

PENERAPAN *BIRTH-AND-DEATH PROCESS* PADA KASUS TERINFEKSI DAN KEMATIAN COVID-19 KALIMANTAN TIMUR JANUARI 2021

Wina Christiani Parhusip^{1§}, Ni Komang Kharina Gayatri², Dewa Ayu Ratih Isaka Putri³, Gina
Cornelia Br Tarigan⁴, Made Ayu Dwi Octavanny⁵

¹Program Studi Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Udayana [Email:
parhusip.2308541005@student.unud.ac.id]

²Program Studi Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Udayana [Email:
gayatri.2308541006@student.unud.ac.id]

³Program Studi Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Udayana [Email:
putri.2308541017@student.unud.ac.id]

⁴Program Studi Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Udayana [Email:
tarigan2308541019@student.unud.ac.id]

⁵Program Studi Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Udayana [Email: octavanny@unud.ac.id]

§Corresponding Author

ABSTRACT

The birth and death process is a powerful Markov process for modeling population changes due to two events: births and deaths. In this study, the birth and death events are described as the number of new infections and deaths due to the Covid-19 virus in East Kalimantan for the period 1–31 January 2021. In this study, the birth and death processes are used to analyze the data with a focus on estimating the parameters of the birth rate and death rate and observing the ratio between the two parameters. The results show that the estimated parameter values for the birth (λ) and death (μ) are 0.0139132 and 0.00024230, respectively, and the ratio of the two parameters is 57.42. This indicates that the birth and death rates in this case are still in the supercritical category. This means that without significant external interventions such as emergency PPKM (restrictions on community activities), mass vaccination, or drastic increases in testing and tracing capacity, the number of active cases is likely to increase indefinitely in the long term.

Keywords: Birth, death, Birth-and-death process, COVID-19, proses Marcov

1. PENDAHULUAN

Birth-and-death process adalah proses Markov kontinu yang paling sederhana namun sangat kuat untuk memodelkan populasi yang berubah karena dua kejadian yaitu kelahiran (*birth*) disimbolkan dengan λ dan kematian (*death*) disimbolkan dengan μ , di mana laju keduanya boleh bergantung pada ukuran populasi n saat itu. Penerapan *Birth-and-death process* terhadap suatu kasus berguna untuk melihat bagaimana dinamika perubahan jumlah kasus dari hari ke- n terhadap $n + 1$. *Birth-and-death process* sering menjadi pilihan untuk memodelkan dinamika penyebaran dari suatu penyakit menular.

COVID-19 merupakan penyakit yang disebabkan oleh virus SARS-CoV-2 yang ditemukan pada Desember 2019. Virus tersebut

secara cepat menyebar dan ditetapkan sebagai pandemi global pada 11 Maret 2020 oleh *World Health Organization* (WHO). Pandemi COVID-19 yang muncul pada akhir Desember 2019 di Wuhan, Tiongkok. Kasus awal penyebaran virus COVID-19 di Indonesia tercatat pada Maret 2020. Virus menyebar ke berbagai daerah dan memberikan tingkat resiko yang sama. Salah satu provinsi di Indonesia yang tidak luput dari pandemi COVID-19 adalah Kalimantan Timur. Mobilitas di Kalimantan Timur yang cukup tinggi, mengakibatkan lonjakan kasus terinfeksi dari 27.373 pada 1 Januari menjadi 41.212 pada 31 Januari 2021, disertai angka kematian harian yang fluktuatif (antara 3–14 kematian per hari).

