

# MODEL SIR UNTUK PENYEBARAN TUBERKULOSIS DI KABUPATEN JEPARA

Muhammad Faudzi Bahari<sup>a,\*</sup>, Sabbaha Sinai Lillah<sup>b</sup>, Azizatul Zahro<sup>c</sup>, Mita Puspita Sari<sup>d</sup>

<sup>abcd</sup>Universitas Muhammadiyah Kudus  
Jl. Ganesha 1 Purwosari Kudus Indonesia  
Email : [muhammadfaudzi@umkudus.ac.id](mailto:muhammadfaudzi@umkudus.ac.id)

## Abstrak

Tuberculosis (TBC) atau TB adalah penyakit menular yang disebabkan oleh infeksi bakteri Mycobacterium Tuberculosis yang pada umumnya menyerang paru-paru. Tuberculosis juga terjadi di Kabupaten Jepara. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis penyebaran penyakit tuberculosis di Kabupaten Jepara. Salah satu analisis yang dapat dilakukan adalah membuat model matematis dari penyebaran tuberculosis di Kabupaten Jepara menggunakan model SIR. Model matematika SIR menggambarkan individu yang tidak terinfeksi dan rentan yang terinfeksi dan dapat menularkan penyakit ke jumlah individu lain (menular) dan individu yang sembuh atau bebas dari penyakit (Dipulihkan). Tahun 2020 sampai dengan tahun 2021 menurut Profil Kesehatan Kabupaten Jepara penyebaran tuberculosis yang terjadi mengalami peningkatan pada semua kasus yaitu jumlah penderita tuberculosis di Kabupaten Jepara mencapai pasien, dan jumlah orang yang sembuh mencapai rakyat. Berdasarkan analisis model SIR diperoleh titik ekuilibrium  $(S,I) = (\frac{\beta+\delta}{\alpha}, \frac{A}{\beta+\delta})$  akan stabil bila  $R_0 > 1$ , dengan kesimpulan akhir diperoleh laju reproduksi dasar, yaitu  $R_0 = 5,02597$  yang menunjukkan bahwa satu orang yang terinfeksi rata-rata dapat menularkan kepada 0 orang atau individu yang rentan terhadap tuberculosis.

**Kata Kunci :** Model Epidemologi SIR, Tuberculosis, Titik Ekuilibrium, Analisis Stabilitas

## Abstract

*Tuberculosis (TBC) or TB is an infectious disease caused by infection with the Mycobacterium tuberculosis bacteria which generally attacks the lungs. Tuberculosis also occurs in Jepara Regency. Therefore, the purpose of this study was to analyze the spread of tuberculosis in Jepara District. One of the analyzes that can be done is to make a mathematical model of the spread of tuberculosis in Jepara Regency using the SIR model. The SIR mathematical model describes uninfected and susceptible individuals who are infected and can transmit the disease to a number of other individuals (infected) and individuals who are cured or free of disease (Recovered). From 2020 to 2021, according to the Health Profile of Jepara Regency, the spread of tuberculosis has increased in all cases, namely the number of tuberculosis sufferers in Jepara Regency reached patients, and the number of people who recovered reached the people. Based on the analysis of the SIR model, the equilibrium point  $(S,I) = (\frac{\beta+\delta}{\alpha}, \frac{A}{\beta+\delta})$  will be stable if  $R_0 > 1$ , with the final conclusion that the basic reproduction rate is obtained, namely  $R_0 = 5,02597$  which indicates that one infected person can infect an average of 0 people or individuals who are susceptible to tuberculosis.*

**Keywords:** SIR Epidemic Model, Tuberculosis, Equilibrium Point, Stability Analysis

## I. PENDAHULUAN

Tuberculosis (TBC) atau TB adalah penyakit menular yang disebabkan oleh infeksi bakteri Mycobacterium Tuberculosis yang pada umumnya menyerang paru-paru. Bahkan penyakit TBC sampai saat ini masih

menjadi masalah kesehatan global (Rahmawati & Rosita, 2021). Diketahui pada tahun 2016 Indonesia termasuk dari lima negara dengan insiden tertinggi kasus TBC dunia (Januarti & Ariesta, 2022). Penyakit ini dapat menyebar ketika seseorang tidak

sengaja menghirup percikan ludah atau droplet pengidap TBC. Namun tidak hanya menyerang paru-paru, TBC juga dapat menyerang organ lain selain paru-paru yang disebut ekstra paru (Aini et al., 2017).

