

**MODEL MATEMATIKA PENYEBARAN PENYAKIT TUBERKULOSIS
PARU DITINJAU DARI FAKTOR LINGKUNGAN**

DISERTASI

**Untuk Memenuhi Persyaratan
Memperoleh Gelar Doktor**



**YUNI YULIDA
NIM. 2341213320004**

**PROGRAM DOKTOR ILMU LINGKUNGAN
PASCASARJANA
UNIVERSITAS LAMBUNG MANGKURAT
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

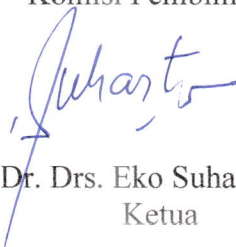
Judul Disertasi : **Model Matematika Penyebaran Penyakit
Tuberkulosis Paru Ditinjau dari Faktor
Lingkungan**

Nama : Yuni Yulida

NIM : 2341213320004

Disetujui,

Komisi Pembimbing



Prof. Dr. Drs. Eko Suhartono, M.Si.
Ketua



Dewi Angraini, S.Si., M.App.Sci., Ph.D
Anggota I



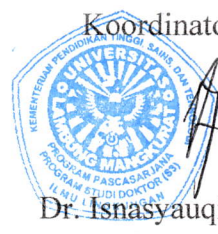
Prof. Dr. dr. Syamsul Arifin, M.Pd. FISPH.,
FISCM Anggota II

Diketahui,



Direktur Pascasarjana ULM

Prof. Dr. Ir. Danang Biyatmoko, M.Si



Koordinator Prodi S3

Dr. Isnasyauqiah, S.T., M.T.

Tanggal Lulus:

Tanggal Wisuda:

HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI DISERTASI

JUDUL DISERTASI:

MODEL MATEMATIKA PENYEBARAN PENYAKIT TUBERKULOSIS PARU DITINJAU DARI FAKTOR LINGKUNGAN

Nama : Yuni Yulida
NIM : 2341213320004
Program Studi : Program Doktor Ilmu Lingkungan

KOMISI PEMBIMBING :

Ketua : Prof. Dr. Drs. Eko Suhartono, M.Si.
Anggota : Dewi Anggraini, S.Si., M.App.Sci., Ph.D
Anggota : Prof. Dr. dr. Syamsul Arifin, M.Pd. FISP.H., FISCM

TIM DOSEN PENGUJI :

Dosen Penguji 1 : Dr. dr. Mohamad Isa, Sp.P(K), FISR, FAPSR
Dosen Penguji 2 : Dr. Karim, M.Si.
Dosen Penguji 3 : Dr. Isnasyauqiah, S.T., M.T.
Dosen Penguji Tamu : Dr. Usman Pagalay, M.Si.

Tanggal Ujian : 10 Desember 2025

SK Penguji : 300.1/UN8.4/DT.04.03/2025

PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Yuni Yulida
NIM : 2341213320004
Program studi : Program Doktor Ilmu Lingkungan
Fakultas : Program Pascasarjana
Perguruan Tinggi : Universitas Lambung Mangkurat
Judul Disertasi: : **“Model Matematika Penyebaran Penyakit Tuberkulosis Paru Ditinjau dari Faktor Lingkungan”**

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dicantumkan sebagai kutipan/acuan dalam naskah dengan disebutkan sumber kutipan/ acuan dan dicantumkan dalam daftar Pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan Disertasi ini hasil jiplakan, plagiasi maupun manipulasi, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sehat dan tanpa paksaan dari siapapun.

Banjarmasin, Desember 2025
Yang membuat



Yuni Yulida
NIM 2341213320004

LEMBAR PERSEMBAHAN

Ayahanda, Hamzah Mahmud (Alm)

yang telah memberikan teladan keteguhan, kerja keras, dan ketulusan dalam setiap langkah hidup saya.

Ibunda, Hamsiah (Alm)

yang dengan doa, kasih sayang, dan kesabarannya selalu menjadi cahaya dalam perjalanan akademik saya.

Suami tercinta, Dr. Muhammad Ahsar Karim, S.Si., M.Sc.

atas dukungan tanpa henti, semangat yang tak pernah padam, dan kebijaksanaan yang senantiasa menguatkan saya dalam menyelesaikan penelitian ini.

Anak-anak tersayang,

Muhammad Ilham Ahsani dan Keisha Adzkiya Maulida

yang menjadi sumber kebahagiaan, inspirasi, dan alasan terbesar saya untuk terus belajar dan berkarya.

