



PEMODELAN MATEMATIKA PENYEBARAN COVID-19 DI PROVINSI KALIMANTAN SELATAN

Oleh

Yuni Yulida¹⁾ & Muhammad Ahsar Karim²⁾

^{1,2}Program Studi Matematika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat

Email: ¹y_yulida@ulm.ac.id & ²m_ahsar@ulm.ac.id

Abstract

Mathematical modeling in epidemiology has a very important role in the study of the dynamics of an epidemic. The outbreak of Covid-19, which is currently being spread widely in the world requires in-depth study, starting from the search for sources, prediction of spread patterns, to strategies for handling this virus outbreak. Mathematical modeling can be applied to support various fields of the study. In this paper, we discuss mathematical modeling of the spread of Covid-19 by providing analysis and predictions based on data from the case of Covid-19 in South Kalimantan Province. This study was conducted by estimating parameters of the SIR Model, which is accommodates the death cases in the data, supported by several methods, namely Runge Kutta Method and Nonlinear Least Squares Method. Our analysis to the data and the model yields a Basic Reproduction Number $R_0 \approx 3$, which means that one individual infected by Covid-19 can produce three new infected individuals. Whereas our prediction shows that infected cases can reach to 37.82% and cases of death can reach to 0.49% of the population who remained in normal activities during the PSBB. The peaks of this case are estimated to occur in the 2nd week of August to the 1st week of October 2020. The fewer people who have normal activities, then the spread of Covid-19 is predicted to pass faster with smaller cases of infection and death. Conversely, the more people who have normal activities, then the spread of Covid-19 in South Kalimantan can take longer and take a higher number of victims.

Keywords: Mathematical Modeling, Covid-19, South Kalimantan Province, Parameter Estimation, SIR Model, Runge Kutta Method, Nonlinear Least Squares Method & Basic Reproduction Number

PENDAHULUAN

Pemodelan matematika telah banyak diaplikasikan pada berbagai kasus dalam kehidupan sehari-hari, salah satunya dalam bidang epidemiologi. Matematika memiliki peran yang sangat penting dalam mempelajari dinamika suatu wabah penyakit, mulai dari kajian pencarian sumber, penyebaran, prediksi pola, hingga strategi penanganannya. Bidang kajian ini biasa disebut dengan matematika epidemiologi.

Saat ini penduduk dunia sedang panik menghadapi wabah *Coronavirus Disease* 2019, disingkat Covid-19. Covid-19 atau lebih populer dengan nama virus corona diduga pertama kali berkontak dengan manusia di Wuhan, China pada 17 November 2019, kemudian dilaporkan mulai menyebar ke Eropa, Amerika, bahkan ke seluruh dunia sejak Desember 2019. Kasus Covid-19

diumumkan secara resmi sebagai pandemi global oleh WHO pada 11 Maret 2020 (Kompas.com., 2020).

Di Indonesia, temuan kasus Covid-19 pertama terkonfirmasi pada 2 Maret 2020 (Indonesia.go.id., 2020). Pemerintah Indonesia segera menindaklanjuti SOP pandemi tersebut dengan membatasi pergerakan ke dalam dan luar negeri hingga pergerakan antar pulau dan menerapkan pola bekerja dari rumah (*work from home*) secara luas sejak 16 Maret 2020. Para peneliti pun bereaksi atas pandemi tersebut dengan melakukan berbagai riset, salah satu yang populer pada bidang matematika epidemiologi adalah lahirnya berbagai prediksi puncak dari wabah Covid-19 di Indonesia. Badan Intelegen Negara (BIN) memprediksi bahwa penyebaran virus corona di tanah air akan mengalami