Beberapa penelitian stokastik COVID-19 telah dilakukan, baik secara global maupun di

Indonesia. Secara global, A. Tchordadjieff et al. (2023) berhasil menggunakan birth-and-death process untuk estimasi reproduksi pertumbuhan harian dan prediksi kasus aktif di 38 negara bagian. Di Indonesia, Fatimatu Zahroh et al. (2021) memformulasikan model epidemik stokastik berbasis *birth-and-death process* untuk penyakit menular dengan mendefinisikan kejadian infeksi sebagai proses kelahiran (*birth*) dan keluarnya individu dari kelas terinfeksi sebagai proses kematian (*death*), serta menunjukkan bahwa pendekatan ini mampu menangkap fluktuasi stokastik dan probabilitas kepunahan penyakit yang tidak dapat dijelaskan oleh model deterministik. Selain itu Syams et al. (2021) menerapkan kerangka *birth-and-death process* dalam pemodelan penyakit menular berbasis *continuous-time Markov chain* untuk menganalisis dinamika wabah dan kestabilan stokastik sistem epidemi, yang menegaskan relevansi pendekatan *birth-and-death* dalam studi penyakit infeksi. Meskipun penelitian-penelitian tersebut menegaskan kekuatan *birth-and-death process* sebagai alat analisis stokastik epidemik, hingga kini belum ditemukan kajian yang secara eksplisit menerapkan *birth-and-death process* pada data kasus terinfeksi dan kematian harian COVID-19 di tingkat provinsi, khususnya Kalimantan Timur pada periode Januari 2021, sehingga penelitian ini penting untuk mengisi kekosongan kajian empiris berbasis data lokal dengan pendekatan stokastik yang tepat.

Oleh sebab itu, penelitian ini bertujuan untuk mengaplikasikan dan menganalisis model *Birth-and-Death Process* secara murni pada data kasus positif terinfeksi dan kematian COVID-19 di Kalimantan Timur periode 1–31 Januari 2021, dengan fokus pada estimasi parameter laju kelahiran dan laju kematian. Dalam konteks epidemi, “*birth*” diinterpretasikan sebagai kasus infeksi baru, sedangkan “*death*” mencakup kematian karena virus Covid-19.

2. METODE PENELITIAN

Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif karena dengan pendekatan pemodelan stokastik. Model yang digunakan adalah *birth-and-death process* untuk menganalisis dinamika kasus positif dan jumlah kematian covid-19 harian di Provinsi Kalimantan Timur pada Januari 2021. Data diperoleh dari Satu Data Kalimantan Timur. Variabel yang digunakan pada penelitian ini adalah data harian atau kasus

positif terdeteksi baru setiap hari sebagai variabel kelahiran (*birth*) dan data harian atau kasus meninggal baru setiap hari sebagai variabel kematian (*death*).

Tahapan Analisis

Tahapan analisis data pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Pengumpulan Data. Data yang akan digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yaitu data kasus positif dan kematian COVID-19 Provinsi Kalimantan Timur Periode Januari 2021.
2. Menghitung banyak kasus baru per hari yang positif dan meninggal. Banyak kasus per hari ini akan menjadi variabel *birth* dan *death*.
3. Visualisasi data. Grafik yang dibuat mencakup kurva jumlah kasus baru harian dan kurva jumlah kematian harian. Visualisasi data bertujuan untuk memberikan gambaran awal tentang tren peningkatan kasus aktif serta membantu mengidentifikasi apakah laju kelahiran cenderung lebih dominan dibandingkan laju kematian selama periode pengamatan.
4. Menghitung Statistik deskriptif dari data yang menjadi variabel *birth* dan variabel *death*. Statistik deskriptif meliputi, menghitung nilai rata-rata, median, modus, dan standar deviasi kasus dan kematian harian
5. Uji Distribusi. Dilakukan uji kesesuaian distribusi terhadap kasus baru terinfeksi dan kasus baru kematian setiap harinya selama periode bulan Januari menggunakan metode Kolmogorov -Smirnov dengan bantuan perangkat lunak SPSS. Jika hasil pengujian menunjukkan bahwa H_0 gagal ditolak, maka distribusi data dianggap sesuai dan hipotesis yang digunakan akan mengikuti bentuk distribusi tersebut (Lehmann & Romano, 2022).

Hipotesis yang diuji adalah:

Untuk Data Kasus Baru Positif Harian:

H_0 : Data kasus baru positif harian mengikuti distribusi Poisson.

