

MODEL SIR (SUSCEPTIBLE, INFECTED, REMOVED) PENYEBARAN COVID-19 DI PROVINSI PAPUA BARAT

SIR (Susceptible, Infected, Removed) Model for Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) in West Papua Province

Triono Wahyu Diamtoro¹⁾, Tri Widjajanti²⁾, Dariani Matualage³⁾

^{1,2,3}Jurusan Matematika dan Statistika FMIPA Universitas Papua, Manokwari 98314, Indonesia

Email: ¹trionowahyu8@gmail.com, ²djajanti03@gmail.com, ³d.matualage@unipa.ac.id

ABSTRACT

Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) is an infectious disease that has been declared a global pandemic by the World Health Organization (WHO). Indonesia is one of the countries affected by this disease and has spread to all provinces including West Papua Province. The purpose of writing this thesis is to determine a model for the spread of COVID-19 in West Papua, to analyze the point of equilibrium and stability and to determine the basic reproduction number R_0 model. The model used is the SIR epidemiological model and to analyze the equilibrium point and data collection, the author used the Mapple 13 application. The result of this study are a mathematical model based on the assumptions of the spread of COVID-19 in West Papua namely:

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= -\frac{\beta SI}{N} \\ \frac{dI}{dt} &= \frac{\beta SI}{N} - \alpha I \\ \frac{dR}{dt} &= \alpha I.\end{aligned}$$

The equilibrium obtained based on the equilibrium analysis is the non-endemic equilibrium point, namely $E = (S_0, I_0, R_0) = (N, 0, 0)$ which is categorized as stabil neutral. The basic reproduction number (R_0) obtained based on the SIR COVID-19 model in West Papua is

$$R_0 = \frac{\beta}{\alpha}$$

with $R_0 = 1,2$. Because the value of $R_0 > 1$ means that the spread of COVID-19 in West Papua will increase to become an epidemic.

Keywords: SIR, COVID-19, Equilibrium Point, Basic Reproduction Number

PENDAHULUAN

Coronavirus Disease 2019 (COVID-19) adalah penyakit menular yang telah dinyatakan sebagai *global pandemic* oleh *World Health Organization* (WHO). Indonesia merupakan salah satu negara yang terjangkiti penyakit ini dan telah menyebar ke seluruh provinsi termasuk Provinsi Papua Barat. Penyebaran COVID-19 di Papua Barat telah mencakup 12 kabupaten/kota dari total 13 kabupaten/kota. Penyebaran COVID-19 dapat dibuat dalam model matematika dari fenomena

yang ada berdasarkan asumsi-asumsi yang digunakan atau disebut Pemodelan Matematika. Model Matematika yang digunakan adalah model epidemiologi yang diperkenalkan pertama kali oleh Kermack dan McKendrick (1927) untuk meramalkan fenomena penyakit menular pada masa itu. Model epidemiologi dibagi menjadi tiga kompartemen, yaitu *Susceptible* $S(t)$ menunjukkan jumlah individu yang rentan, *Infected* $I(t)$ menunjukkan jumlah individu yang terinfeksi, dan *Removed* $R(t)$

menunjukkan jumlah individu yang sembuh dan biasa disebut Model SIR (*Susceptible Infected Removed*). Model SIR digunakan untuk menggambarkan bahwa perjalanan individu adalah dari populasi rentan (*S*) ke populasi terinfeksi (*I*) lalu ke populasi sembuh (*R*). Pada model SIR, diasumsikan bahwa individu yang sembuh memiliki kekebalan untuk tidak terinfeksi kembali. Biasanya, penyakit yang disebabkan oleh virus adalah jenis penyakit dengan model SIR dan penyakit yang disebabkan oleh bakteri adalah jenis penyakit dengan model SIS (Brauer & Carlos-Chaves, 2001). Dalam penelitian ini, akan diasumsikan bahwa tidak ada periode laten dalam kasus COVID-19 di Papua Barat. Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah untuk menentukan model penyebaran COVID-19 di Papua Barat, menganalisis titik kesetimbangan dan kestabilan serta menentukan bilangan reproduksi dasar R_0 model tersebut. Model yang digunakan adalah model epidemiologi SIR dan untuk menganalisis titik kesetimbangan dan simulasi data, penulis menggunakan bantuan aplikasi *Maple 13*.