Salah satu faktor penyebab terjangkit Tuberkulosis yaitu tidak tersedia atau kurangnya ventilasi di tempat tinggal yang menyebabkan kurangnya sinar matahari yang masuk ke dalam rumah sehingga mengakibatkan keadaan rumah menjadi pengap dan lembab (Aini et al., 2017). Tidak hanya itu, status gizi dan kebersihan di lingkungan tempat tinggal menambah resiko terpapar TBC (Lestari Muslimah, 2019). Penyebab lain seseorang bisa terpapar Mycobacterium Tuberculosis yakni lamanya waktu kontak atau intensitas kontak dengan penderita TBC paru (Kristini & Hamidah, 2020). Gejala TBC secara umum batuk terus menerus, batuk darah, demam, lemah, rasa sakit pada paru-paru, infeksi yang tidak kunjung sembuh, menggigil di malam hari, kelelahan, urin kemerahan (Santika Dyni, 2020).

Penyakit Tuberkulosis dapat disembuhkan dengan pengobatan teratur diawasi oleh pengawasan minum obat (PWO) (Alfian et al., 2021). Bahkan jika pasien TBC tidak minum obat teratur bisa disebut sebagai TBC DO yang berarti sebagai pasien TBC yang tidak patuh minum obat, tidak meminum obat sama dua bulan berturut-turut atau pasien menghentikan pengobatan sendiri tanpa instruksi dokter (Himawan et al., 2015). Selain berdampak pada individu juga berdampak pada keluarga penderita, yaitu dampak psikologis berupa kecemasan, penurunan dukungan dan kepercayaan diri yang rendah (Kristini & Hamidah, 2020).

Menurut laporan Kementerian Kesehatan (Kemenkes), terdapat 385.295 kasus TBC yang ditemukan dan diobati di Indonesia sepanjang 2021. Jumlah tersebut turun 2,04% dari tahun sebelumnya. Pada 2020, tercatat jumlah kasus TBC yang ditemukan dan diobati sebanyak 393.323 kasus di Indonesia. Namun pada penelitian ini akan dilakukan analisis penyebaran penyakit TBC di Kabupaten Jepara. Dari hasil data yang didapatkan jumlah penderita penyakit

Tuberkulosis di kabupaten Jepara semakin tahun mengalami penurunan pada tahun 2020 berjumlah 912 jiwa dan pada tahun 2021 berjumlah 767 jiwa.

Beberapa penelitian dilakukan untuk mengetahui potensi penularan tuberkulosis paru pada anggota keluarga penderita (Kristini & Hamidah, 2020). Penelitian tentang keadaan lingkungan fisik juga dilakukan untuk mengetahui dampaknya pada keberadaan Mycobacterium Tuberculosis (Lestari Muslimah, 2019). Ada juga penelitian terkait gambaran karakteristik kejadian HIV / AIDS dan TB paru di kawasan industri kabupaten jepara bagian selatan (Masruroh et al., 2020). Beberapa ahli matematika melakukan penelitian tentang pemodelan untuk meningkatkan pengetahuan tentang TBC (Amanda et al., 2020), (Organization, 2022), (Sangapate et al., 2022), (Wahid et al., 2022). Selain itu, terdapat penelitian model SIR untuk persebaran penyakit tuberkulosis (Bahari et al., 2022), (Ucakan et al., 2021), (Side et al., 2018), (Nasution et al., 2021), (Siregar et al., 2019), (Khaerunnisa et al., 2022). Pada penelitian ini, kami membuat sebuah model SIR untuk mengetahui persebaran penyakit Tuberkulosis di Kabupaten Jepara.