Untuk Saudara-Saudaraku,

1. Dra. Hj. Rusnane dan suami H. Idham Khalid, S.Pd.
2. Rusmiati dan suami Jamidi
3. Hj. Helda Suarni, S.Pd dan suami H. Muhran, S.Pd
4. Hj. Sri Hartini, S.Pd dan suami H. Ahmad Ukaili, S.Ag
5. Johransyah, S.Pd. MM dan istri Norma Sumida S.Pd
6. Hetty Hidayah, S.Pd dan suami Misyawaliadi Noor, S.Pd.I, MM.

Terima kasih atas semangat dan motivasinya.

Untuk penguatan ilmu pengetahuan dalam memahami model penyebaran TB Paru melalui analisis faktor lingkungan hunian rumah agar menjadi dasar ilmiah bagi pengembangan pemodelan matematika dan peningkatan kesehatan masyarakat.

Untuk Indonesia yang lebih sehat, dengan rumah yang lebih layak, lingkungan yang lebih bersih, serta masa depan yang lebih baik bagi generasi berikutnya.

RIWAYAT HIDUP PENULIS

Yuni Yulida, lahir di Banua Kupang (Kecamatan Labuan Amas Utara, Kabupaten Hulu Sungai Tengah) pada tanggal 10 Oktober 1981, merupakan anak keenam dari tujuh bersaudara, anak dari Bapak Hamzah Mahmud (Alm) dan Ibu Hamsiah (Alm), bersekolah di SDN Banua Kupang Utara lulus tahun 1994, kemudian lanjut ke SMPN 1 Labuan Amas Utara lulus tahun 1997 dan meneruskan ke SMAN 1 Labuan Amas Selatan lulus tahun 2000. Selanjutnya, meneruskan pendidikan Sarjana di Program Studi Matematika Universitas Lambung Mangkurat dan lulus pada tahun 2004, kemudian melanjutkan pendidikan Magister Matematika di Jurusan Matematika FMIPA Universitas Gadjah Mada dan lulus pada tahun 2009. Pengalaman kerja sejak tahun 2005 - sekarang sebagai dosen di Program Studi Matematika Jurusan Matematika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat.

Banjarmasin, Desember 2025

Yuni Yulida

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Drs. Eko Suhartono, M.Si., selaku promotor, Ibu Dewi Anggraini, S.Si., M.App.Sci., Ph.D selaku ko-promotor I dan Bapak Prof. Dr. dr. Syamsul Arifin, M.Pd. FISPH., FISCM, selaku ko-promotor II yang telah membimbing sampai penulis bisa menyelesaikan disertasi ini.
2. Koordinator dan Sekretaris serta seluruh staff Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan Universitas Lambung Mangkurat.
3. Direktur Program Pascasarjana Universitas Lambung Mangkurat dan seluruh Staf Program Pascasarjana Universitas Lambung Mangkurat
4. Rektor Universitas Lambung Mangkurat, Dekan Fakultas MIPA dan Ketua Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Lambung Mangkurat.
5. Pimpinan UPTD Puskesmas Martapura 1 dan Martapura 2, serta pegawai yang menangani TB (Bapak Mahyuni dan Ibu Vivi) serta para Kader Puskesmas yang telah mendampingi di lapangan.
6. Asisten peneliti (Mahasiswa Program Studi Matematika: Akhdan, Alfiani, Arifin, Mulidya, Revani), keponakan peneliti Heny Khairini, S.Pd. (alumni PG Paud ULM) dan Nur Farah Athaya (Mahasiswa Arsitektur ULM) yang telah membantu kegiatan di lapangan.
7. Rekan-rekan angkatan 2023 seperjuangan yang telah memberi semangat dan dorongan motivasi agar disertasi ini segera diselesaikan.
8. Sujud dan terima kasih yang dalam penulis persembahkan kepada kedua orang tua tercinta, serta seluruh keluarga atas doa-doa serta dukungan yang telah diberikan.
9. Ucapan terima kasih secara khusus penulis sampaikan kepada suami tercinta, yang senantiasa memberikan kasih sayang, doa, dukungan, pengorbanan, dan motivasi selama proses penyusunan hingga penyelesaian disertasi ini.

Banjarmasin, Desember 2025

Yuni Yulida

RINGKASAN

Yuni Yulida. 2341213320004. 2025. Program Studi Doktor Ilmu Lingkungan, Pascasarjana, Universitas Lambung Mangkurat. Model Matematika Penyebaran Penyakit Tuberkulosis Paru Ditinjau dari Faktor Lingkungan. Pembimbing: Prof. Dr. Drs. Eko Suhartono, M.Si.; Dewi Anggraini, S.Si., M.App.Sci., Ph.D; Prof. Dr. dr. Syamsul Arifin, M.Pd. FISPH., FISCM.