METODE PENELITIAN

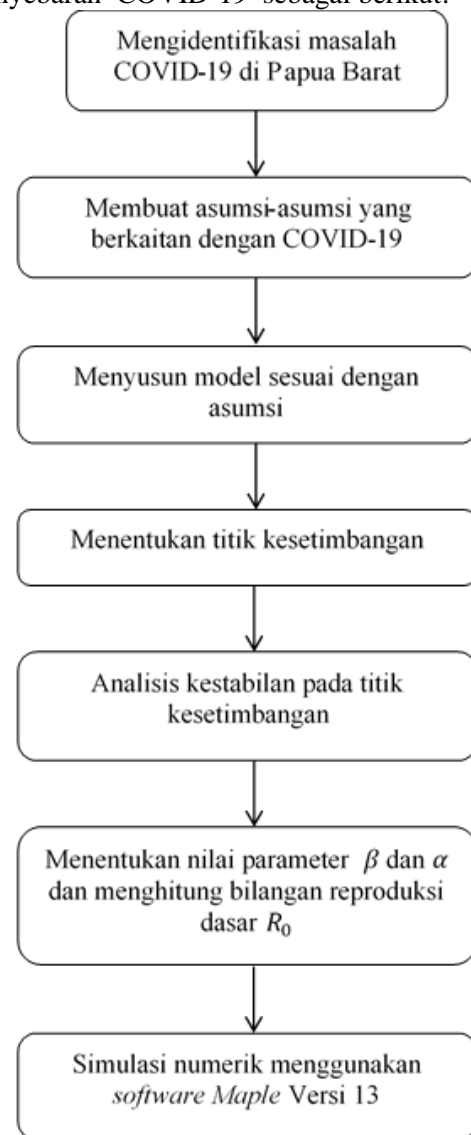
Penelitian ini dilaksanakan selama kurang lebih 6 bulan dengan menerapkan sistem bekerja dari rumah atau *Work From Home* (WFH).

Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain: Personal komputer, *Software Maple* Versi 13, *Microsoft Excel* dan literatur-literatur yang berhubungan dengan penelitian ini.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari situs web Dinas Kesehatan Provinsi Papua Barat berupa data kasus penyebaran COVID-19 di Papua Barat. Data sekunder dari buku elektronik Papua Barat dalam Angka Tahun 2020 yang diterbitkan oleh Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Papua Barat berupa data Jumlah Penduduk Papua Barat.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode penelitian kepustakaan atau studi literatur. Adapun langkah-langkah

dalam pembentukan model matematika penyebaran COVID-19 sebagai berikut:



Gambar 3.1 Skema Analisis Data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Asumsi-asumsi Penyebaran COVID-19 di Papua Barat

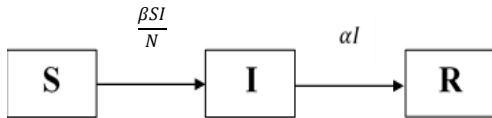
Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah

1. Kelahiran dan kematian alami di abaikan.
2. Imigrasi dan emigrasi diabaikan.
3. Kematian akibat penyakit diabaikan.
4. Faktor lingkungan diabaikan (tidak ada Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB) dan *Lockdown*).
5. Populasi dibedakan menjadi tiga kelompok yaitu populasi individu sehat

- yang rentan (S), populasi individu yang telah terinfeksi (I) dan populasi individu yang telah sembuh (R) dan kebal dari penyakit.
6. Tidak ada masa inkubasi atau individu dapat menularkan penyakit setelah terinfeksi.

Kompartemen dan Model SIR Penyebaran COVID-19 di Papua Barat

Asumsi-asumsi dalam penelitian ini digunakan untuk memperoleh model matematika penyebaran COVID-19 di Papua Barat dengan metode SIR dengan kompartemen model seperti Gambar 4.1



berikut.

Gambar 4. 1 Kompartemen Model Diagram SIR.

dengan parameter laju populasi yang terinfeksi adalah β dan parameter laju populasi yang sembuh adalah α .