H_1 : Data kasus baru positif harian tidak mengikuti distribusi Poisson.

Untuk Data Kasus Kematian harian akibat COVID-19 (*death*):

H_0 : Data kasus kematian harian akibat COVID-19 mengikuti distribusi Poisson.

H_1 : Data kasus kematian harian akibat COVID-19 tidak mengikuti distribusi Poisson.

Taraf nyata yang digunakan adalah $\alpha = 0,05$. Jika p-value $> \alpha$, maka H_0 diterima (data sesuai distribusi Poisson). Sebaliknya, jika p-value $\leq \alpha$, maka H_0 ditolak.

6. Model Birth and Death. Dinamika kasus aktif COVID-19 dimodelkan sebagai proses *birth and death* dengan laju konstan. “Kelahiran” (*birth*) didefinisikan sebagai kedatangan kasus baru harian (B_t) ke dalam sistem, sedangkan “kematian” (*death*) didefinisikan sebagai kasus yang keluar dari status aktif karena meninggal dunia (D_t) pada hari ke-t. Estimasi parameter laju kelahiran ($\hat{\lambda}$) dan laju kematian ($\hat{\mu}$) dilakukan menggunakan *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) dengan rumus:

$$\lambda = \frac{\sum B_t}{\sum X_{t-1}} \text{ dan } \mu = \frac{\sum D_t}{\sum X_{t-1}}$$

dengan X_{t-1} adalah jumlah kasus aktif pada hari sebelumnya.

7. Interpretasi Hasil

Langkah terakhir adalah melakukan interpretasi terhadap nilai-nilai parameter dan *traffic intensity* (ρ) yang merupakan rasio antara birth rate and death rate dengan klasifikasinya sebagai berikut.

- a. Jika $\rho < 1$, maka proses *subcritical* (laju kelahiran lebih kecil daripada laju kematian, populasi cenderung menuju ekstingsi)
- b. Jika $\rho = 1$, maka proses *critical* (laju kelahiran sama dengan laju kematian, populasi fluktuatif tapi rata-rata tetap)
- c. Jika $\rho > 1$, maka proses *supercritical* (laju kelahiran lebih besar daripada laju kematian, populasi cenderung bertambah tanpa batas).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data pasien positif terinfeksi dan meninggal COVID-19 di Kalimantan Timur pada Januari 2021. Data tersebut diperoleh dari Satu Data Kalimantan Timur yang dapat diakses melalui link berikut [Kumpulan data - Satu Data](#).

Tabel 1. Data Pasien Positif Terinfeksi dan Meninggal COVID-19 di Kalimantan Timur pada Januari 2021

Tanggal	Positif COVID-19	Meninggal COVID-19	Sembuh COVID-19
1/1/2021	27373	755	22891
1/2/2021	27587	759	23126
1/3/2021	27892	763	23344
1/4/2021	28077	769	23535
1/5/2021	28358	777	23811
1/6/2021	28733	782	23990
1/7/2021	29212	789	24252
1/8/2021	29724	797	24507
1/9/2021	30118	804	24700
1/10/2021	30511	808	25016
1/11/2021	30738	819	25328
1/12/2021	31076	827	25665
1/13/2021	31583	830	25928
1/14/2021	31990	844	26191
1/15/2021	32588	852	26486
1/16/2021	33158	860	26790
1/17/2021	33612	873	27186
1/18/2021	33966	881	27526
1/19/2021	34429	890	27915
1/20/2021	34972	901	28242
1/21/2021	35468	912	28539
1/22/2021	36048	921	28901
1/23/2021	36657	932	29225
1/24/2021	37089	939	29613
1/25/2021	37414	946	30074
1/26/2021	37971	955	30403
1/27/2021	38727	962	30744
1/28/2021	39186	968	31141
1/29/2021	39853	976	31594
1/30/2021	40554	987	31969
1/31/2021	41212	996	32514

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat bagaimana jumlah pasien atau kasus positif COVID-19 dan yang meninggal disebabkan oleh COVID-19.