Tuberkulosis (TB) adalah penyakit menular yang disebabkan oleh bakteri *Mycobacterium Tuberculosis* (MTB), yang masuk ke dalam tubuh melalui sistem pernapasan. Sebagian besar infeksi MTB menyerang paru-paru, dikenal sebagai TB Paru. Berdasarkan Global TB Report 2024, Indonesia menempati peringkat kedua kasus TB terbanyak di dunia, setelah India. Penyebaran TB di Indonesia bervariasi antar provinsi dan kabupaten/kota. Berdasarkan Kemenkes RI (2023), estimasi jumlah kasus TB di Indonesia mencapai 969.000 kasus yang tersebar di 34 provinsi. Tiga daerah di Kalimantan Selatan dengan kasus terbanyak pada tahun 2022 adalah Kota Banjarmasin, Kabupaten Banjar, dan Kabupaten Hulu Sungai Tengah. TB adalah penyakit berbasis lingkungan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa faktor-faktor lingkungan seperti kondisi meteorologis dan fisik hunian rumah berperan penting dalam penularan TB paru. Faktor meteorologis meliputi curah hujan rata-rata, suhu rata-rata, dan kelembaban relatif. Selain itu, polusi udara, terutama paparan jangka panjang terhadap PM2.5 dan PM10, sangat terkait dengan penyebaran TB Paru. Faktor fisik hunian rumah seperti luas ventilasi, kepadatan penghuni, pencahayaan, kelembapan, dan suhu juga menciptakan lingkungan yang kondusif bagi penularan TB, perkembangan TB aktif, serta mengganggu proses pengobatan TB. TB tidak hanya masalah kesehatan masyarakat, tetapi juga mencerminkan dinamika interaksi yang rumit antara manusia, mikroorganisme, dan lingkungan. Dinamika ini dapat diungkapkan melalui model matematika, yang telah menjadi alat efektif dalam memahami dan meramalkan penyebaran penyakit menular. Pemodelan matematika memungkinkan integrasi data epidemiologi dengan faktor lingkungan untuk menghasilkan pemahaman lebih mendalam tentang bagaimana TB berkembang dan menyebar dalam populasi.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor lingkungan yang signifikan terhadap kejadian TB paru dengan menggunakan parameter fisik hunian sebagai indikator utama. Penelitian ini juga berupaya membentuk model matematika penyebaran TB paru dengan memperhatikan faktor lingkungan dan melakukan analisis model tersebut. Untuk mengetahui faktor lingkungan dengan parameter fisik, penelitian ini menggunakan desain studi *cross-sectional*, yaitu penelitian observasional di mana variabel faktor risiko dan efek diobservasi secara simultan. Populasi penelitian ini adalah masyarakat di wilayah kerja Puskesmas Martapura 1 dan Puskesmas Martapura 2. Analisis faktor-faktor yang memengaruhi kejadian TB Paru terdiri dari tiga tahap, yaitu analisis univariat, bivariat, dan multivariat. Pada analisis bivariat, dilakukan penyajian distribusi data penelitian berdasarkan karakteristik responden serta faktor lingkungan hunian responden. Analisis univariat menggunakan uji Chi-square untuk menguji hubungan antara variabel independen, yaitu jenis kelamin, usia, tingkat pendidikan, jenis pekerjaan, status merokok responden, status merokok anggota

keluarga serumah, luas ventilasi, pencahayaan, suhu, kelembapan, dan kepadatan hunian, terhadap kejadian TB Paru.