puncaknya pada Juli 2020 (Nasional.kontan.co.id., 2020). Sedangkan Nuning Nuraini dkk. memperkirakan (menggunakan Richard's Curve) bahwa endemik Covid-19 di Indonesia akan berakhir pada April 2020 dengan jumlah total kasus lebih dari 8.000 (Nuraini dkk., 2020). Rekan Nuraini, yaitu Hadi Susanto, seorang Profesor Matematika Terapan dari Universitas Essex, Inggris dan Universitas Sains dan Teknologi Khalifa, Uni Emirat Arab membuat prediksi sederhana (menggunakan Model SI) dengan mengasumsikan data kasus di Indonesia pada saat itu semuanya berada di Jakarta dan menghasilkan taksiran pertambahan kasus harian mencapai puncak sekitar 21 April 2020, yaitu sebesar 0.08% dari populasi Jakarta dengan kasus infeksi mencapai 50% populasi penduduk Jakarta (Hadisusanto.net., 2020). Di pihak lain, Yeni Herdiyeni dkk. memperkirakan (menggunakan Model SIR) puncak individu terinfeksi sekitar 60% dari populasi Suspek di Indonesia dan terjadi pada minggu pertama Mei 2020 (Agropustaka.id., 2020). Sedangkan Iwan Ariawan dkk. memprediksi sekitar 2,5 juta populasi Indonesia berpotensi terjangkit Covid-19 (Perdhaki.org., 2020). Sementara itu, Dedi Rosadi, seorang Guru Besar Statistika UGM bersama tim memprediksi (menggunakan Probabilistic Data-Driven Model) penyebaran Covid-19 di tanah air akan berhenti pada 29 Mei 2020, dengan total penderita positif mencapai sekitar 6.174 kasus (Ugm.ac.id., 2020). Tidak ketinggalan, Sutanto memperkirakan (menggunakan SIQR Model) puncak infeksi Covid-19 di Indonesia terjadi pada pertengahan Mei 2020 dengan jumlah terinfeksi mencapai 2.5% dari penduduk Indonesia (Uns.ac.id., 2020).

Provinsi Kalimantan Selatan sebagai salah satu wilayah di bagian tengah Indonesia tidak luput dari teror Covid-19. Kasus positif pertama di Kalsel terkonfirmasi pada 22 Maret 2020 (News.detik.com., 2020), dan masih terus mengalami peningkatan yang signifikan menjelang akhir Mei 2020. Hal ini dapat diamati dari update harian data kasus Covid-19 di laman Dinkes Prov. Kalimantan Selatan (Dinkes.kalselprov.go.id., 2020) yang terdiri dari

jumlah kasus ODP (Orang Dalam Pemantauan), PDP (Pasién Dalam Pengawasan), dan Positif (terdiri dari kasus Dalam Perawatan, Sembuh, dan Meninggal).

Pada penelitian ini, data kasus Covid-19 dari Dinkes Prov. Kalimantan Selatan akan dianalisa dengan menggunakan pemodelan matematika epidemiologi untuk memberikan prediksi puncak dan kejadian kasus Covid-19 di Kalimantan Selatan hingga akhir Tahun 2020. Model yang akan digunakan adalah Model SIR dengan mengakomodir kasus kematian yang disebabkan oleh Covid-19, sesuai dengan data yang tersedia. Model ini pertama kali diperkenalkan oleh W.O. Kermack dan A.G. McKendrick pada tahun 1927 dan sudah sejak lama berperan penting dalam mempelajari dinamika suatu wabah penyakit. Solusi Model SIR akan didekati secara numerik dengan menggunakan Metode Runge Kutta (Karim dkk., 2018). Kemudian prediksi kasus Covid-19 akan ditentukan dengan menggunakan Metode Kuadrat Terkecil Nonlinear (Karim, 2020).

LANDASAN TEORI

Bilangan Reproduksi Dasar

Bilangan Reproduksi Dasar (*Basic Reproduction Number*), biasa disimbolkan dengan R_0 berfungsi untuk menginformasikan penyebaran penyakit dan dapat menjadi parameter dalam memberikan strategi untuk pengendalian penyakit. Bilangan reproduksi ini dapat diartikan sebagai jumlah rata-rata kasus infeksi sekunder yang terjadi ketika individu yang terinfeksi masuk ke dalam populasi yang semuanya rentan (Diekmann dan Heesterbeek, 2000). Bilangan reproduksi dasar populer dalam pemodelan epidemiologi, yang bentuknya dapat berupa salah satu dari tiga nilai yang mungkin, yaitu:

$R_0 < 1$: Infeksi akan hilang seiring waktu (Potensi menularkan ke orang lain hampir tidak terjadi atau sangat kecil)

$R_0 = 1$: Infeksi akan menjadi endemik dan tetap ada pada populasi,



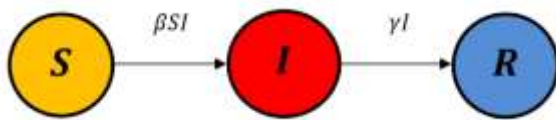
$R_0 > 1$: Akan ada epidemik dengan tingkat tinggi yang berkaitan dengan kematian (Potensi menularkan ke orang lain tinggi, wabah akan terus bertambah)

(Driessche & Watmough, 2002).