Statistika Deskriptif

Dengan menggunakan *software minitab*, diperoleh bahwa

- a. Kasus Baru Positif / hari

Terdapat 31 hari pengamatan yang menghasilkan total 14.137 kasus baru selama Januari 2021, atau rata-rata 456 kasus per hari. Nilai ini menunjukkan tingginya intensitas penularan pada puncak gelombang kedua COVID-19 di Kalimantan Timur. Selain itu, rata-rata kasus baru positif harian di Kalimantan Timur pada Januari 2021 mencapai 14.137 kasus dengan standar deviasi yang sangat tinggi 147,7.

- b. Kasus Baru Kematian / hari

Terdapat 31 hari pengamatan yang menghasilkan total 253 kematian selama

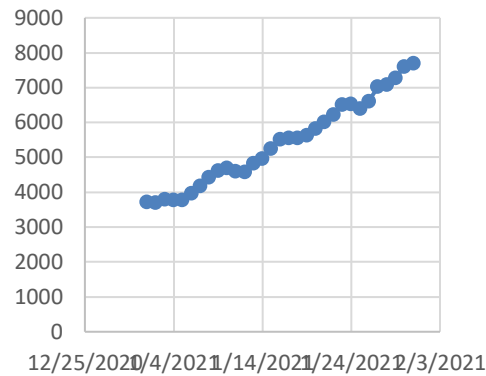
Januari 2021, atau rata-rata 8,1613 kematian per hari. Nilai ini menunjukkan tingkat fatalitas harian yang relatif rendah dibandingkan dengan jumlah kasus baru harian yang mencapai ratusan kasus pada periode yang sama. Selanjutnya, rata-rata kematian harian akibat COVID-19 di Kalimantan Timur pada Januari 2021 adalah 8,1613 dengan standar deviasi 2,709.

Tabel 2. Perkembangan Kasus Harian Pasien Positif dan Meninggal COVID-19

Pasien Positif Terinfeksi & Meninggal Covid-19 Kalimantan Timur Pada Januari 2021			Jumlah Kasus Baru (per hari)	
Tanggal	Positif COVID-19	Meninggal COVID-19	Kaus Baru Positif	Meninggal COVID-19
1/1/2021	27373	755	298	12
1/2/2021	27587	759	214	4
1/3/2021	27892	763	305	4
1/4/2021	28077	769	185	6
1/5/2021	28358	777	281	8
1/6/2021	28733	782	375	5
1/7/2021	29212	789	479	7
1/8/2021	29724	797	512	8
1/9/2021	30118	804	394	7
1/10/2021	30511	808	393	4
1/11/2021	30738	819	227	11
1/12/2021	31076	827	338	8
1/13/2021	31583	830	507	3
1/14/2021	31990	844	407	14
1/15/2021	32588	852	598	8
1/16/2021	33158	860	570	8
1/17/2021	33612	873	454	13
1/18/2021	33966	881	354	8
1/19/2021	34429	890	463	9
1/20/2021	34972	901	543	11
1/21/2021	35468	912	496	11
1/22/2021	36048	921	580	9
1/23/2021	36657	932	609	11
1/24/2021	37089	939	432	7
1/25/2021	37414	946	325	7
1/26/2021	37971	955	557	9
1/27/2021	38727	962	756	7
1/28/2021	39186	968	459	6
1/29/2021	39853	976	667	8
1/30/2021	40554	987	701	11
1/31/2021	41212	996	658	9

Visualisasi Data

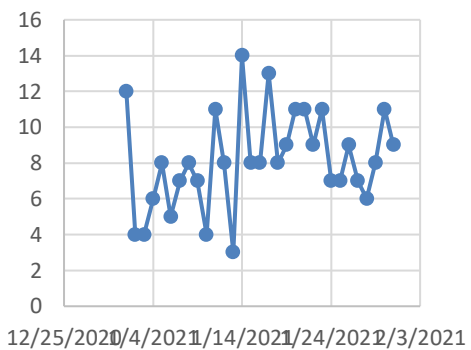
a. Kasus Baru Positif/hari



Gambar 1. Plot Kasus Baru Positif COVID-19 per Hari di Kalimantan Timur pada Januari 2021