## II. LANDASAN TEORI DAN METODE PENELITIAN

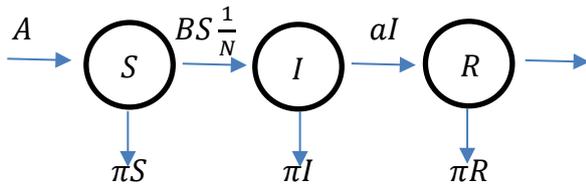
### A. Perumusan Model

Penelitian kami bertujuan untuk mengetahui penyebaran penyakit Tuberkulosis menggunakan model SIR. Sehingga pemodelan total populasi dibagi menjadi tiga kelompok. Kelompok pertama adalah mereka yang belum terinfeksi oleh virus TBC yang disebut sebagai kelompok rentan. Kelompok kedua adalah mereka yang terinfeksi oleh virus TBC. Kelompok ketiga adalah mereka yang sembuh atau meninggal setelah terinfeksi virus TBC.

Kami berasumsi bahwa tidak ada imigrasi atau kelahiran dan kematian murni, jadi jumlah Orang yang belum terinfeksi tidak akan bertambah. Kelompok kedua merupakan kelompok yang terinfeksi akan dipengaruhi oleh jumlah kontak antara

kelompok pertama (orang yang belum terinfeksi) dan kelompok kedua (orang yang saat ini terinfeksi) dan jumlah orang yang pulih atau meninggal setelah terinfeksi. Kelompok terakhir hanya akan terpengaruh dengan jumlah orang yang sembuh atau meninggal setelah terinfeksi virus TBC.

Berdasarkan penjelasan di atas, kami sajikan rumusan di atas ke dalam diagram sebagai berikut.



Gambar 1. Ilustrasi Model SIR

Dari ilustrasi di atas, diperoleh model SIR sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= A - \beta SI - \delta S \\ \frac{dI}{dt} &= \beta SI - aI - \delta I \\ \frac{dR}{dt} &= aI - \delta R \end{aligned}$$

**B. Notasi**

Berikut diberikan notasi:

- S = individu yang rentan terhadap TBC.
- I = jumlah orang yang terinfeksi TBC.
- R = jumlah individu yang sembuh dari Tuberkulosis.
- A = Tingkat kelahiran atau migrasi.
- β = tingkat penularan tuberkulosis.
- α = Tingkat kesembuhan untuk TBC.
- δ = Tingkat kematian tuberculosis.
- λ = Nilai eigen.
- R<sub>0</sub> = Nomor reproduksi dasar.

**C. Algoritma**

1. Persamaan diferensial linier.  
Bentuk umum persamaan diferensial nonlinier dapat ditulis secara sistematis  
$$\dot{x} = f(x)$$
2. Kestabilan ekuilibrium poin  
Titik ekuilibrium  $\bar{x}$  dikatakan
  - a. Stabil jika untuk setiap  $\epsilon > 0$  ada  $\delta > 0$  sedemikian rupa

- sehingga  $\|x_0 - \bar{x}\| < \delta$  kemudian  $\|x(t, x_0) - \bar{x}\| < \epsilon$ .
- b. Stabil tanpa gejala jika titik ekuilibrium stabil dan ada  $\delta_I > 0$  sedemikian rupa sehingga jika  $\|x_0 - \bar{x}\| < \delta_I$  lalu  $\lim_{t \rightarrow \infty} \|x_0 - \bar{x}\| = 0$ .
  - c. Tidak stabil jika titik ekuilibrium tidak memenuhi (a).

3. Linearisasi

Persamaan diferensial  
$$\dot{x} = Ax$$
  
dan matriks Jacobian.

4. Nilai Eigen

Nilai eigen matriks A adalah akar karakteristik polinomial  $det(A - \lambda I) = 0$  atau ditulis dalam bentuk

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_m}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_m}{\partial x_m} \end{bmatrix}$$

Nilai eigen yang berbeda dari persamaan karakteristik adalah  $\lambda_1, \dots, \lambda_j; j \leq n$ .