Model SIR

Model SIR diperkenalkan oleh W.O. Kermack dan A.G. McKendrick pada tahun 1927. Pada model epidemi ini, populasi diasumsikan terbagi menjadi tiga subpopulasi, yaitu: populasi rentan terinfeksi S (*Susceptible*), populasi terinfeksi I (*Infected*) dan populasi yang telah sembuh dari terinfeksi R (*Recovered*). Model SIR dapat digambarkan melalui kompartemen sebagai berikut:

Gambar 1. Diagram Model SIR



Model SIR Kermack-McKendrick pada Gambar 1 dapat dinyatakan dalam sistem persamaan diferensial nonlinear sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= -\frac{\beta SI}{N} \\ \frac{dI}{dt} &= \frac{\beta SI}{N} - \gamma I \\ \frac{dR}{dt} &= \gamma I \end{aligned} \quad (2.1)$$

dengan:

- t : Waktu,
- β, γ : Parameter-parameter positif, yaitu berturut-turut merupakan laju penularan suatu penyakit melalui kontak dan laju kesembuhan dari infeksi penyakit,
- $S(t)$: Jumlah individu yang rentan terhadap penyakit pada waktu t ,
- $I(t)$: Jumlah individu yang terinfeksi pada waktu t ,
- $R(t)$: Jumlah individu yang sembuh dari infeksi pada waktu t ,
- $N(t)$: Total populasi yang diamati, yaitu $N(t) = S(t) + I(t) + R(t)$

(H.W. Hethcote, 2000).

Metode Runge-Kutta

Metode Runge Kutta adalah salah satu metode numerik untuk mendekati solusi eksak dari suatu masalah (sistem) persamaan diferensial biasa. Metode ini memiliki berbagai variasi sesuai ordenya dan dikenal paling stabil diantara metode numerik lainnya. Misalkan diberikan persamaan diferensial biasa:

$$y'(x) = f(x, y(x)) \quad (2.2)$$

Bentuk umum dari metode Runge-Kutta untuk Masalah (2.2) terdiri dari:

fungsi utama:

$$y_{i+1} = y_i + (a_1 k_1 + a_2 k_2 + \dots + a_n k_n)h \quad (2.3)$$

dan fungsi evaluasi:

$$\begin{aligned} k_1 &= f(x_i, y_i), \\ k_2 &= f(x_i + p_1 h, y_i + q_{11} k_1 h), \\ k_3 &= f(x_i + p_2 h, y_i + q_{21} k_1 h + q_{22} k_2 h), \\ &\vdots \end{aligned} \quad (2.4)$$

$$\begin{aligned} k_n &= f(x_i + p_{n-1} h, y_i + q_{(n-1)1} k_1 h \\ &\quad + q_{(n-1)2} k_2 h + \dots \\ &\quad + q_{(n-1)(n-1)} k_{n-1} h) \end{aligned}$$

dengan konstanta real a_i, p_i, q_{ii} yang dapat ditentukan dengan menggunakan tabel Butcher (Karim, M.A. dkk., 2018).

Metode Kuadrat Terkecil Tak Linear

Fungsi objektif adalah fungsi tujuan yang akan dicapai dalam suatu proses optimasi. Fungsi ini akan dioptimalkan, yaitu dimaksimalkan jika berkaitan dengan keuntungan atau diminimumkan jika berkaitan dengan biaya produksi. Fungsi objektif secara umum dapat berupa fungsi *error* yang merupakan selisih dari data sebenarnya dengan data prediksi.

Metode kuadrat terkecil tak linear (*nonlinear least-squares*, biasa disingkat *lsqnonlin*) adalah suatu bentuk analisis kuadrat terkecil yang digunakan untuk menyesuaikan suatu set dari m pengamatan dengan model yang tak linear dalam n parameter yang tidak diketahui, dimana $m \geq n$ (Madsen, K. dkk., 2004). Tujuan utama dari metode ini adalah menemukan set parameter terbaik dengan iterasi yang berurutan, yang didasarkan pada asumsi kriteria henti (*stopping criteria*), yaitu suatu



keadaan dimana jumlah kuadrat tidak berkurang dari satu iterasi ke iterasi berikutnya (Karim, M.A. dkk., 2020).