Gambar 1 tersebut menunjukkan bahwa pada awal Januari 2021, jumlah kasus baru harian masih berkisar antara 200 – 400 kasus per hari dengan pola fluktuasi yang cukup tinggi namun belum menunjukkan lonjakan ekstrem. Pada pertengahan Januari 2021, terlihat adanya peningkatan yang sangat tajam di mana angka kasus baru harian melonjak hingga mencapai puncak tertinggi lebih dari 700 kasus, menandakan percepatan transmisi virus yang sangat cepat dalam waktu kurang dari tiga minggu. Menjelang akhir Januari 2021, angka kasus baru harian masih tetap tinggi di atas 600 kasus per hari tanpa menunjukkan tanda-tanda penurunan yang berarti.

b. Kasus Baru Kematian/hari



Gambar 2. Plot Kasus Baru Kematian COVID-19 per hari di Kalimantan Timur pada Januari 2021

Gambar 2 tersebut menunjukkan bahwa secara umum angka kematian harian selama periode tersebut berada pada kisaran 4-14 orang per hari dengan pola fluktuasi yang cukup tinggi. Pada awal Januari 2021, jumlah kematian harian masih relatif rendah di bawah 8 orang per hari, namun memasuki pertengahan Januari 2021 terlihat adanya beberapa lonjakan signifikan yang mencapai puncak tertinggi 14 kematian pada tanggal 14 Januari 2021. Meskipun angka kematian harian menunjukkan kecenderungan naik-turun, secara keseluruhan tetap berada pada level yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan jumlah kasus baru harian yang mencapai ratusan kasus setiap harinya. Rendahnya angka kematian harian relatif terhadap lonjakan kasus baru yang sangat tinggi ini mengindikasikan bahwa laju kematian ($\hat{\mu}$) dalam model *birth and death process* jauh lebih kecil dibandingkan laju kelahiran ($\hat{\lambda}$) yang direpresentasikan oleh kasus baru harian.

Uji Distribusi

Pada data dilakukan uji kesesuaian distribusi dengan bantuan perangkat lunak SPSS. Uji ini bertujuan untuk memverifikasi apakah data mengikuti distribusi Poisson. Hipotesis yang diuji adalah:

Untuk Data Kasus Baru Positif Harian (*birth*):
 H_0 : Data kasus baru positif harian mengikuti distribusi Poisson.

H_1 : Data kasus baru positif harian tidak mengikuti distribusi Poisson.

Taraf nyata yang digunakan adalah $\alpha = 0,05$. Jika $p\text{-value} > \alpha$, maka H_0 gagal tolak (data sesuai distribusi Poisson). Sebaliknya, jika $p\text{-value} \leq \alpha$, maka H_0 ditolak.

Diperoleh *output* uji distribusi yaitu

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

Birthfiks		
N		31
Poisson Parameter ^{a,b}	Mean	456.03000
Most Extreme Differences	Absolute	.409
	Positive	.409
	Negative	-.386
Kolmogorov-Smirnov Z		2.276
Asymp. Sig. (2-tailed)		<.001

a. Test distribution is Poisson.
 b. User-Specified

Gambar 3. Uji Kesesuaian Distribusi Terhadap Data Kasus Positif Baru Harian (*birth*)

Diperoleh dari gambar 3 nilai statistik dengan $p\text{-value} < 0,001$. Karena $p\text{-value} < 0,05$, maka hipotesis nol (H_0) ditolak. Dengan demikian, data kasus baru positif harian tidak mengikuti distribusi Poisson. Hal ini menunjukkan fluktuasi yang sangat besar dari hari ke hari, sehingga data kasus aktif baru harian tidak mengikuti distribusi poisson. Walaupun demikian, model *birth-and-death* tetap digunakan sebagai pendekatan stokastik dasar. Hal ini bersesuaian dengan asumsi dasar *birth-and-death* dalam *Continuous-Time Markov Chain* di mana waktu antar-kejadian diasumsikan berdistribusi eksponensial. Dengan demikian, penggunaan estimasi *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) akan tetap menghasilkan estimator parameter yang konsisten meskipun memiliki risiko terjadinya *underestimation* pada *standard error* pada parameter λ .

