

**PEMODELAN MATEMATIKA PADA PENYEBARAN PENYAKIT
TUBERKULOSIS DENGAN *MULTIDRUG RESISTANCE EFFECTS***

SKRIPSI



**UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A**

Disusun Oleh
DIAN PUSPITA SARI
09010221006

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL
SURABAYA**

2025

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : DIAN PUSPITA SARI

NIM : 09010221006

Program Studi : Matematika

Angkatan : 2021

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan skripsi saya yang berjudul "PEMODELAN MATEMATIKA PADA PENYEBARAN PENYAKIT TUBERKULOSIS DENGAN *MULTIDRUG RESISTANCE EFFECTS*". Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan tindakan plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 10 Januari 2025

Yang menyatakan,



DIAN PUSPITA SARI

NIM. 09010221006

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi oleh

Nama : DIAN PUSPITA SARI
NIM : 09010221006
Judul Skripsi : PEMODELAN MATEMATIKA PADA PENYEBARAN
PENYAKIT TUBERKULOSIS DENGAN *MULTIDRUG
RESISTANCE EFFECTS*

telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan.

Pembimbing I



Aris Fanani, M.Kom.
NIP. 198701272014031002

Pembimbing II



Ahmad Hanif Asyhar, M.Si.
NIP. 198601232014031001

Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika
UIN Sunan Ampel Surabaya



Yuniar Farida, M.T.
NIP. 197905272014032002

PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI

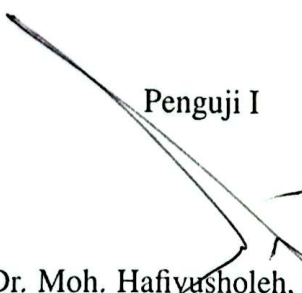
Skripsi oleh

Nama : DIAN PUSPITA SARI
NIM : 09010221006
Judul Skripsi : PEMODELAN MATEMATIKA PADA PENYEBARAN
PENYAKIT TUBERKULOSIS DENGAN *MULTIDRUG
RESISTANCE EFFECTS*

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji
pada tanggal 20 Desember 2024

Mengesahkan,
Tim Penguji

Penguji I


Dr. Moh. Hafiyusholeh, M.Si., M.PMat.
NIP. 198002042014031001

Penguji II


Wika Dianita Utami, M.Sc.
NIP. 199206102018012003

Penguji III


Aris Fanani, M.Kom.
NIP. 198701272014031002

Penguji IV


Ahmad Hanif Asyhar, M.Si.
NIP. 198601232014031001

Mengetahui,
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Ampel Surabaya

Dr. A. Saepul Hamdani, M.Pd.
NIP. 196507312000031002



UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA
PERPUSTAKAAN

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax. 031-8413300
E-Mail: perpustakaan@uinsby.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : DIAN PUSPITA SARI
NIM : 09010221006
Fakultas/Jurusan : FST / MATEMATIKA
E-mail address : dianpspta@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

☒ Skripsi ☐ Tesis ☐ Desertasi ☐ Lain-lain (.....)

yang berjudul :

PEMODELAN MATEMATIKA PADA PENYEBARAN PENYAKIT
TUBERKULOSIS DENGAN MULTIDRUG RESISTANCE EFFECTS

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara *fulltext* untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 10 JANUARI 2025