Masalah *lsqnonlin* adalah meminimumkan:

$$\sum_{i=0}^m r_i(x)^2 = \|r(x)\|^2 \quad (2.5)$$

dengan r_i merupakan fungsi tak linear dan x adalah variabel vektor berdimensi n . Fungsi vektor $r: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m$, $m \geq n$, $r(x) = (r_1(x), r_2(x), \dots, r_m(x))$.

Mean Absolute Percentage Error

Mean Absolute Percentage Error (disingkat *MAPE*) menyatakan persentase kesalahan hasil pendugaan terhadap hasil aktual selama periode tertentu, yang akan memberikan informasi persentase kesalahan terlalu tinggi atau terlalu rendah. Dengan kata lain, *MAPE* merupakan rata-rata kesalahan mutlak selama periode tertentu yang kemudian dikalikan 100% agar mendapatkan hasil secara persentase. *MAPE* merupakan ukuran ketepatan relatif yang digunakan untuk mengetahui persentase penyimpangan hasil pendugaan. Pendekatan ini sangat berguna untuk mengevaluasi ketepatan dalam pendugaan.

Secara matematis, *MAPE* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$MAPE = \left(\frac{100}{N}\right) \sum_{i=1}^N \frac{|x_i - \tilde{x}_i|}{x_i} \quad (2.6)$$

dengan N menyatakan jumlah data, x_i menyatakan data aktual, dan \tilde{x}_i menyatakan data pendugaan (Gasperz, 2008).

Kriteria dalam *MAPE* ditentukan sebagai berikut:

- (1) $0\% \leq MAPE \leq 10\%$: Pendugaan sangat baik,
- (2) $10\% < MAPE \leq 20\%$: Pendugaan baik,

- (3) $20\% < MAPE \leq 50\%$: Pendugaan cukup baik atau dapat diterima,
- (4) $MAPE > 50\%$: Pendugaan buruk.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Kasus Covid-19 dan PSBB di Kalimantan Selatan

Data kasus Covid-19 dari laman Dinas Kesehatan Provinsi Kalimantan Selatan (Dinkes.kalselprov.go.id., 2020) mencakup rekam jumlah kasus ODP, PDP, dan Positif (terdiri dari kasus Dalam Perawatan/Terinfeksi, Sembuh, dan Meninggal). Data diupdate setiap hari sejak 22 Maret 2020, dimana terjadi kasus Positif Covid-19 pertama dengan status Dalam Perawatan. Dalam tulisan ini, data yang digunakan mulai 8 April 2020, dimana setiap kasus memiliki kejadian awal, hingga 20 Mei 2020, dimana Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB) baru saja diterapkan secara luas di Kalimantan Selatan.

Pembatasan Sosial Berskala Besar pertama dilaksanakan di Kota Banjarmasin (berdasarkan SK Menteri Kesehatan Nomor HK.01.07/Menkes/262/2020) yang mulai diterapkan oleh pemerintah setempat pada 24 April 2020. Kemudian disusul Kabupaten Banjar, Kabupaten Barito Kuala dan Kota Banjarbaru (berdasarkan SK Menteri Kesehatan Nomor HK.01.07/MENKES/304/2020) yang mulai diterapkan pada 16 Mei 2020.

Model Matematika SIR untuk Kasus Covid-19 di Kalimantan Selatan

Model SIR yang digunakan didasarkan pada Model (2.1), dengan mengakomodir adanya kasus Meninggal pada data kasus Covid-19 di Kalimantan Selatan. Oleh karena itu, Model (2.1) dimodifikasi menjadi:

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= \frac{-\beta SI}{N} \\ \frac{dI}{dt} &= \frac{\beta SI}{N} - (\gamma + \mu)I \\ \frac{dR}{dt} &= \gamma I \end{aligned} \quad (3.1)$$



dengan μ menyatakan laju kematian karena terinfeksi Covid-19.

Data kasus Covid-19 di Kalimantan Selatan didekati dengan Model (3.1) dengan pengelompokan populasi sebagai berikut:

- S : Jumlah akumulasi populasi ODP, PDP, dan penduduk rentan terinfeksi selain itu,
- I : Jumlah populasi Terinfeksi,
- R : Jumlah populasi Sembuh,
- D : Jumlah populasi Meninggal (*death*), dengan $D = \mu I$.