Titik ekuilibrium  $\bar{x}$  dinyatakan:

- a. Stabil, jika  $\lambda_i < 0$  dan ada  $\lambda_k = 0$  dengan  $i = 1, \dots, j$  dan  $k \leq j$ .
- b. Stabil tanpa gejala, jika  $\lambda_i < 0, \forall i = 1, \dots, j$ .
- c. Tidak stabil, jika,  $\exists \lambda_i > 0, \forall i = 1, \dots, j$ .

**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Analisis Data Deskriptif Model Epidemi Tuberkulosis**

Data tuberkulosis yang digunakan adalah data penduduk Kabupaten Jepara, data jumlah penderita Tuberkulosis dan data jumlah pasien yang sembuh dari TBC yang terjadi di Kabupaten Jepara pada tahun 2020 dan 2021 sebagai analisis awal untuk menentukan parameter model epidemi Tuberkulosis. Di bawah ini kami berikan data kasus penyakit TBC dan populasi di Kabupaten Jepara.

Tabel Jumlah Kasus Penyakit TBC di Kabupaten Jepara Tahun 2020 – 2021

Thn	Jumlah Kasus yang Ditemukan		
	Rentan TBC	Terinfeksi TBC	Sembuh TBC
2020	1.184.947	912	864
2021	1.188.510	767	695

Tabel di atas menunjukkan jumlah penduduk Kabupaten Jepara tahun 2020 sebanyak 1.184.947 orang, ditulis  $N = 1.184.947$  dengan asumsi bahwa populasi awal rentan terhadap tuberkulosis adalah 1.184.947, ditulis  $S(0) = S(2020) = 1.184.947$ . Kemudian total populasi di 2021 adalah 1.188.510 orang dengan asumsi bahwa populasi setelah 1 tahun yang rentan terhadap tuberkulosis 1.188.510, ditulis  $S(2021) = 1.188.510$ .

Data jumlah pasien Tuberkulosis di Kabupaten Jepara pada tahun 2020 sebanyak 912 orang, ditulis  $I(t) = 912$  dengan asumsi bahwa jumlah pasien yang terinfeksi TBC adalah 912, ditulis  $I(0) = I(2020) = 912$ . Kemudian jumlah pasien terinfeksi Tuberkulosis pada tahun 2021 sebanyak 767 orang, dapat ditulis  $I(2021) = 767$ .

Selanjutnya, data jumlah pasien sembuh dari TBC di Kabupaten Jepara tahun 2020 sebanyak 864 orang, ditulis  $R = 864$  dengan asumsi bahwa jumlah pasien sembuh dari TBC adalah 864, ditulis  $R(0) = R(2020) = 864$ . dan 695 orang sembuh dari TBC tahun 2021, dapat ditulis  $R(2021) = 695$ .

**B. Asumsi dan Parameter Model Epidemi Tuberkulosis**

Berdasarkan data dinas kesehatan Jawa Tengah tahun 2020 dan 2021 dapat diasumsikan bahwa penyakit tuberculosis di Kab Jepara menggunakan model epidemi SIR adalah sebagai berikut:

1. Kami berasumsi bahwa tidak ada imigrasi atau kelahiran dan kematian murni, jadi jumlah orang yang belum terinfeksi tidak akan bertambah atau berkurang.
2. Peningkatan jumlah individu yang terinfeksi dan individu yang rentan tertular TBC.
3. Peningkatan angka individu yang pulih dari TBC.

4. Individu yang sembuh tidak dapat rentan tertular TBC lagi.

Selanjutnya, asumsi di atas dibentuk oleh model epidemi SIR terhadap TBC, yaitu:

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = A - \alpha SI \\ \frac{dI}{dt} = \alpha SI - (\beta + \delta)I \end{cases}$$

Dengan deskripsi individu yang rentan terhadap Tuberkulosis ( $S$ ) dan individu terinfeksi Tuberkulosis ( $I$ ), tingkat kelahiran atau migrasi ( $A$ ). Sementara parameternya untuk angka kesembuhan ( $\alpha$ ), penularan tuberkulosis ( $\beta$ ), dan angka kematian akibat TBC ( $\delta$ ).