Penulis

(DIAN PUSPITA SARI)
nama terang dan tanda tangan

ABSTRAK

PEMODELAN MATEMATIKA PADA PENYEBARAN PENYAKIT TUBERKULOSIS DENGAN *MULTIDRUG RESISTANCE EFFECTS*

Tuberkulosis (TBC) merupakan salah satu penyakit menular yang disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium tuberculosis* dengan menyerang paru-paru maupun organ tubuh lainnya. Di Jawa Timur jumlah kasus TBC mencapai 87.048 dengan hanya 53% kabupaten/kota yang mencapai target keberhasilan pengobatan sebesar 90%. Salah satu tantangan utama dalam pengendalian TBC yaitu resistensi obat salah satunya *Multidrug-Resistant Tuberculosis* (MDR-TB), dengan upaya pencegahan yang dilakukan melalui vaksinasi BCG dan pengobatan dengan Obat Anti Tuberkulosis (OAT). Penelitian ini akan memodelkan penyebaran TBC di Jawa Timur dengan membagi populasi menjadi tujuh sub-populasi: rentan (*Susceptible*), divaksinasi (*Vaccinated*), terpapar (*Exposed*), terinfeksi (*Infected*), menjalani pengobatan (*Treatment*), resisten (*Resistant*), dan sembuh (*Recovered*) dengan sumber data diperoleh dari Dinas Kesehatan Provinsi Jawa Timur. Hasil analisis menunjukkan bahwa model matematika SVEITResR stabil asimtotik pada titik kesetimbangan kondisi endemik dengan $E_1 = (33.951.569; 1.212.907; 230.497; 121.715; 60.857; 27.541; 68.331)$ dan tidak stabil pada kondisi bebas penyakit dengan $E_0 = (37.301.726; 1.212.907; 0; 0; 0; 0; 0)$, serta menghasilkan nilai bilangan reproduksi dasar (R_0) sebesar 1.0987 mengindikasikan penyebaran tuberkulosis di wilayah Jawa Timur berpotensi mewabah. Simulasi numerik menggunakan *Runge-Kutta* Orde 4 memproyeksikan penurunan yang signifikan pada jumlah individu terpapar setelah tahun 2024, sedangkan jumlah individu terinfeksi diperkirakan meningkat hingga tahun 2025 sebelum mencapai kondisi stabil di tahun berikutnya. Efektivitas vaksinasi dan pengobatan lini pertama maupun lini kedua dapat mengurangi paparan dan infeksi serta meningkatkan angka kesembuhan secara signifikan sejak periode pertama hingga periode berikutnya.

Kata kunci: MDR-TB, Tuberkulosis, SVEITResR, Runge-Kutta Orde Empat.

ABSTRACT

MATHEMATICAL MODELING OF TUBERCULOSIS DISEASE SPREAD WITH MULTIDRUG RESISTANCE EFFECTS

Tuberculosis (TB) is an infectious disease caused by the bacteria *Mycobacterium tuberculosis* that attacks the lungs and other organs. In East Java, the number of TB cases reached 87,048 with only 53% of districts/cities reaching the treatment success target of 90%. One of the main challenges in TB control is drug resistance, one of which is Multidrug-Resistant Tuberculosis (MDR-TB), with prevention efforts carried out through BCG vaccination and treatment with Anti-Tuberculosis Drugs (OAT). This study will model the spread of tuberculosis in East Java by dividing the population into seven sub-populations: Susceptible, vaccinated, exposed, infected, treatment, resistant, and recovered with data sources obtained from the East Java Provincial Health Office. The results of the analysis show that the SVEITResR mathematical model is asymptotically stable at the equilibrium point of the endemic condition with $E_1 = (33,951,569; 1,212,907; 230,497; 121,715; 60,857; 27,541; 68,331)$ and is unstable under disease-free conditions with $E_0 = (37.301.726; 1.212.907; 0; 0; 0; 0; 0)$ and produces a basic reproduction number (R_0) value of 1.0987 indicating the spread of tuberculosis in the East Java region has the potential to outbreak. Numerical simulation using Runge-Kutta Order 4 projects a significant decrease in the number of exposed individuals after 2024, while the number of infected individuals is expected to increase until 2025 before reaching a steady state in the following year. The effectiveness of vaccination and first-line and second-line treatment can reduce exposure and infection and increase the cure rate significantly from the first period to the next period.