Berdasarkan pengelompokan ini, maka grafik data kasus Covid-19 di Kalimantan Selatan dapat dilihat pada Gambar 2 dalam pembahasan sub-bab 3.3 berikutnya.

Estimasi Parameter

Parameter Model (3.1), yaitu β, γ , dan μ diestimasi dengan menggunakan Metode Kuadrat Terkecil Tak Linear (*lsqnonlin*). Metode ini menggunakan data yang ada dan solusi dari Model (3.1). Solusi model tersebut ditentukan dengan menggunakan Metode Runge-Kutta.

Fungsi obyektif dibentuk sebagai berikut:

$$\min_{\beta, \gamma, \mu} \|f(\beta, \gamma, \mu)\|^2$$

$$= \min_{\beta, \gamma, \mu} \frac{1}{3N} \left(\begin{aligned} &\sum_{t=0}^{N-1} (S(t) - S_{data}(t)) \\ &+ \sum_{t=0}^{N-1} (I(t) - I_{data}(t)) \\ &+ \sum_{t=0}^{N-1} (R(t) - R_{data}(t)) \end{aligned} \right) \quad (3.2)$$

dengan f fungsi dalam β, γ, μ dan N menyatakan banyaknya data dari setiap kasus. Parameter β, γ, μ masing-masing diestimasi pada interval $[0,1]$. Melalui proses numerik pada Persamaan (3.2) diperoleh hasil estimasi parameter sebagai berikut:

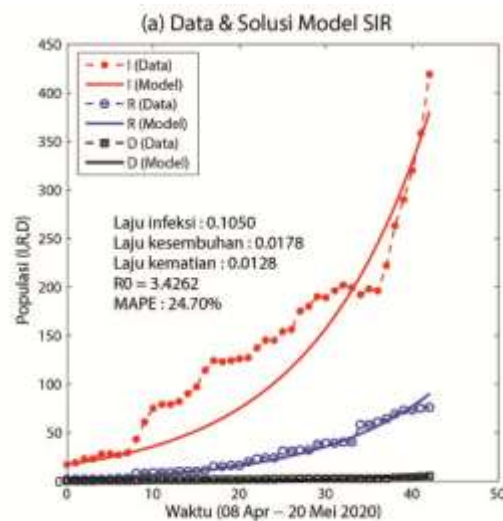
$$\beta = 0.1050, \gamma = 0.0178, \text{ dan } \mu = 0.0128. \quad (3.3)$$

Nilai $\beta = 0.1050$ berarti bahwa terdapat 1 orang terinfeksi dari 10 orang yang suspek, $\gamma = 0.0178$ berarti bahwa terdapat sekitar 18 orang yang sembuh dari 1000 orang yang terinfeksi, dan $\mu =$

0.0128 berarti bahwa terdapat sekitar 13 orang meninggal dari 1000 penduduk yang terinfeksi Covid-19.

Berdasarkan nilai-nilai parameter pada Persamaan (3.3) maka diperoleh nilai R_0 dan kurva solusi Model (3.1). Nilai $R_0 = 3.4262 \approx 3$, artinya setiap 1 individu terinfeksi (I) dapat menghasilkan 3 individu baru yang terinfeksi. Grafik I, R , dan D dari Model (3.1) diberikan pada Gambar 2 berikut ini.

Gambar 2. Hasil estimasi parameter kasus Covid-19 di Kalimantan Selatan



Gambar 2 (a) menunjukkan data kasus Covid-19 di Provinsi Kalimantan Selatan dan solusi Model (3.1). Tanda bintang pada kurva putus-putus berwarna merah menyatakan data kasus terinfeksi (I), tanda lingkaran pada kurva putus-putus biru menyatakan data kasus sembuh (R), dan tanda kotak pada kurva putus-putus hitam menyatakan data kasus kematian (D). Sedangkan kurva berwarna merah menyatakan solusi kasus terinfeksi (I), kurva biru menyatakan solusi kasus sembuh (R), dan kurva hitam menyatakan solusi kasus kematian (D). Dari data dan solusi tersebut diperoleh nilai $MAPE = 24.70\%$. Nilai $20 \leq MAPE \leq 50$ menunjukkan bahwa prediksi yang dilakukan cukup baik atau dapat diterima (*reasonable forecast*).