Sebelum membentuk model matematika penyebaran COVID-19 di Papua Barat, terlebih dahulu dibentuk seperti berikut:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Rata - rata} \\ \text{pertambahan} \\ \text{populasi susceptible} \\ \text{per satuan waktu} \end{array} \right\} = - \left\{ \begin{array}{l} \text{Laju populasi} \\ \text{susceptible} \\ \text{ke infected per total populasi} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Rata - rata} \\ \text{pertambahan} \\ \text{populasi infected} \\ \text{per satuan waktu} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Laju populasi} \\ \text{susceptible} \\ \text{ke infected per total populasi} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{Laju} \\ \text{kesembuhan} \\ \text{manusia} \\ \text{pada populasi} \\ \text{infected} \end{array} \right\}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Rata - rata} \\ \text{pertambahan} \\ \text{populasi Removed} \\ \text{per satuan waktu} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Laju} \\ \text{kesembuhan} \\ \text{manusia} \\ \text{pada populasi} \\ \text{infected} \end{array} \right\}$$

Sehingga berdasarkan kompartemen, diperoleh model matematika penyebaran COVID-19 di Papua Barat sebagai berikut:

$$\frac{dS}{dt} = - \frac{\beta SI}{N},$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\beta SI}{N} - \alpha I, \tag{4.1}$$

$$\frac{dR}{dt} = \alpha I,$$

dengan $S + I + R = N$.

Menentukan Titik Kesetimbangan

Persamaan (4.1) titik kesetimbangannya dinyatakan dalam bentuk $E(S, I, R)$.

Titik kesetimbangan dari (4.1) akan diperoleh dengan menyelesaikan

$$\frac{dS}{dt} = \frac{dI}{dt} = \frac{dR}{dt} = 0. \tag{4.2}$$

Titik kesetimbangan berdasarkan data dari Dinas Kesehatan provinsi Papua Barat dapat dinyatakan dalam bentuk $E = (S_0, I_0, R_0)$. Dengan bantuan *Software Maple* Versi 13 diperoleh titik kesetimbangan sebagai berikut :

$$E = (S, 0, R) \tag{4.3}$$

dengan E merupakan titik kesetimbangan tak endemik.

Karena titik kesetimbangan $I = 0$ atau belum ada individu yang terinfeksi sehingga titik kesetimbangan untuk $R = 0$ atau belum ada individu yang sembuh. Diketahui $S + I + R = N, I = 0$ dan $R = 0$ maka, $S + 0 + 0 = N$ atau $S = N$ sehingga (4.3) menjadi $E = (N, 0, 0)$.

Analisis Kestabilan Titik Kesetimbangan

Analisis kestabilan pada titik kesetimbangan dengan cara pelinearisan suatu sistem model penyebaran COVID-19. Diketahui bahwa (S, I, R) adalah titik kesetimbangan dan misal fungsi kontinu $f_1, f_2,$ dan f_3 dengan

$$\frac{dS}{dt} = f_1(S, I, R),$$

$$\frac{dI}{dt} = f_2(S, I, R),$$

$$\frac{dR}{dt} = f_3(S, I, R).$$

maka, persamaan yang akan dilinearisasikan adalah

$$f_1(S, I, R) = - \frac{\beta SI}{N},$$

$$f_2(S, I, R) = \frac{\beta SI}{N} - \alpha I,$$

$$f_3(S, I, R) = \alpha I.$$

maka diperoleh

$$J(x) = \begin{bmatrix} -\frac{\beta I}{N} & -\frac{\beta S}{N} & 0 \\ \frac{\beta I}{N} & \frac{\beta S}{N} - \alpha & 0 \\ 0 & \alpha & 0 \end{bmatrix}.$$

Analisis kestabilan titik kesetimbangan $E = (S_0, I_0, R_0)$. $E = (N, 0, 0)$

$$S_0 = N, I_0 = 0, R_0 = 0.$$

$$J[E] = \begin{bmatrix} 0 & -\beta & 0 \\ 0 & \beta - \alpha & 0 \\ 0 & \alpha & 0 \end{bmatrix}$$

$$\det[\lambda I - J(E_0)] = 0.$$

$$\det \left(\lambda \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & -\beta & 0 \\ 0 & \beta - \alpha & 0 \\ 0 & \alpha & 0 \end{bmatrix} \right) = 0.$$

$$\det \left(\begin{bmatrix} \lambda & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & 0 \\ 0 & 0 & \lambda \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 & -\beta & 0 \\ 0 & \beta - \alpha & 0 \\ 0 & \alpha & 0 \end{bmatrix} \right) = 0.$$

$$\det \left(\begin{bmatrix} \lambda & \beta & 0 \\ 0 & \lambda - \beta + \alpha & 0 \\ 0 & -\alpha & \lambda \end{bmatrix} \right) = 0. \quad (4.6)$$

Persamaan karakteristik dari (4.6) adalah $(\lambda)(\lambda - \beta + \alpha)(\lambda) = 0$ (4.7)

Atau $(\lambda) = 0$

$$\lambda_1 = 0. \quad (4.8)$$

$$(\lambda - \beta + \alpha) = 0$$

$$\lambda_2 = \beta - \alpha. \quad (4.9)$$

Pengecekan nilai eigen pada (4.7) dapat digunakan *Software Maple* Versi 13d. Persamaan (4.8) memiliki nilai eigen nol dapat ditulis $\lambda_1 = 0$. Sedangkan (4.9) memiliki nilai eigen Positif atau dapat ditulis $\lambda_2 > 0$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa titik kesetimbangan tak endemik adalah stabil netral.