Keywords: MDR-TB, Tuberculosis, SVEITResR, Fourth Order Runge-Kutta.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI	iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	8
1.3. Tujuan Penelitian	8
1.4. Manfaat Penelitian	8
1.5. Batasan Masalah	9
1.6. Sistematika Penulisan	10
II TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1. Tuberkulosis (TBC)	11
2.2. <i>Multidrug Resistance Effects</i>	14
2.3. Model Matematika Epidemiologi	16
2.3.1. Model SITR	16
2.3.2. Model SVEIL	18
2.3.3. Model SEIResR	19
2.3.4. Model SVEITR	21

2.3.5. Model SVEITResR	22
2.4. Titik Keseimbangan Sistem	23
2.5. Analisis Kondisi Stabil Sistem	25
2.5.1. Linearisasi	25
2.5.2. Nilai dan Vektor Eigen	28
2.5.3. Kriteria <i>Routh-Hurwitz</i>	29
2.6. Bilangan Reproduksi Dasar	31
2.7. <i>Runge-Kutta</i> Orde 4	32
2.8. Integrasi Keislaman	35
III METODE PENELITIAN	38
3.1. Jenis Penelitian	38
3.2. Jenis dan Sumber Data	38
3.3. Tahapan Penelitian	39
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	43
4.1. Model Matematika Epidemiologi	43
4.1.1. Model SVEITR	43
4.1.2. Model SVEITResR	44
4.2. Penentuan Nilai Parameter	50
4.3. Titik Keseimbangan Sistem	54
4.3.1. Titik Keseimbangan Kondisi Bebas Penyakit Model SVEITR	54
4.3.2. Titik Keseimbangan Kondisi Endemik Model SVEITR	56
4.3.3. Titik Keseimbangan Kondisi Bebas Penyakit Model SVEITResR	59
4.3.4. Titik Keseimbangan Kondisi Endemik Model SVEITResR	61
4.4. Analisis Kondisi Stabil Sistem	65
4.4.1. Analisis Kondisi Stabil Model SVEITR	65
4.4.2. Analisis Kondisi Stabil Model SVEITResR	71
4.5. Bilangan Reproduksi Dasar (R_0)	79
4.5.1. Bilangan R_0 Pada Model SVEITR	79
4.5.2. Bilangan R_0 Pada Model SVEITResR	83

4.6. Simulasi dengan <i>Runge-Kutta</i> Orde 4	87
4.7. Diskusi Penelitian	94
4.8. Integrasi Keilmuan	95
4.8.1. Integrasi Keislaman Terkait Pentingnya Vaksinasi	95
4.8.2. Integrasi Keislaman Terkait Pentingnya Pengobatan	96
4.8.3. Integrasi Keislaman Terkait Analisis Kestimbangan dan Kestabilan	97
4.8.4. Integrasi Keislaman Terkait Hasil Simulasi	97
V PENUTUP	99
5.1. Kesimpulan	99
5.2. Saran	100
DAFTAR PUSTAKA	100
LAMPIRAN	108
A. Analisis Kestabilan Bebas Penyakit Model SVEITR	108
B. Analisis Kestabilan Endemik Model SVEITR	110
C. Analisis Kestabilan Bebas Penyakit Model SVEITResR	114
D. Analisis Kestabilan Endemik Model SVEITResR	117
E. Bilangan Reproduksi Dasar (R_0) Pada Model SVEITR	121
F. Bilangan Reproduksi Dasar (R_0) Pada Model SVEITResR	125