Hasil analisis menunjukkan bahwa variabel jenis kelamin, status merokok responden, luas ventilasi, dan suhu memiliki hubungan yang signifikan dengan kejadian TB Paru. Selanjutnya, analisis multivariat dilakukan menggunakan uji regresi logistik biner untuk mengevaluasi pengaruh faktor lingkungan. Faktor lingkungan yang berpengaruh signifikan adalah luas ventilasi dan suhu. Kemudian model regresi logistik biner digunakan untuk memprediksi probabilitas kejadian TB Paru. Hasil prediksi probabilitas kejadian TB Paru yang diperoleh berdasarkan kombinasi luas ventilasi dan suhu kemudian diintegrasikan ke dalam model penyebaran TB Paru. Model matematika penyebaran Tuberkulosis Paru dengan mempertimbangkan faktor lingkungan dibangun melalui modifikasi model SEIR pada komponen laju penularan. Dalam model klasik, laju penularan (β) merepresentasikan tingkat kontak antara individu rentan dan individu terinfeksi. Namun, pada model modifikasi ini, β diubah menjadi fungsi β_{eff} , yaitu laju penularan efektif yang diformulasikan berdasarkan pengaruh faktor lingkungan pada analisis multivariat. Hasil simulasi berbasis data pada model SEIR menunjukkan bahwa kualitas lingkungan hunian sangat memengaruhi penyebaran TB paru di Kabupaten Banjar, Martapura. Nilai probabilitas tinggi pada kondisi hunian buruk mempercepat peningkatan kasus, sedangkan skenario ideal menurunkan kasus infeksi secara signifikan. Pada kondisi parsial, ventilasi memenuhi standar lebih efektif menekan penularan dibanding suhu memenuhi standar, sehingga luas ventilasi yang memenuhi standar terbukti lebih krusial dalam pengendalian penyakit.

Kata kunci: Modifikasi Model SEIR, TB Paru, Faktor lingkungan, Parameter fisik hunian,

SUMMARY

Yuni Yulida. 2341213320004. 2025. Doctoral Program in Environmental Science, Universitas Lambung Mangkurat. *Mathematical Model of Pulmonary Tuberculosis Transmission Based on Environmental Factors*. Advisors: Prof. Dr. Drs. Eko Suhartono, M.Si.; Dewi Anggraini, S.Si., M.App.Sci., Ph.D; Prof. Dr. dr. Syamsul Arifin, M.Pd. FISPH., FISCM.

Tuberculosis (TB) is an infectious disease caused by the bacterium *Mycobacterium tuberculosis* (MTB), which enters the human body through the respiratory system. Most MTB infections affect the lungs and are therefore classified as pulmonary TB. According to the Global TB Report 2024, Indonesia ranks second in the world, after India, in terms of TB burden. The distribution of TB cases varies widely across provinces and districts. Based on data from the Indonesian Ministry of Health (2023), an estimated 969,000 TB cases occurred nationwide, spanning 34 provinces. In South Kalimantan, the three regions with the highest number of TB cases in 2022 were Banjarmasin City, Banjar District, and Hulu Sungai Tengah District. TB is recognized as an environmentally mediated disease. Numerous studies indicate that environmental factors, including meteorological conditions and physical characteristics of housing, play an important role in the transmission of pulmonary TB. Meteorological factors such as average rainfall, ambient temperature, and relative humidity contribute to the survival and spread of MTB. In addition, air pollution, particularly long-term exposure to PM_{2.5} and PM₁₀, is strongly associated with TB transmission. Housing-related physical factors such as ventilation area, occupancy density, lighting, humidity, and indoor temperature also create conditions that may facilitate TB transmission, influence the progression of active TB, and interfere with treatment outcomes. TB is not only a public health problem but also reflects complex interactions among humans, microorganisms, and environmental conditions. These dynamics can be examined using mathematical modeling, which has become an effective tool for understanding and predicting the spread of infectious diseases. Mathematical models enable the integration of epidemiological data with environmental variables to generate deeper insight into how TB develops and spreads within populations.

This study aims to analyze environmental factors that significantly influence the incidence of pulmonary TB by using physical housing parameters as the main indicators. The study also seeks to develop a mathematical model of pulmonary TB transmission that incorporates environmental factors and to conduct an analytical evaluation of the model. To examine environmental determinants through physical parameters, a cross-sectional study design was employed, in which risk factors and outcomes were observed simultaneously. The study population consisted of residents living in the service areas of Martapura 1 and Martapura 2 Primary Health Centers. The analysis of factors associated with pulmonary TB incidence was conducted in three stages: univariate, bivariate, and multivariate analyses. In the bivariate stage, the distribution of research data was presented based on respondent characteristics as well as housing environmental factors. Univariate analysis employed the Chi-square test to examine the association between each independent variable, including sex, age, education level, occupation, respondent smoking status, household passive smoking

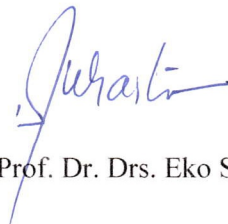
exposure, ventilation area, lighting, temperature, humidity, and occupancy density, and the incidence of pulmonary TB.

The analytical results show that sex, respondent smoking status, ventilation area, and indoor temperature have significant associations with the incidence of pulmonary TB. Subsequently, multivariate analysis using binary logistic regression was performed to evaluate the effect of environmental factors. The environmental variables that remained significant were ventilation area and temperature. The logistic regression model was then used to predict the probability of pulmonary TB incidence, and the predicted probabilities, derived from combinations of ventilation area and temperature, were integrated into the TB transmission model.