Untuk Data Kasus Baru Kematian harian akibat COVID-19 (*death*):

H_0 : Data kasus kematian harian akibat COVID-19 mengikuti distribusi Poisson.

H_1 : Data kasus kematian harian akibat COVID-19 tidak mengikuti distribusi Poisson.

Taraf nyata yang digunakan adalah $\alpha = 0,05$. Jika $p\text{-value} > \alpha$, maka H_0 gagal tolak (data sesuai distribusi Poisson). Sebaliknya, jika $p\text{-value} \leq \alpha$, maka H_0 ditolak.

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

death		
N		31
Poisson Parameter ^{a,b}	Mean	8.16
Most Extreme Differences	Absolute	.068
	Positive	.045
	Negative	-.068
Kolmogorov-Smirnov Z		.381
Asymp. Sig. (2-tailed)		.999

a. Test distribution is Poisson.

b. User-Specified

Gambar 4. Uji Kesesuaian Distribusi Terhadap Data Kasus Baru Kematian Harian (*death*)

Berdasarkan gambar 4, menunjukkan bahwa nilai statistik dengan $p\text{-value} = 0.999$. Karena $p\text{-value} = 0.999 > 0,05$, maka hipotesis nol (H_0) gagal ditolak. Dengan demikian, data kematian harian akibat COVID-19 di Kalimantan Timur pada Januari 2021 memenuhi asumsi distribusi Poisson.

Nilai Parameter λ dan μ

Estimasi parameter laju kelahiran (*birth*) yang disimbolkan dengan $\hat{\lambda}$ dan laju kematian (*death*) yang disimbolkan dengan $\hat{\mu}$ dihitung dengan menggunakan *Maximum Likelihood Estimation* (MLE). Diperoleh nilai parameter $\hat{\lambda} = 0,0883$ dan $\hat{\mu} = 0,0016$.

Selanjutnya dihitung nilai *traffic intensity* (ρ) yaitu

$$\rho = \frac{\hat{\lambda}}{\hat{\mu}} = \frac{0,0883}{0,0016} = 55,877 > 1.$$

Sehingga termasuk dalam kategori *supercritical*. Nilai ρ yang sangat besar ini mengindikasikan bahwa proses *birth-and-death* pada dinamika kasus aktif COVID-19 di Provinsi Kalimantan Timur Januari 2021 termasuk dalam kategori *supercritical*. Artinya, tanpa adanya intervensi eksternal yang signifikan seperti PPKM darurat, vaksinasi massal, atau peningkatan kapasitas testing dan tracing secara drastis, jumlah kasus aktif akan cenderung meningkat tanpa batas dalam jangka panjang. Hal ini konsisten dengan fakta empiris bahwa kasus aktif di Kalimantan Timur meningkat dari 3.727 jiwa pada 1 Januari 2021 menjadi 7.598 jiwa pada 31 Januari 2021, atau berada pada rata-rata lebih dari 5.339 jiwa sepanjang bulan tersebut. Probabilitas ekstingsi alami (P_0) pada kondisi *supercritical* dengan $\rho > 1$ adalah 0, yang berarti wabah tidak akan pernah padam dengan sendirinya pada kondisi transmisi Januari 2021. Kondisi peningkatan penyebaran virus tersebut berdampak pada jumlah pasien yang dirawat di rumah sakit di Kalimantan Timur. Wakil Ketua Komisi IV DPRD Kaltim, Ely Hartati Rasyid menyampaikan bahwa keterbatasan jumlah rumah sakit serta tenaga medis yang turut terpapar virus COVID-19, mengakibatkan pelayanan rumah sakit menjadi terganggu dan banyak pasien yang tidak memperoleh pengobatan dan penanganan medis dengan optimal (DPRD Provinsi Kalimantan Timur, 2021).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil pemodelan *birth-and-death process* terhadap data COVID-19 di Provinsi Kalimantan Timur periode Januari 2021, diperoleh bahwa dinamika kasus berada pada kondisi superkritis. Estimasi parameter menghasilkan laju kelahiran (*birth*) sebesar 0,0883 dan laju kematian (*death*) sebesar 0,0016, sehingga nilai *traffic intensity* (ρ) sebesar 55,877 > 1. Kondisi ini menunjukkan bahwa laju