Data populasi awal Kabupaten Jepara yang rentan tuberkulosis  $S(0) = S(2020) = 1.184.947$  dan  $S(2021) = 1.188.510$  maka jumlah penduduk yang sembuh dari tuberkulosis  $R(2021) = 767$ , sehingga dapat disubstitusi menjadi jumlah individu yang rentan terhadap TBC ( $S$ ),

$$S(t) = S(0)e^{\left(\frac{a}{\beta+\delta}\right)R(t)}$$

dengan  $S(t)$ , yaitu jumlah rentan TBC,  $S(0)$  jumlah awal populasi dan  $R(t)$  jumlah pasien pengidap TBC yang telah sembuh, diperoleh

$$\frac{a}{\beta + \delta} = 43 \times 10^{-7}$$

dengan tingkat transmisi  $\beta = 4,3 \times 10^{-6}$ . Dengan asumsi tingkat pemulihan dalam 10 tahun adalah  $a = \delta = \frac{1}{10}$  maka  $a = 10^{-1} = 0,1$ . Akibatnya model epidemi SIR yang terinfeksi TBC di Kabupaten Jepara adalah

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = 1.184.947 - 4,3 \times 10^{-6} S(t)I(t) \\ \frac{dI}{dt} = 4,3 \times 10^{-6} S(t)I(t) - 0,1I(t) \end{cases}$$

**IV. Titik Ekuilibrium Model Epidemi Tuberkulosis**

Dari sistem model epidemi SIR penyebaran penyakit TBC di Kabupaten Jepara, dapat ditentukan nilai titik ekuilibrium. Jika  $S(t)$  dan  $I(t)$  masing-masing menyatakan jumlah individu dalam setiap subpopulasi pada waktu  $t$ , kemudian dari sistem di atas diperoleh:

$$\frac{dS}{dt} = 0 \text{ dan } \frac{dI}{dt} = 0$$

Sehingga

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = 1.184.947 - 4,3 \times 10^{-6}SI \\ \frac{dI}{dt} = 4,3 \times 10^{-6}SI - 0,1I \end{cases}$$

dan jika  $I \neq 0$ , dengan persamaan 2, maka  $4,3 \times 10^{-6}S - 0,1 = 0$  diperoleh  $S = 23.256$ . Kemudian disubstitusikan ke persamaan 1 maka menjadi  $1.184.947 - 4,3 \times 10^{-6}S(t)I(t) = 0$  diperoleh  $I = 11.849.470$ , sehingga kita peroleh nilai titik ekuilibriumnya  $(S, I) = (23256, 11849470)$ .

**C. Analisis Stabilitas Titik Ekuilibrium Model Epidemi Tuberkulosis**

Diketahui bahwa titik ekuilibrium model epidemi pada penyebaran TBC di Kabupaten Jepara adalah  $(S, I) = (23256, 11849470)$ . Kemudian tentukan analisis stabilitas titik ekuilibrium dengan contoh

$$\frac{dS}{dt} = f_1(S, I) \text{ dan } \frac{dI}{dt} = f_2(S, I)$$

Jadi,

$$\begin{cases} f_1(S, I) = 1.184.947 - 4,3 \times 10^{-6}SI = 0 \\ f_2(S, I) = 4,3 \times 10^{-6}SI - 0,1I = 0 \end{cases}$$

Diperoleh linearisasi persamaan menggunakan bentuk matriks jacobian

$$Jf(S, I) = \begin{bmatrix} \frac{df_1(S, I)}{dS} & \frac{df_1(S, I)}{dI} \\ \frac{df_2(S, I)}{dS} & \frac{df_2(S, I)}{dI} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -4,3 \times 10^{-6}I & -4,3 \times 10^{-6}S \\ 4,3 \times 10^{-6}I & 4,3 \times 10^{-6}S - 0,1 \end{bmatrix}$$