A mathematical model of pulmonary tuberculosis transmission incorporating environmental factors was developed by modifying the SEIR model, specifically in the transmission rate component. In the classical SEIR framework, the transmission rate (β) represents the contact intensity between susceptible and infectious individuals. In the modified model, however, β is transformed into an effective transmission rate (β_{eff}), formulated based on the influence of environmental factors identified through multivariate analysis. Data-driven simulations using the modified SEIR model demonstrate that housing environmental quality strongly affects TB transmission dynamics in Banjar District, Martapura. High predicted probabilities under poor housing conditions accelerate the increase in TB cases, whereas ideal environmental conditions significantly reduce infection levels. Under partial improvement scenarios, adequate ventilation was more effective in suppressing transmission than optimal temperature alone, indicating that compliance with ventilation standards plays a more crucial role in TB control.

Keywords: SEIR Model Modification, Pulmonary Tuberculosis, Environmental Factors, Physical Housing Parameters.

Known by,
Disertation Supervisor



Prof. Dr. Drs. Eko Suhartono, M.Si.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena atas perkenan dan rahmat-Nya, disertasi yang berjudul “Model Matematika Penyebaran Penyakit Tuberkulosis Paru Ditinjau dari Faktor Lingkungan” ini dapat diselesaikan dengan baik.

Disertasi ini membahas bagaimana membangun model matematika penyebaran penyakit Tuberkulosis Paru (TB Paru) dengan melibatkan pengaruh faktor lingkungan berupa parameter fisik hunian rumah. Analisis multivariat menunjukkan bahwa luas ventilasi dan suhu ruangan merupakan faktor lingkungan yang paling signifikan. Probabilitas kejadian TB Paru yang diperoleh dari model regresi logistik biner selanjutnya diintegrasikan ke dalam model SEIR melalui modifikasi laju penularan menjadi laju penularan efektif yang bergantung pada faktor lingkungan.

Hasil simulasi model menunjukkan bahwa kualitas hunian, terutama yang terkait dengan ventilasi dan suhu ruangan yang memenuhi standar, berperan penting dalam menurunkan laju penularan TB Paru di Kabupaten Banjar. Temuan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan model epidemiologi berbasis faktor lingkungan serta menjadi bahan pertimbangan dalam perumusan kebijakan kesehatan masyarakat..

Penulis menyadari bahwa disertasi ini masih memiliki keterbatasan dan membuka ruang untuk pengembangan lebih lanjut. Oleh karena itu, saran dan masukan yang konstruktif sangat diharapkan demi penyempurnaan karya ini. Semoga disertasi ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan berbagai pihak yang berkepentingan. Aamiin.

Wassalam

Banjarmasin, Desember 2025

Yuni Yulida

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN IDENTITAS TIM PENGUJI DISERTASI	iii
PERNYATAAN ORISINALITAS DISERTASI	xiii
LEMBAR PERSEMBAHAN	v
RIWAYAT HIDUP PENULIS	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
KATA PENGANTAR	xii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xx
DAFTAR LAMPIRAN	xxii
DAFTAR ISTILAH	xxiii
DAFTAR NOTASI	xxiv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	8
1.3 Tujuan	9
1.4 Manfaat Penelitian	9
1.5 Batasan Masalah	10
II. TINJAUAN PUSTAKA	12
2.1 Faktor Lingkungan yang Mempengaruhi Penyakit	12
2.1.1 Faktor Meteorologis dan Polusi Udara.....	12

2.1.2 Lingkungan Fisik	14
2.2 Penyakit TB	18
2.3 Metode <i>Cross-sectional</i>	22
2.4 Metode <i>Chi-Square</i>	23
2.5 Model Regresi Logistik Biner.....	24
2.6 Sistem Persamaan Diferensial	26
2.7 Analisis Kestabilan	27
2.8 Bilangan Reproduksi Dasar	30
2.9 Kriteria Routh Hurwitz	31
2.10 Metode Rungge-Kutta	32
2.11 Estimasi Parameter	33
2.12 Analisis Sensitivitas	34
2.13 Model SIR Klasik	35
2.14 Penelitian-Penelitian Model Matematika TB	36
III. KERANGKA PEMIKIRAN	42
3.1 Landasan Teori	42
3.1.1 Model Matematika	42
3.1.2 Model SEIR Penyebaran Penyakit TB	44
3.1.3 Model Penyebaran Penyakit TB Terkait Lingkungan	51
3.2 Kerangka Pemikiran	53
3.3 Hipotesis Penelitian	53
3.3.1 Hipotesis pada analisis bivariat	53
3.3.2 Hipotesis pada analisis multivariat.....	56
3.4 Kerangka Operasional Pelaksanaan Penelitian	58
3.5 Kerangka Analisis Penelitian	63
3.6 Definisi Operasional Variabel dan Pengukuran Variabel	63