Menghitung Bilangan Reproduksi Dasar (R_0)

Bilangan reproduksi dasar digunakan untuk menentukan apakah penyebaran COVID-19 di Papua Barat merupakan suatu penyakit yang akan hilang, menetap atau mewabah. Perhitungan R_0 pada penelitian ini

menggunakan metode operator (matriks) *the next generation* dengan persamaan model sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= -\frac{\beta SI}{N}, \\ \frac{dI}{dt} &= \frac{\beta SI}{N} - \alpha I, \\ \frac{dR}{dt} &= \alpha I, \end{aligned} \quad (4.10)$$

1. Diperoleh titik kesetimbangan tak endemik pada (4.3) yaitu $E_1 = (N, 0, 0)$ yang memenuhi

$$f_1(N, 0, 0) = f_2(N, 0, 0) = f_3(N, 0, 0) = 0. \quad (4.11)$$

2. Memisalkan $X = (S, R)$, $Y = 0$ (tidak ada masa inkubasi) dan $Z = I$.

3. Mensubstitusikan nilai X , Y , Z dan titik kesetimbangan tak endemik ke persamaan $\frac{dZ}{dt} = h(X, Y, Z)$, sehingga diperoleh

$$h(X, Z) = h(N, I) = \frac{\beta SI}{N} - \alpha I. \quad (4.12)$$

4. Menurunkan (4.12) terhadap variabel I dan kemudian dihitung di $I = 0$ sehingga diperoleh

$$\left. \frac{d\left(\frac{\beta NI}{N} - \alpha I\right)}{dI} \right|_{I=0}$$

5. Memisalkan

$$A := \left. \frac{d\left(\frac{\beta NI}{N} - \alpha I\right)}{dI} \right|_{I=0}, \text{ maka diperoleh}$$

$$\begin{aligned} A &= \left. \frac{d(\beta I - \alpha I)}{dI} \right|_{I=0} \\ &= \left. \frac{d(\beta - \alpha)I}{dI} \right|_{I=0} \\ &= \beta - \alpha \end{aligned}$$

6. Mengasumsikan A dapat ditulis dalam bentuk $A = M - D$, maka $M = \beta$ dan $D = \alpha$ sehingga diperoleh

$$R_0 = MD^{-1} = \frac{\beta}{\alpha}$$

dengan β merupakan rata-rata banyaknya individu sehat yang terinfeksi oleh satu individu yang infeksi persatuan waktu, dan

$\frac{1}{\alpha}$ dapat diinterpretasikan sebagai rata-rata panjangnya periode infeksi.

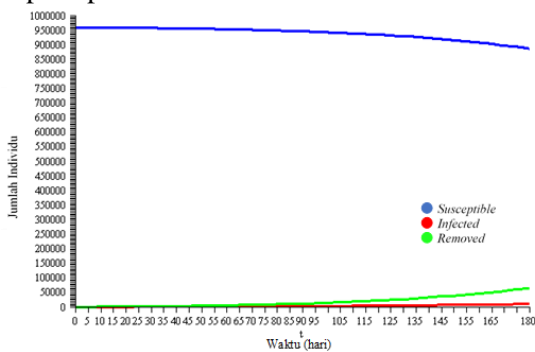
Nilai Parameter β dan α adalah $\beta = 0,12$ dan $\alpha = 0,1$, sehingga diperoleh bilangan reproduksi dasar sebagai berikut:

$$R_0 = \frac{\beta}{\alpha} = \frac{0,12}{0,1} = 1,2$$

Karena $R_0 = 1,2 > 1$, maka dapat disimpulkan bahwa penyebaran COVID-19 di Papua Barat akan meningkat menjadi wabah.

Simulasi Numerik Model SIR COVID-19 di Papua Barat

Hasil simulasi ini dilakukan dengan menggunakan bantuan *Maple 13*. Pembuatan simulasi model ini memerlukan nilai awal populasi rentan $S(0)$. Karena $N = S + I + R$ maka $S = N - I - R$ sehingga diperoleh $S(0) = 959.617 - 451 - 292 = 958.874$ jiwa. Nilai $S(0)$ ini disubstitusikan ke dalam model SIR, dan dihasilkan grafik data simulasi COVID-19 Papua Barat Bulan Agustus 2020-Januari 2021 (Hari ke-1 sampai Hari ke-180) seperti pada Gambar 4.2.