munculnya kasus baru jauh lebih besar dibandingkan laju kematian, yang menyebabkan jumlah kasus aktif terus meningkat selama periode pengamatan. Hasil ini konsisten dengan peningkatan jumlah kasus aktif yang terjadi sepanjang Januari 2021.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan penggunaan model distribusi Binomial Negatif dikarenakan adanya indikasi overdispersi pada data. Selain itu, penggunaan model yang lebih fleksibel seperti *state-space model* atau model stokastik berbasis kompartemen dapat digunakan untuk meningkatkan akurasi dan kesesuaian model terhadap data empiris.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriani, L. (2022, January 26). *Komplikasi dan Kematian Akibat Covid-19 - Badan Kebijakan Pembangunan Kesehatan | BKPK Kemenkes*. BKPK Kemenkes. Retrieved November 23, 2025, from <https://www.badankebijakan.kemkes.go.id/ko mplikasi-dan-kematian-akibat-covid-19/>
- Fatimatu Zahroh, F., Sumarno, H., & Sianturi, P. (2021). An Analysis of CTMC Stochastic Models with Quarantine on the Spread of Tuberculosis Diseases. *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*, 53(1), 31-48. <https://doi.org/10.5614/j.math.fund.sci.2021.53.1.3>.
- Jannah, M., Karim, M. A., & Yulida, Y. (2021, September). Analisis Kestabilan Model SEIR untuk Penyebaran COVID-19 dengan Parameter Vaksinasi *Barekeng: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, 15(5), 535-542. <https://doi.org/10.30598/barekengvol15iss3p5355-542>
- Karim, M. A., & Yulida, Y. (2020, Juli). Analisa Pelaksanaan New Normal di Kalimantan Selatan melalui Model Matematika SIRD. *Media Bina Ilmiah (MBI)*, 14(12), 3681-3688.
- Lehmann, E. L., & Romano, J. P. (2022). *Testing Statistical Hypotheses*. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-70578-7>
- Syams, N. Y. N., Sumarno, H., & Sianturi, P. (2021). Analysis of SIS-SI Stochastic Model with CTMC on the Spread of Malaria Disease. *Journal of Mathematical and Fundamental Sciences*, 53(2), 166-181. <https://doi.org/10.5614/j.math.fund.sci.2021.53.2.1>.

Tchorbadjieff, A., Tomov, L. P., Velez, V.,
Dezhov, G., Manev, V., & Mayster, P. (2023).
On regime changes of COVID-19 outbreak.
JOURNAL OF APPLIED STATISTICS, 50(5),
11-12.

<https://doi.org/10.1080/02664763.2023.2177625>

DPRD Provinsi Kalimantan Timur. (2021).
*Faskes Rumah Sakit Rujukan COVID-19
Penuh, Pemerintah Diminta Kerahkan Segala
Kemampuan*. Diakses pada 1 Mei 2026, dari
[https://dprd.kaltimprov.go.id/post/faskes-
rumah-sakit-rujukan-covid-19-penuh-
pemerintah-diminta-kerahkan-segala-
kemampuan](https://dprd.kaltimprov.go.id/post/faskes-rumah-sakit-rujukan-covid-19-penuh-pemerintah-diminta-kerahkan-segala-kemampuan)