Pada Gambar 2 (b) menunjukkan prediksi puncak kasus terinfeksi (I) dan kasus kematian (D) karena Covid-19 di Kalimantan Selatan.

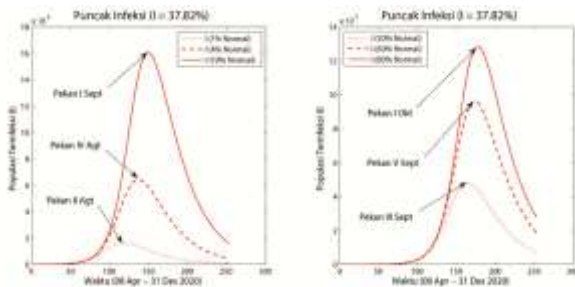


Puncak kasus terinfeksi (*I*) mencapai 37.82%. Jika 1% populasi penduduk Kalimantan Selatan, atau sekitar 42.441 penduduk tetap beraktivitas normal di masa PSBB (dalam tulisan ini disebut 1% Normal), maka puncak kasus terinfeksi (*I*) diperkirakan terjadi pada Pekan II Agustus 2020, dengan kasus sekitar 16.052 jiwa terinfeksi virus corona. Sedangkan puncak kasus kematian (*D*) mencapai 0.49% pada Pekan II Agustus 2020. Dalam hal 1% Normal, diperkirakan terdapat 206 Orang yang meninggal karena virus corona.

Beberapa skenario diprediksi berdasarkan jumlah penduduk yang tetap beraktivitas normal di masa PSBB. Skenario yang diberikan adalah: 1% Normal, 4% Normal, 10% Normal, 30% Normal, 60% Normal, dan 80% Normal. Skenario 1% Normal diartikan sebagai 1% Populasi penduduk Kalimantan Selatan tetap beraktivitas normal di masa PSBB, demikian juga untuk skenario yang lainnya.

Grafik perkiraan waktu dan jumlah puncak kasus terinfeksi Covid-19 di Kalimantan Selatan untuk setiap skenario tersebut diberikan pada Gambar 3 berikut ini.

Gambar 3. Perkiraan puncak kasus Infeksi (*I*) = 37.82%



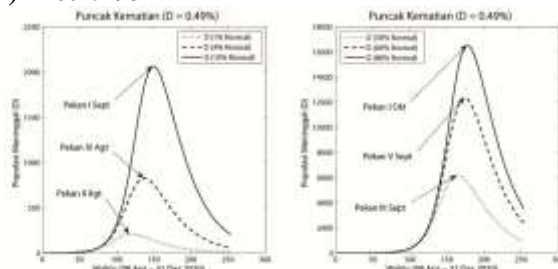
Gambar 3 menunjukkan perkiraan puncak waktu dan jumlah kasus terinfeksi Covid-19 di Kalimantan Selatan dalam 6 (enam) skenario yang diberikan. Perkiraan tersebut diberikan dalam Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Perkiraan Puncak Waktu dan Jumlah Kasus Terinfeksi Covid-19 di Kalsel

No.	Skenario	Waktu (2020)	Jumlah Kasus (Jiwa)
1	1% Normal	Pekan ke II Agustus	16.052
2	4% Normal	Pekan ke IV Agustus	64.158
3	10% Normal	Pekan ke I September	160.510
4	30% Normal	Pekan ke III September	481.550
5	60% Normal	Pekan ke V September	961.510
6	80% Normal	Pekan ke I Oktober	1.283.600

Selanjutnya, grafik perkiraan puncak waktu dan jumlah kasus kematian Covid-19 di Kalimantan Selatan untuk keenam skenario tersebut diberikan pada Gambar 4 berikut ini.

