik

Daftar Pustaka

- [1] Aslam, Muhammad. (2020). Using the kalman filter with Arima for the COVID-19 pandemic dataset of Pakistan. *Data in Brief*;105854. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105854>.
- [2] Expat. Tuberculosis. Tuberculosis in Indonesia - Health and Medical Concerns (expat.or.id) diakses tanggal 22 Mei 2021.
- [3] Hadianto, A. M. (2015). Perbandingan Metode Extended Kalman Filter dan Unscented Kalman Filter pada Estimasi Model Predator-Prey Lotka-Volterra. Jember: Universitas Jember.
- [4] Herdiani, E. T., Nuravia, Amran, & Thamrin, S. A. (2010). Aplikasi Kalman Filter Pada Data Survival. *Jurnal Matematika, Statistika dan Komputasi* ,2, 72-85.
- [5] Kementerian Kesehatan RI. (2017). Pusdatin KemenKes RI 2017. <https://pusdatin.kemkes.go.id/> diakses tanggal 23 Agustus 2019.
- [6] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. 2018. Indonesia, National TB Program. https://www.who.int/tb/features_archive/indonesia_11apr18.pdf diakses tanggal 22 Mei 2021.
- [7] Kalmanfilter.net. 2021. Kalman Filter in One Dimension. <https://www.kalmanfilter.net> diakses 20 September 2021.
- [8] Lewis, J. M., Laksmivarahan, S. dan Dhall, S. (2006), *Dynamic Data Assimilation, A Least Square Approach*, Cambridge University Press, New York.
- [9] Manalu, & Putra, H. S. (2010). Faktor - Faktor Yang Mempengaruhi Kejadian Tuberkulosis Paru & Upaya Penanggulangannya. *Ekologi Kesehatan* , *Ix* (4), 1340-1346.
- [10] Ngatini, E. Apriliani, and H. Nurhadi. (2017). "Ensemble and Fuzzy Kalman Filter for position estimation of an autonomous underwater vehicle based on dynamical system of AUV motion," *Expert Syst. Appl.*, vol. 68, pp. 29–35, Feb. 2017, doi: 10.1016/j.eswa.2016.10.003.
- [11] Ngatini dan H. Nurhadi. 2019. Estimasi Lintasan AUV 3 Dimensi (3D) dengan ensemble Kalman Filter. *Jurnal Inovtek Polbeng-Seri Informatika* Vol. 4 No.1 Hal. 12-21.

- [12] Setyaningtyas, Ratna. (2019). Faktor-faktor yang Berhubungan dengan Kejadian Tuberculosis Paru pada Anak di RSUD Panembahan Senopati Bantul Tahun 2019. Skripsi Prodi Sarjana Terapan Alih Jenjang Jurusan Kebidanan Politeknik Kesehatan Kementerian Kesehatan Yogyakarta.
- [13] Song, J., Xie, H., Gao, B., Zhong, Y., Gu, C., Choi, K. (2021). Maximum likelihood-based extended Kalman filter for COVID-19 prediction. *Chaos, Solitons and Fractals* ;146;110922. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2021.110922>.
- [14] USAID. Indonesia Tuberculosis Roadmap Overview, Fiscal Year 2021. 2020. <https://www.usaid.gov/global-health/health-areas/tuberculosis/resources/news-and-updates/global-accelerator-end-tb/tb-roadmaps/indonesia> diakses tanggal 22 Mei 2021.
- [15] Zach. (2020). How to Calculate Mean Absolute Percentage Error (MAPE) in Excel. <https://www.statology.org> diakses tanggal 21 September 2021.