3.7	Kebaharuan (Novelty) Penelitian	66
IV.	METODE PENELITIAN	68
4.1	Desain Penelitian	68
4.2	Data Penderita TB di Kabupaten Banjar	68
4.3	Populasi dan Sampel	69
4.4	Instrumen dan Teknik Pengumpulan Data Penelitian	72
4.4.1	Data Primer	73
4.4.2	Data Sekunder	75
4.5	Prosedur dan Analisis Data.....	76
4.5.1	Analisis faktor lingkungan yang memiliki pengaruh terhadap kejadian TB Paru dengan menggunakan parameter fisik hunian rumah	76
4.5.2	Analisis Model Matematika	78
4.5.3	Sintesis Model Regresi Logistik Biner dan Model SEIR	81
V.	LOKASI PENELITIAN	83
5.1	Gambaran Umum Lokasi Penelitian	83
5.1.1	UPTD Puskesmas Martapura 1	83
5.1.2	UPTD Puskesmas Martapura 2	84
VI.	HASIL DAN PEMBAHASAN	86
6.1	Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kejadian TB Paru	86
6.1.1	Analisis Univariat	86
6.1.2	Analisis Bivariat	89
6.1.3	Analisis Multivariat	107
6.2	Pembentukan Model Matematika Penyebaran TB Paru	120
6.2.1	Model SEIR untuk penyebaran TB Paru tanpa faktor lingkungan ...	120
6.2.2	Model SEIR untuk penyebaran TB Paru dengan faktor lingkungan berupa parameter fisik hunian rumah	121

6.2.3 Model SEIR untuk penyebaran TB Paru dengan faktor lingkungan berupa parameter fisik hunian rumah di Kabupaten Banjar	123
6.3 Analisis Model Matematika Penyebaran Penyakit TB Paru yang telah terbentuk	124
6.3.1 Titik Ekuilibrium	124
6.3.2 Bilangan Reproduksi Dasar dari Model	126
6.3.3 Analisis Kestabilan Model	127
6.3.4 Analisis Sensitivitas Bilangan Reproduksi Dasar	132
6.4 Estimasi Parameter dan Prediksi Kasus TB Paru	133
6.4.1 Estimasi Parameter pada Model SEIR yang Dimofikasi	133
6.4.2 Hasil Prediksi pada Model SEIR yang dimodifikasi pada Kasus TB Paru	138
6.4.3 Simulasi Sensitivitas dari Bilangan Reproduksi Dasar.....	147
VII. IMPLIKASI HASIL PENELITIAN	151
7.1 Implikasi Teoritis	151
7.2 Implikasi Praktis	153
VIII. KESIMPULAN DAN SARAN	157
8.1 Kesimpulan	157
8.2 Saran	159
DAFTAR PUSTAKA	160

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Tabel kontengensi	23
Tabel 2.2	Penelitian-penelitian model matematika TB	36
Tabel 3.1	Definisi variabel pada Model SVELI (Mengistu & Witbooi, 2019)	48
Tabel 3.2	Definisi variabel pada Model SVEIRB (Li & Wang, 2023)	52
Tabel 3.3	Kerangka Analisis Pemikiran	63
Tabel 3.4	Definisi operasional dari variabel dan pengukuran variabel	64
Tabel 4.1	Ukuran sampel secara keseluruhan dengan sampel proporsional berstrata	71
Tabel 4.2	Kategori Akurasi Model menggunakan Nilai MAPE	80
Tabel 6.1	Analisis distribusi data penelitian responden berdasarkan karakteristik dan faktor lingkungan hunian rumah	87
Tabel 6.2	Distribusi Kejadian TB Paru Berdasarkan Jenis Kelamin dan Hasil Analisis <i>Chi-square</i>	90
Tabel 6.3	Distribusi Kejadian TB Paru Berdasarkan Usia dan Hasil Analisis <i>Chi-square</i>	91
Tabel 6.4	Distribusi Kejadian TB Paru Berdasarkan Tingkat Pendidikan dan Hasil Analisis <i>Chi-square</i>	93
Tabel 6.5	Distribusi Kejadian TB Paru Berdasarkan Status Pekerjaan dan Hasil Analisis <i>Chi-square</i>	95
Tabel 6.6	Distribusi Kejadian TB Paru Berdasarkan Status Merokok dan Hasil Analisis <i>Chi-square</i>	96
Tabel 6.7	Distribusi Kejadian TB Paru Berdasarkan Status Merokok Anggota Keluarga Responden dan Hasil Analisis <i>Chi-square</i>	98