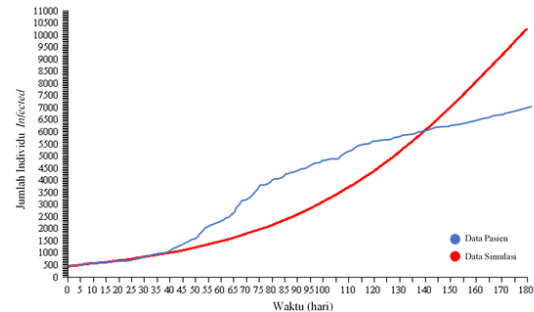


Gambar 4. 2 Grafik Data Simulasi COVID-19 Papua Barat Bulan Agustus 2020-Januari 2021.

Grafik data simulasi tersebut menggambarkan bahwa ada penurunan jumlah populasi *susceptible* (garis biru) yang dipengaruhi oleh meningkatnya populasi *infected* (garis merah) dalam satuan waktu (hari). Selain itu, pada grafik *infected* terlihat bahwa masih ada kenaikan penyebaran COVID-19 di Provinsi Papua Barat hingga Bulan Januari 2021.

Perbandingan Grafik Simulasi Model dan Pasien Positif COVID-19 di Papua Barat Bulan Agustus 2020-Januari 2021

Perbandingan grafik ini dilakukan untuk menguji keakuratan model dan parameter yang diperoleh. Data yang digunakan adalah data pasien positif COVID-19 di Papua Barat Bulan Agustus 2020-Januari 2021 yang diperoleh dari *website* Dinas Kesehatan Provinsi Papua Barat. Berdasarkan grafik *infected* dan Pasien Positif COVID-19 di Papua Barat diperoleh grafik pada Gambar 4.3 berikut:



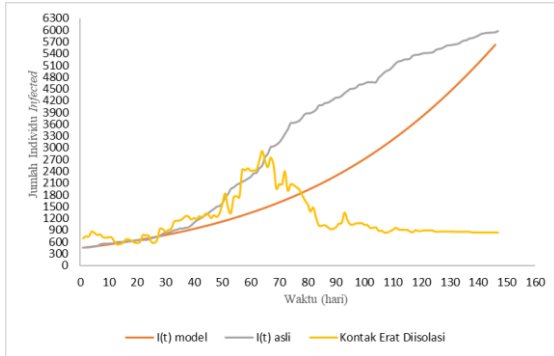
Gambar 4. 3 Perbandingan Data Simulasi Model dan Data Pasien Positif COVID-19 di Papua Barat Terhadap Waktu (t).

Grafik simulasi model dan pasien positif berdasarkan grafik pada Gambar 4.3 menggambarkan bahwa model yang diperoleh cukup baik. Hal ini didasarkan pada grafik pasien positif dan simulasi model dimana pada hari ke-1 hingga hari ke-40 memiliki beberapa titik yang saling berpotongan dan memiliki bias yang cenderung kecil, dengan jumlah simulasi orang terinfeksi COVID-19 sama atau sangat mendekati jumlah orang terinfeksi dalam data pasien positif COVID-19 di Papua Barat. Tetapi kenaikan populasi *infected* terjadi setelah hari ke-40, hal ini dapat disebabkan oleh tes *Swab* masal pada instansi pemerintah serta terhadap pasien kontak erat, sehingga pasien kontak erat diisolasi terkonfirmasi menjadi positif COVID-19 dan atau *cluster* penyebaran baru pada hari itu (libur akhir tahun).

Perbandingan Grafik Simulasi Model, Jumlah Pasien Positif dan Jumlah Pasien Kontak Erat Diisolasi COVID-19 di Papua Barat Bulan Agustus-Desember 2020.

Perbandingan ketiga grafik ini dimaksudkan untuk melihat pengaruh Pasien kontak erat diisolasi terhadap populasi *infected*. Hasil yang diperoleh adalah terjadi penurunan Pasien kontak erat yang menandai kenaikan

data populasi *infected*. Hal ini dapat terjadi jika Pasien kontak erat diisolasi terbukti positif COVID-19 setelah diadakannya tes pemeriksaan. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut.