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR TABEL

2.1	Tabel <i>Routh</i>	30
3.1	Data TBC Provinsi Jawa Timur 2020 hingga 2023	39
4.1	Nilai Parameter model TBC	53



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR GAMBAR

1.1	Kasus Tuberkulosis di Dunia Tahun 2023	3
2.1	Kasus Konfirmasi Tuberkulosis di Indonesia Tahun 2023	11
2.2	Presentase Penemuan Kasus Tuberkulosis di Indonesia Tahun 2023	12
2.3	Kasus Konfirmasi Tuberkulosis di Jawa Timur Tahun 2023	12
2.4	Kasus MDR-TB di Dunia Tahun 2023	15
2.5	Diagram Kompartemen Model SITR	17
2.6	Diagram Kompartemen Model SVEIL	18
2.7	Diagram Kompartemen Model SEIR _{Res} R	20
2.8	Diagram Kompartemen Model SVEITR	21
2.9	Diagram Kompartemen Model SVEIT _{Res} R	22
3.1	Diagram Alir (<i>Flowchart</i>) Model Penyebaran TBC	39
4.1	Diagram Kompartemen Model SVEITR	43
4.2	Diagram Kompartemen Model SVEIT _{Res} R	45
4.3	Dinamika Perubahan Populasi pada Individu <i>Susceptible</i> (S)	89
4.4	Dinamika Perubahan Populasi pada Individu <i>Vaccinated</i> (V)	90
4.5	Dinamika Perubahan Populasi pada Individu <i>Exposed</i> (E)	90
4.6	Dinamika Perubahan Populasi pada Individu <i>Infected</i> (I)	91
4.7	Dinamika Perubahan Populasi pada Individu <i>Treatment</i> (T)	91
4.8	Dinamika Perubahan Populasi pada Individu <i>Resistant</i> (Res)	92
4.9	Dinamika Perubahan Populasi pada Individu <i>Recovered</i> (R)	92
4.10	Dinamika Perubahan Populasi pada Penyebaran Tuberkulosis	93
4.11	Dinamika Perubahan Populasi fokus pada kondisi Penyebaran Penyakit	93

DAFTAR PUSTAKA

Alam, M., Kabir, K. M., & Tanimoto, J. (2020). Based on mathematical epidemiology and evolutionary game theory, which is more effective: Quarantine or isolation policy. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2020(3).

Aufaniyah, N. L. & Abadi (2023). Dinamika Model Interaksi Mangsa Pemangsa Dengan Fungsi Respon Holling Tipe II, Makanan Tambahan, Dan Perilaku Anti Pemangsa. *Jurnal Ilmiah Matematika*, 11(3), 422–433.

Badan Pusat Statistik (2023a). Angka Harapan Hidup (Tahun), 2023. <https://jatim.bps.go.id/id/statistics-table/2/MjkjMg%253D%253D/angka-harapan-hidup.html>. [Accessed 05-12-2024].

Badan Pusat Statistik (2023b). Persentase Balita di Jawa Timur Dirinci Menurut Kabupaten/Kota, Jenis Kelamin, dan Jenis Imunisasi yang Didapatkan, 2023. <https://jatim.bps.go.id/id/statistics-table/1/MzA4NSMx/persentase-balita-di-jawa-timur-dirinci-menurut-kabupaten-kota--j.html>. [Accessed 05-12-2024].

Badan Pusat Statistik (2024). Jumlah Penduduk menurut Provinsi (Ribukita), 2023-2024. <https://sumsel.bps.go.id/id/statistics-table/2/NTczIzI=/jumlah-penduduk-menurut-provinsi.html>. [Accessed 25-09-2024].

- Belgioioso, G., Liao-Mcpherson, D., De Badyn, M. H., Bolognani, S., Lygeros, J., & Dorfler, F. (2021). Sampled-Data Online Feedback Equilibrium Seeking: Stability and Tracking. *Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control*, 2021-December, 2702–2708.
- Bodson, M. (2020). Explaining the Routh–Hurwitz Criterion. (February), 45–51.
- Choi, S. & Jung, E. (2014). Optimal Tuberculosis Prevention and Control Strategy from a Mathematical Model Based on Real Data. (September).
- Darmawan, A. (2016). Epidemiologi penyakit menular dan penyakit tidak menular. *Jambi Medical Journal*, 4, 195–202.
- Dinas Kesehatan Jawa Timur (2023a). Profil Kesehatan Provinsi Jawa Timur Tahun 2023.
- Dinas Kesehatan Jawa Timur (2023b). *Profil Kesehatan Provinsi Jawa Timur Tahun 2023. Keberhasilan pengobatan (Treatment Success Rate) Tuberkulosis*. 2024.
- Dinas Kesehatan Jawa Timur (2023c). Profil Kesehatan Provinsi Jawa Timur Tahun 2023, Tabel 57. Angka Kesembuhan Dan Pengobatan Lengkap Serta Keberhasilan Pengobatan Tuberkulosis Menurut Jenis Kelamin Provinsi Jawa Timur.
- Ergen, K., Çilli, A., & Yahnioğlu, N. (2015). Predicting Epidemic Diseases using Mathematical Modelling of SIR. 128(2), 273–275.
- Febriyanti, A., Laila, I., & Riska Azzahra (2024). Analisis Faktor-Faktor Risiko Penularan Tuberkulosis di Indonesia. 1, 194–201.