Tabel 6.8	Distribusi Kejadian TB Paru Berdasarkan Luas Ventilasi dan Hasil Analisis <i>Chi-square</i>	99
Tabel 6.9	Distribusi Kejadian TB Paru Berdasarkan Pencahayaan dan Hasil Analisis <i>Chi-square</i>	101
Tabel 6.10	Distribusi Kejadian TB Paru Berdasarkan Suhu dan Hasil Analisis <i>Chi-square</i>	102
Tabel 6.11	Distribusi Kejadian TB Paru Berdasarkan Kelembapan dan Hasil Analisis <i>Chi-square</i>	104
Tabel 6.12	Distribusi Kejadian TB Paru Berdasarkan Kepadatan Hunian dan Hasil Analisis <i>Chi-square</i>	106
Tabel 6.13	Analisis pemilihan variabel awal untuk analisis multivariat mencakup semua variabel terhadap kasus TB Paru	110
Tabel 6.14	Koefisien korelasi antar variabel independen	112
Tabel 6.15	Uji Regresi Logistik Biner – Tahap I	113
Tabel 6.16	Uji Regresi Logistik Biner – Tahap II.....	114
Tabel 6.17	Uji Regresi Logistik Biner – Tahap III.....	114
Tabel 6.18	Uji Regresi Logistik Biner – Tahap IV.....	115
Tabel 6.19	Persentase Perubahan Nilai Koefisien B untuk Jenis Kelamin pada Uji Regresi Logistik Biner	115
Tabel 6.20	Persentase Perubahan Nilai Koefisien B untuk Status Merokok pada Uji Regresi Logistik Biner	115
Tabel 6.21	Probabilitas Prediksi Berdasarkan Kategorik Luas Ventilasi dan Suhu	119
Tabel 6.22	Rumus Indeks Sensitivitas Setiap Parameter.....	133

Tabel 6.23	Data Jumlah Penduduk Kabupaten Banjar Berdasarkan Model SEIR yang Dimodifikasi	133
Tabel 6.24	Nilai Parameter dan Awal Model	134
Tabel 6.25	Nilai Parameter c pada Proses Optimasi	135
Tabel 6.26	Nilai MAPE	136
Tabel 6.27	Nilai R_0 berdasarkan Kondisi Lingkungan	148

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Jumlah kasus TB per Kabupaten di Kalimantan Selatan	3
Gambar 2.1	Diagram alir model SIR Kermack-McKendrick	35
Gambar 3.1	Diagram Alir Pemodelan Matematika	42
Gambar 3.2	Model SEITE (Kar & Mondal, 2012)	45
Gambar 3.3	Model SEIR (Athithan & Ghosh, 2013)	46
Gambar 3.4	Model SEIT (Zhang & Feng, 2015)	47
Gambar 3.5	Model SVELI (Mengistu & Witbooi, 2019)	48
Gambar 3.6	Model SVELI (Nkamba et al., 2019).....	49
Gambar 3.7	Model SEIR (Das et al., 2021)	50
Gambar 3.8	Model SVEIRB (Li & Wang, 2023).....	51
Gambar 3.9	Kerangka Pemikiran	53
Gambar 4.1	Jumlah penderita TB untuk 5 Puskesmas di Kabupaten Banjar	69
Gambar 4.2	Alat Ukur Luas Ventilasi dan Luas Lantai	73
Gambar 4.3	Alat Ukur Pencahayaan	74
Gambar 4.4	Alat Ukur Suhu dan Kelembapan	75
Gambar 4.5	Proses Estimasi Parameter pada Model	78
Gambar 6.1	Grafik Perbandingan Data Terinfeksi dan Data Simulasi	137
Gambar 6.2	Prediksi Populasi Rentan (S) pada Model SEIR termodifikasi berdasarkan Empat Kombinasi faktor Lingkungan	139
Gambar 6.3	Prediksi Populasi Terpapar (E) pada Model SEIR termodifikasi berdasarkan Empat Kombinasi faktor Lingkungan	140
Gambar 6.4	Prediksi Populasi Terinfeksi (I) pada Model SEIR termodifikasi berdasarkan Empat Kombinasi faktor Lingkungan	141