Gambar 4. Perkiraan puncak kasus Kematian (*D*) = 0.49%



Gambar 4 menunjukkan perkiraan puncak waktu dan jumlah kasus kematian karena Covid-19 di Kalimantan Selatan dalam enam skenario yang diberikan. Perkiraan tersebut diberikan dalam Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Perkiraan Puncak Waktu dan Jumlah Kasus Kematian karena Covid-19 di Kalsel

No.	Skenario	Waktu (2020)	Jumlah Kasus (Jiwa)
1	1% Normal	Pekan ke II Agustus	206
2	4% Normal	Pekan ke IV Agustus	824
3	10% Normal	Pekan ke I September	2.062
4	30% Normal	Pekan ke III September	6.187
5	60% Normal	Pekan ke V September	12.353



6	80% Normal	Pekan ke I Oktober	16.491
---	---------------	-----------------------	--------

Dari Gambar 3 & 4 ditunjukkan juga prediksi harian kasus terinfeksi dan kematian karena Covid-19 di Kalimantan Selatan hingga akhir Tahun 2020. Perkiraan kasus di penghujung Tahun 2020 untuk keenam skenario diberikan dalam Tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Perkiraan Kasus Terinfeksi dan Kematian karena Covid-19 di Kalsel pada 31 Desember 2020

No.	Skenario	Kasus Terinfeksi (Jiwa)	Kasus Kematian (Jiwa)
1	1% Normal	666	8
2	4% Normal	4.506	58
3	10% Normal	15.887	204
4	30% Normal	71.821	923
5	60% Normal	185.750	2.386
6	80% Normal	274.880	3.531

PENUTUP

Kesimpulan

1. Nilai Bilangan Reproduksi Dasar $R_0 \approx 3$ mengisyaratkan bahwa setiap 1 individu terinfeksi Covid-19 di Kalimantan Selatan dapat menghasilkan 3 individu baru yang terinfeksi.
2. Puncak dari kasus terinfeksi mencapai 37.82% dan kematian mencapai 0.49%. Hal ini diperkirakan terjadi pada pekan ke-2 Agustus hingga pekan ke-1 Oktober 2020. Jika seluruh masyarakat di Kalimantan Selatan serius mendukung & menjalankan PSBB sehingga jumlah penduduk yang beraktivitas normal dapat ditekan hingga hanya sekitar 1%, bahkan diharapkan lebih rendah dari itu, maka penyebaran wabah Covid-19 diprediksi dapat lebih cepat berlalu dengan kasus infeksi dan kematian yang lebih kecil. Namun jika sebaliknya, maka wabah Covid-19 di Kalimantan Selatan dapat berlangsung lebih lama dan memakan korban yang lebih banyak.

Saran

1. Prediksi dari pemodelan matematika epidemi Covid-19 ini sangat bergantung pada akurasi rekam data kasus Covid-19 di Kalimantan Selatan & pendekatan model matematika yang digunakan. Oleh karena itu, diharapkan kepada pihak-pihak yang berwenang untuk memperbanyak *rapid test* massal hingga menyeluruh dan terus mendorong penelitian dalam penanganan epidemi Covid-19.
2. Jika pihak-pihak yang berwenang mempertimbangkan pelaksanaan relaksasi PSBB di Kalimantan Selatan, maka disarankan bahwa relaksasi baru dapat dilakukan ketika data kasus Covid-19 menunjukkan penurunan jumlah. Dalam pemodelan matematika ini, prediksi penurunan kasus mulai terjadi sekitar pekan ke-III Agustus hingga pekan ke-II Oktober 2020, tergantung skenario yang berjalan selama PSBB berlangsung. Jika relaksasi PSBB dilakukan, maka perlu diwaspadai peningkatan kembali kasus infeksi & kematian (yang dikenal dengan istilah *second wave*). Relaksasi perlu didukung oleh berbagai penelitian serta upaya penemuan vaksin & obat untuk mencegah *second wave*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agropustaka.id. (2020, 29 Maret). Model Prediksi Covid-19 di Indonesia untuk Perencanaan Mitigasi Resiko Terhadap Dampak Epidemiologi, Sosial dan Ekonomi. Diakses pada 20 Mei 2020, dari http://www.agropustaka.id/wp-content/uploads/2020/04/agropustaka.id_Model-Prediksi-Korona-Covid-19-di-Indonesia-untuk-Perencanaan-Mitigasi-Resiko-Terhadap-Dampak-Epidemiologi-Sosial-dan-Ekonomi.pdf
- [2] Diekmann, O. and Heesterbeek, J.A.P. 2000. *Mathematical Epidemiology of Infectious Diseases*, Wiley, New York.