- Guo, Z.-k., Xiang, H., & Huo, H.-f. (2021). Analysis of an age-structured tuberculosis model with treatment and relapse. *Journal of Mathematical Biology*, 82(5), 1–37.
- Harahap, R. I. M., Juandika, J., & Mulyanti, D. (2023). Perbandingan Biaya Pemeriksaan Laboratorium Pada Pasien Tuberkulosis Multidrug Resistance (TB-MDR) Dengan Tuberkulosis Extensivedrug Resistance (TB-XDR): Studi Pada Rumah Sakit Tersier di Bandung. 1(1).
- Hermann, M. & Saravi, M. (2006). *A first course in differential equations*, volume 43. Choice Reviews Online.
- Hossain, A. D., Jarolimova, J., Elnaiem, A., Huang, C. X., Richterman, A., & Ivers, L. C. (2022). Effectiveness of contact tracing in the control of infectious diseases : a systematic review. *The Lancet Public Health*, 7(3), e259–e273.
- Indrayogi, Priyono, A., & Asyisya, P. (2022). Peningkatan Kualitas Hidup Lansia Melalui Pemberdayaan Lansia Produktif, Gaya Hidup Sehat Dan Aktif. *Indonesian Community Service and Empowerment Journal (IComSE)*, 3(1), 185–191.
- Karbito & Maisaroh, S. (2023). Prevalensi dan Faktor Risiko Infeksi TB Laten pada Anggota Keluarga Kontak Serumah dengan Pasien TB Aktif. 22(3), 351–358.
- Kementerian Kesehatan RI (2023a). Pegangan Operasional Pengobatan TBC-RO Paduan BaPL Tahun 2023.
- Kementerian Kesehatan RI (2023b). Tuberculosis di Indonesia. <https://tbindonesia.or.id/pustaka-tbc/dashboard/>. [Accessed 17-09-2024].

- Kurniawan, E. & Halid, I. (2022). Detection of Mycobacterium Tuberculosis Resistance to Pyrazinamide Antibiotic Using Polymerase Chain Reaction (PCR) Technique.
- Leleury, Z. A., Rumlawang, F. Y., & Naraha, A. G. (2020). Analisis Stabilitas dan Simulasi Model Penyebaran Penyakit HIV/AIDS Tipe SIA (Susceptible, Infected, Abstained). *Tensor: Pure and Applied Mathematics Journal*, 1(1), 31–40.
- Mailani, F. (2021). *Konsep Pencegahan dan Perawatan Tuberkulosis*. Eureka Media Aksara, Oktober 2023 Anggota IKAPI Jawa Tengah np. 225/JTE/2021.
- Mengistu, A. K. & Witbooi, P. J. (2019). Modeling the Effects of Vaccination and Treatment on Tuberculosis Transmission Dynamics. 2019.
- Perdigão, J., Gomes, P., Miranda, A., Maltez, F., Machado, D., Silva, C., Phelan, J. E., Brum, L., Campino, S., Couto, I., Viveiros, M., & Clark, T. G. (2020). Using genomics to understand the origin and dispersion of multidrug and extensively drug resistant tuberculosis in Portugal. (pp. 1–17).
- Pontali, E., Raviglione, M. C., & Migliori, G. B. (2019). Regimens to treat multidrug-resistant tuberculosis : past , present and future perspectives.
- Pralambang, S. D. & Setiawan, S. (2021). Faktor Risiko Kejadian Tuberkulosis di Indonesia. 2(1).
- Pramudaningsih, I. N., Cahyanti, L., Yuliana, A. R., Fitriana, V., Khamdannah, E. N., & Fitriana, A. A. (2023). Pencegahan Penularan TBC Melalui Implementasi Cekoran Bu Titik (Cegah Resiko Penularan Melalui Batuk Efektif Dan Etika Batuk) Pada Remaja Di SMAN 2 Kudud. 6(1), 77–87.