Gambar 6.5	Prediksi Populasi Sembuh (R) pada Model SEIR termodifikasi berdasarkan Empat Kombinasi faktor Lingkungan	142
Gambar 6.6	Diagram Batang Indeks Sensitivitas dari R_0	147

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Sertifikat lolos etik dan surat perizinan penelitian	170
Lampiran 2	Dokumentasi Kegiatan Penelitian	177
Lampiran 3	Output Hasil analisis Uji Chi-Square	179

DAFTAR ISTILAH

Tuberkulosis (TB)	:	Penyakit infeksi menular yang disebabkan oleh bakteri <i>Mycobacterium Tuberculosis</i> (MTB), terutama menyerang paru-paru.
TB Paru	:	Bentuk TB yang menyerang jaringan paru-paru dan bersifat menular.
TB Laten	:	Kondisi ketika seseorang terinfeksi MTB tetapi bakteri tidak aktif (dorman) dalam tubuh dan tidak menunjukkan gejala.
TB Aktif	:	Kondisi ketika MTB berkembang biak dan menyebabkan gejala serta dapat menularkan penyakit.
Basil Tahan Asam (BTA)	:	Bakteri MTB yang tahan terhadap pewarnaan asam pada pemeriksaan mikroskopis.
Percik Renik (Droplet nuclei)	:	Partikel kecil mengandung MTB yang dikeluarkan penderita saat batuk/bersin.
Kepadatan Hunian	:	Rasio antara luas lantai rumah dengan jumlah penghuni rumah.
Ventilasi Rumah	:	Tempat pertukaran (keluar/masuknya) udara dalam ruangan
Suhu Ruangan	:	Temperatur udara (tingkat panas atau dinginnya udara) di dalam rumah.
Kelembapan	:	Banyaknya kandungan uap air di udara ruangan.
Pencahaya-an Alami	:	Intensitas cahaya matahari yang masuk ke dalam ruang hunian.
Model Epidemik	:	Model matematika yang menggambarkan dinamika penyebaran penyakit menular.
Model SEIR	:	Model epidemiologi dengan kompartemen <i>Susceptible, Exposed, Infected, Recovered</i> .
Sistem Persamaan Diferensial	:	Sistem persamaan yang menyatakan perubahan suatu variabel terhadap waktu.

DAFTAR NOTASI

Y	:	Variabel dependen biner (1 = TB Paru, 0 = Tidak TB Paru).
X_1, X_2, X_3, X_4, X_5	:	Variabel independen faktor lingkungan (Luas ventilasi, Pencahayaan, Suhu, Kelembapan dan Kepadatan Hunian secara berturut-turut).
$X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}$:	Variabel independen faktor host (Usia, Jenis Kelamin, Pendidikan, Status Pekerjaan, Status Merokok dan Status Merokok Anggota Keluarga Responden, secara berturut-turut).
π	:	Probabilitas kejadian TB.
β_i , dengan $0, 1, 2, \dots, 11$:	Koefisien regresi logistik
$S(t)$:	Jumlah individu pada subpopulasi rentan (Susceptible) terhadap infeksi TB Paru pada waktu t .
$E(t)$:	Jumlah individu pada subpopulasi yang terpapar (<i>Exposed</i>) bakteri TB Paru tetapi belum infeksius (masa laten) pada waktu t .
$I(t)$:	Jumlah individu pada subpopulasi terinfeksi (<i>Infected</i>) TB Paru dan dapat menularkan ke orang lain pada waktu t .
$R(t)$:	Jumlah individu pada subpopulasi sembuh (<i>Recovered</i>) terhadap infeksi TB Paru dan tidak menularkan penyakit lagi pada waktu t .
N	:	Total Populasi ($S + E + I + R$)
β	:	Laju penularan TB Paru pada Model SEIR sebelum dimodifikasi.
β_{eff}	:	laju penularan yang mempertimbangkan pengaruh faktor lingkungan hunian rumah
σ	:	Laju aktivasi bakteri TB Paru (tarnsisi dari $E \rightarrow I$)
γ	:	Laju kesembuhan
μ	:	Laju kematian/kelahiran alami
J	:	Matriks Jacobian
$\lambda_i, i = 1, 2, 3, \dots, n$:	Nilai eigen
$Re(\lambda_i)$:	Bagian Riil dari nilai eigen
R_0	:	Bilangan Reproduksi Dasar (<i>Basic Reproduction Number</i>)

$S_p^{R_0}$

: Indeks sensitivitas ternormalisasi dari
bilangan reproduksi dasar bergantung pada
diferensial parameter p