Kemudian kita dapatkan titik ekuilibrium matriks jacobian dengan  $(S, I) = (23256, 11849470)$ , yaitu

$$\begin{bmatrix} -50,95 & -0,1 \\ 50,95 & 0 \end{bmatrix}$$

Berdasarkan matriks jacobian, persamaan karakteristik diperoleh:

$$\lambda^2 + 50,95\lambda + 50,95 = 0$$

Sehingga diperoleh eigenvalue yaitu  $\lambda_1 = -49,92956$  dan  $\lambda_2 = -1,02044$  dengan  $\lambda_1 < 0$  dan  $\lambda_2 < 0$  maka kita mendapatkan titik ekuilibrium  $(S, I) = (23256, 11849470)$  stabil. Ini menunjukkan bahwa untuk jumlah individu yang rentan dan jumlah individu yang terinfeksi sangat kecil, hal ini merupakan kondisi yang diharapkan karena akan menuju kondisi yang bebas penyakit TBC.

**D. Angka reproduksi dasar**

Sistem titik ekuilibrium persamaan yaitu  $S, I = \frac{\beta+\delta}{\alpha}, \frac{A}{\beta+\delta}$  dari persamaan titik ekuilibrium,  $\beta A$  diperoleh di mana angka reproduksi dasar dipengaruhi oleh tingkat kelahiran dan tingkat penularan TBC.

$$R_0 = abA = (4,3 \times 10^{-6})11849470 = 5,09527$$

Diperoleh rata-rata 5 orang yang terinfeksi dan menginfeksi mereka yang rentan untuk TBC.

**E. Solusi Numerik**

Berdasarkan model SIR yang digunakan pada bagian sebelumnya, kami melakukan simulasi untuk memprediksi tingkat penyebaran penyakit menular tuberkulosis selama 15 tahun ke depan.

**V. KESIMPULAN**

Kesimpulan dari penelitian ini adalah

1. Berdasarkan analisis data deskriptif penduduk Kabupaten Jepara dan jumlah individu yang terinfeksi Tuberkulosis pada tahun 2020 dan 2021, ditemukan bahwa Asumsi dalam penelitian ini, sebagai berikut:
  - a. Pada penduduk terdapat angka kelahiran pada penduduk awal Kabupaten Jepara.
  - b. Peningkatan jumlah individu yang terinfeksi dan individu yang rentan terhadap tertular TBC.
  - c. Peningkatan tingkat individu yang pulih dari TBC.
  - d. Individu yang sembuh tidak dapat rentan tertular TBC lagi.