- [3] Dinkes.kalselprov.go.id. (2020, 22 Maret - 20 Mei). Informasi Terbaru Covid-19 di Kalimantan Selatan. Diakses harian pada 22 Maret - 20 Mei 2020, dari <http://dinkes.kalselprov.go.id/berita>
- [4] Driessche, P. dan Watmough, J. 2002. Reproduction Numbers and Sub-Threshold Endemic Equilibria for Compartmental Models of Disease Transmission. *Mathematical Bioscience*, Vol. 180 (2002), Hal. 29-48.
- [5] Hadisusanto.net. (2020, 16 Maret). Kalau Kita Tidak Serius, Puncak Covid-19 di Indonesia bisa Sekitar 2 Bulan Lagi, di Bulan Ramadan. Diakses pada 20 Mei 2020, dari <http://hadisusanto.net/paper2/covid19.pdf>
- [6] Hethcote, H.W. 2000. The mathematics of infectious diseases. *SIAM*, Rev. 42, No. 599
- [7] Indonesia.go.id. (2020, 2 Maret). Kasus Covid-19 Pertama, Masyarakat Jangan Panik. Diakses pada 20 Mei 2020, dari <https://indonesia.go.id/narasi/indonesia-dalam-angka/ekonomi/kasus-covid-19-pertama-masyarakat-jangan-panik>
- [8] Karim, M.A., Gunawan, A.Y., Apri, M., dan Sidarto, K.A. (2018). Solving a Parameter Estimation Problem of Goodwin Model with Fuzzy Initial Values. *Far East Journal of Mathematical Sciences*, Vol. 107 (2), Hal. 321-338.
- [9] Karim, M.A. dan Gunawan, A.Y. (2020). Parameter Estimations of Fuzzy Forced Duffing Equation: Numerical Performances by the Extended Runge-Kutta Method. *Abstract and Applied Analysis*, Vol. 2020, Article ID: 6179591, 9 Halaman. Dapat diakses dari <https://doi.org/10.1155/2020/6179591>.
- [10] Kompas.com. (2020, 12 Maret). WHO Umumkan Virus Corona sebagai Pandemi Global. Diakses pada 20 Mei 2020, dari <https://www.kompas.com/global/read/2020/03/12/001124570/who-umumkan-virus-corona-sebagai-pandemi-global?page=all>
- [11] Madsen, K. dkk. 2004. *Methods for Non-Linear Least Squares Problems*. Informatics and Mathematical Modelling, 2nd Edition, Denmark.
- [12] Nasional.kontan.co.id. (2020, 3 April). Data BIN: Juli 2020 jadi puncak penyebaran corona di Indonesia. Diakses pada 20 Mei 2020, dari <https://nasional.kontan.co.id/news/data-bin-juli-2020-jadi-puncak-penyebaran-corona-di-indonesia>
- [13] News.detik.com. (2020, 22 Maret). Tanggap Darurat, Kalsel Konfirmasi Kasus Pertama Positif Corona. Diakses pada 20 Mei 2020, dari <https://news.detik.com/berita/d-4949010/tanggap-darurat-kalsel-konfirmasi-kasus-pertama-positif-corona>
- [14] Nuraini, N., Khairudin, K., dan Apri, M. 2020. Modeling Simulation of COVID-19 in Indonesia based on Early Endemic. *Commun. Biomath. Sci.*, Vol. 3, No. 1, Hal. 1-8.
- [15] Perdhaki.org. (2020, 27 Maret). COVID-19 Modelling Scenarios Indonesia. Diakses pada 20 Mei 2020, dari <https://perdhaki.org/wp-content/uploads/2020/03/Covid-19-modelling-27-Maret-2020-rev-18.09.pdf>
- [16] Ugm.ac.id. (2020, 1 April). Pakar UGM Prediksi Penyebaran Covid-19 di Indonesia Selesai Akhir Mei 2020. Diakses pada 20 Mei 2020, dari <https://www.ugm.ac.id/id/berita/19211-pakar-ugm-prediksi-penyebaran-covid-19-di-indonesia-selesai-akhir-mei-2020>
- [17] Uns.ac.id. (2020, 26 Maret). Pertengahan Mei Jadi Puncak Infeksi Covid-19 di Indonesia: Prediksi Pakar Matematika UNS. Diakses pada 20 Mei 2020, dari <https://uns.ac.id/id/uns-update/pertengahan-mei-jadi-puncak-infeksi-covid-19-di-indonesia-prediksi-pakar-matematika-uns.html>
- [18] Vincent, G. 2008. *Production Planning And Inventory Control*. PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.