Putra, R. T. & Nita, S. (2016). Kestabilan Model Epidemi Seir dengan Matriks Hurwitz Stability of a SEIR Epidemic Model with Hurwitz Matrices. 11(April), 74–82.

Qudsi, R. & Dahlia, A. (2019). Beberapa Kombinasi Runge-Kutta Untuk Menentukan Solusi Persamaan Diferensial Waktu Tunda. *Jurnal Matematika Murni Dan Terapan Epsilon*, 13(1), 13.

Rahmawati, N., Yulanda, N. A., Ligita, T., Nurhidayati, W., & Az-zahra, S. (2024). Edukasi peran keluarga dalam pengendalian penyakit menular pernapasan tuberculosis paru. *Jurnal Abdimas Ilmiah Citra Bakti*, 5, 211–220.

Ramadhan, M. R., Waluya, S. B., & Kharis, M. (2018). Pemodelan Matematika Penyebaran Penyakit Tuberkulosis Dengan Strategi DOTS. *UNNES Journal of Mathematics*, 7(2), 130–141.

Resmawan, R. & Nurwan, N. (2017). Konstruksi Bilangan Reproduksi Dasar pada Model Epidemik SEIRS-SEI Penyebaran Malaria dengan Vaksinasi dan Pengobatan. *Jurnal Matematika Integratif*, 13(2), 105.

Ronoh, M., Jaroudi, R., Fotso, P., Kamdoun, V., Matendechere, N., Wairimu, J., Auma, R., & Lugoye, J. (2016). A Mathematical Model of Tuberculosis with Drug Resistance Effects. *Applied Mathematics*, 7(July), 1303–1316.

Rosfita, A. R. S., Marpaung, R. D. M., & Syakira, R. A. (2024). Mengurai Kompleksitas Pengelolaan Koinfeksi Tuberkulosis Pada Penderita Human Immunodeficiency Virus (HIV): Tantangan Dan Solusi Terkini. 2(3), 95–110.

Roudhotillah, D. & Chandra, T. D. (2021). Analisis kestabilan model penyebaran

- penyakit tuberkulosis dengan menggunakan MSEITR. *Wahana Matematika dan Sains: Jurnal Matematika, Sains, dan Pembelajarannya*, 15(2), 56–74.
- Side, S., Sanusi, W., & Setiawan, N. F. (2016). Analisis dan Simulasi Model SITR pada Penyebaran Penyakit Tuberkulosis di Kota Makassar Analysis and Simulation Of SITR Model on Tuberculosis in Makassar City. V(2).
- Sulistiyowati, A. & Abadi (2023). Analisis Kestabilan Model Penyebaran Tuberkulosis Dengan MDR-TB Dan Pengaruh Vaksinasi. *Jurnal Ilmiah Matematika*, 11(02), 156–163.
- Teng, G., Huang, Q., Xu, L., Chi, J., Wang, C., & Hu, H. (2022). Clinical features and risk factors of pulmonary tuberculosis complicated with pulmonary aspergillosis. (pp. 2692–2701).
- Vyawahare, C., Mukhida, S., Khan, S., Gandham, N. R., Kannuri, S., & Bhaumik, S. (2023). Assessment of risk factors associated with drug- resistant tuberculosis in pulmonary tuberculosis patients Chanda. *Indian Journal of Tuberculosis*, (July).
- World Health Organization (2023). *Global Tuberculosis Report*. Global report. [Accessed 17-09-2024].
- Wulandari, B., Qomarudin, M. H., Sanwidi, A., & Robby, R. R. (2023). Analisis Kestabilan Model Matematika Pada Penyebaran Covid Varian Omicron Dengan Kontrol Vaksinasi. *Jurnal Matematika UNAND*, 12(1), 15.
- Xiang, H., Zou, M.-X., & Huo, H.-F. (2019). Modeling the effects of health education and early therapy on tuberculosis transmission dynamics. *International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation*, 20(3-4), 243–255.

Yong, B. (2020). Model dinamika penyebaran pemilih dengan menggunakan pendekatan epidemiologi. (pp. 155–160).



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A