2. Berdasarkan penelitian ini, diperoleh angka reproduksi dasar  $R_0 = 5,09527$ , yang menunjukkan bahwa satu orang yang terinfeksi dapat menginfeksi rata-rata 28 orang.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aini, N., Ramadiani, R., & Hatta, H. R. (2017). Sistem Pakar Pendiagnosa Penyakit Tuberkulosis. *Informatika Mulawarman: Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, 12(1), 56. <https://doi.org/10.30872/jim.v12i1.224>
- Alfian, D., Susanti, N., Amalia, R., & Alhidayati, A. (2021). Pelaksanaan Promosi Kesehatan Dalam Penanggulangan Penyakit Tuberkulosis. *Jurnal Kesehatan Komunitas*, 7(1), 57–63. <https://doi.org/10.25311/keskom.vol7.iss1.727>
- Amanda, E., Elveny, M., & Syah, R. (2020). Strategic DOTS to increase medical knowledge for the treatment of tb patients. *Journal of Cardiovascular Disease Research*, 11(4), 296–301. <https://doi.org/10.31838/jcdr.2020.11.04.53>
- Bahari, M. F., Utami, R., & Rosyida, A. (2022). SIR Model for the Spread of Tuberculosis in Kudus Regency. *World Scientific News*, 163(October 2021), 128–138.
- Himawan, A. B., Hadisaputro, S., & Suprihati. (2015). Berbagai faktor risiko kejadian TB paru drop out. *Jurnal Publikasi Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 2(1), 57–63.
- Januarti, L. F., & Ariesta, T. M. (2022). *The Relationship of The Nurse's Role as Educator with The Behavior of The Internal Family Transmission Prevention Pulmonary Tuberculosis (TB)*. 13 No.2(1166), 97–109. <https://stikes-nhm.e-journal.id/NU/article/view/779>
- Khaerunnisa, N. A., Nasution, Y. N., & Huda, M. N. (2022). *Analisis Kestabilan Model Epidemik SEI Pada Penyebaran Penyakit Tuberkulosis*. 1(1), 16–29. <http://jurnal.fmipa.unmul.ac.id/index.php/basis>
- Kristini, T., & Hamidah, R. (2020). Potensi Penularan Tuberculosis Paru pada Anggota Keluarga Penderita. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 15(1), 24. <https://doi.org/10.26714/jkmi.15.1.2020.24-28>
- Lestari Muslimah, D. D. (2019). Physical Environmental Factors and Its Association with the Existence of Mycobacterium Tuberculosis: A Study in The Working Region of Perak Timur Public Health Center. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 11(1), 26. <https://doi.org/10.20473/jkl.v11i1.2019.26-34>
- Masruroh, Verawati, B., & Wijayanti, H. N. (2020). Gambaran Karakteristik Kejadian HIV/ AIDS dan TB Paru di Kawasan Industri Kabupaten Jepara Bagian Selatan. *Journal of TSJKeb*, 5(2), 36–41. <http://ejournal.annurpurwodadi.ac.id/index.php/TSCBid>
- Nasution, H., Sitompul, P., & Sinaga, L. P. (2021). Effect of the Vaccine on the Dynamics of Speread of Tuberculosis SIR Models. *Journal of Physics: Conference Series*, 1819(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1819/1/012062>
- Organization, W. H. (2022). Rapid Communication: Key changes to the treatment of drug-resistant tuberculosis. *World Health Organization, WHO/UCN/TB/2022.2.*, 6. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/275383%0Ahttp://apps.who.int/bookorders>.
- Rahmawati, I., & Rosita, D. (2021). Hubungan Pemberian Imunisasi Bcg Dan Asi Eksklusif Dengan Kejadian Tuberkulosis Pada Bayi Umur 6-12 Bulan Di Puskesmas Jepara. *Jurnal Kesehatan Midwinerslion*, 6(1), 67–71. <https://ejournal.stikesbuleleng.ac.id/index.php/Midwinerslion>

- Sangapate, P., Tangjuang, P., & Somsila, C. (2022). Stability Analysis and Adaptive Control of Spreading Tuberculosis Disease. *International Journal of Mathematics and Computer Science*, 17(1), 231–242.
- Santika Dyni, W. (2020). Pemetaan Data Persebaran Penderita Penyakit Tuberkulosis Berbasis Sistem Informasi Geografis Tahun 2016-2017 Di Kabupaten Jepara. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Side, S., Utami, A. M., Sukarna, & Pratama, M. I. (2018). Numerical solution of SIR model for transmission of tuberculosis by Runge-Kutta method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1040(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1040/1/012021>
- Siregar, B., Rangkuti, Y., & Mansyur, A. (2019). *Numerical Solution of Delayed SIR Model of Tuberculosis with Combination of Runge Kutta Method and Taylor Series Approach*. <https://doi.org/10.4108/eai.18-10-2018.2287390>
- Ucakan, Y., Gulen, S., & Koklu, K. (2021). Analysing of Tuberculosis in Turkey through SIR, SEIR and BSEIR Mathematical Models. *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*, 27(1), 179–202. <https://doi.org/10.1080/13873954.2021.1881560>
- Wahid, B. K. A., Moustapha, D., & Bisso, S. (2022). Mathematical Analysis and Simulation of an Age-Structured Model with Two-Patch and an Uncontrolled Migration: Application to Tuberculosis. *European Journal of Pure and Applied Mathematics*, 15(4), 2054–2073. <https://doi.org/10.29020/nybg.ejpam.v15i4.4556>