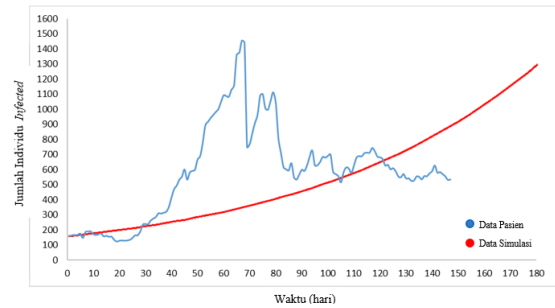


Gambar 4.4 Perbandingan Data Simulasi, Data Asli Populasi *Infected* dan Data Kontak Erat Diisolasi COVID-19 di Papua Barat.

Jika dilakukan perbandingan simulasi model dengan data jumlah pasien positif COVID-19 perhari, maka $R(0) = 292$ jiwa dan $I(0)$ diperoleh dari total pasien positif COVID-19 pada hari ke-n dikurang dengan total pasien sembuh pada hari ke-n sehingga diperoleh nilai $I(0) = 451 - 292 = 159$ jiwa. Dari nilai $I(0)$ dan $R(0)$ tersebut maka kita dapat menentukan nilai $S(0) = 959.617 - 159 - 292 = 959.166$ dengan nilai parameter β dan α yang digunakan pada simulasi model ini adalah $\beta = 0,083$ (rata-rata masa infeksi selama 12 hari) dan $\alpha = 0,071$ (rata-rata masa pemulihan selama 14 hari).

Perbandingan Grafik Simulasi Model dan Pasien Positif COVID-19 Perhari di Papua Barat Bulan Agustus 2020-Januari 2021

Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui model terbaik yang dapat di hasilkan. Pada penjelasan sebelumnya telah diperoleh perbandingan grafik simulasi model dan pasien positif COVID-19 yang diambil secara kumulatif dan diperoleh kenaikan jumlah pasien positif COVID-19 setiap harinya. Kenaikan tersebut diakibatkan karena data pasien positif COVID-19 diakumulasikan setiap harinya tanpa mengurangi pasien sembuh pada hari yang sama. Jika pasien sembuh hari ke-n diperhatikan, maka akan diperoleh grafik pada Gambar 4.5 berikut.



Gambar 4.5 Perbandingan Grafik Simulasi Model dan Jumlah Pasien Positif COVID-19 Perhari di Papua Barat Bulan Agustus 2020-Januari 2021

Grafik pada Gambar 4.5 menggambarkan bahwa jumlah pasien positif COVID-19 mengalami kenaikan yang signifikan pada hari ke-30 sampai hari ke-65. Hal ini dapat terjadi akibat adanya tes *Swab* masal oleh pemerintah, selain itu hal ini juga terjadi akibat pemeriksaan pada setiap daerah dan ditemukan daerah yang semulanya telah dinyatakan sebagai zona hijau menjadi zona merah kembali karena terdapat pasien positif COVID-19. Hal ini membuat penyebaran kasus COVID-19 di Papua Barat semakin meningkat sehingga pemerintah membuat kebijakan baru dan berhasil menurunkan angka pasien positif yang dapat dilihat pada hari ke-70 mulai mengalami penurunan jumlah pasien positif COVID-19 di Papua Barat. Situasi tersebut yang membuat grafik pasien positif COVID-19 menjadi bias terhadap grafik simulasi model yang didapatkan.

Perbandingan model yang dilakukan dengan kedua kondisi tersebut masih memiliki nilai R_0 yang sama yaitu lebih dari satu atau dapat dikatakan bahwa penyebaran COVID-19 di Papua Barat masih akan menjadi wabah.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil pembahasan adalah

1. Model matematika penyebaran COVID-19 adalah

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\beta SI}{N}$$

$$\frac{dI}{dt} = \frac{\beta SI}{N} - \alpha I$$

$$\frac{dR}{dt} = \alpha I$$

2. Titik kesetimbangan yang diperoleh berdasarkan analisis kesetimbangan adalah

Titik kesetimbangan tak endemik yaitu $E = (S_0, I_0, R_0) = (N, 0, 0)$ yang tergolong stabil netral.

3. Bilangan reproduksi dasar (R_0) berdasarkan model SIR COVID-19 di Papua Barat adalah

$$R_0 = \frac{\beta}{\alpha}$$

dengan $R_0 > 1$ sehingga penyebaran COVID-19 di Papua Barat akan meningkat menjadi wabah.

SARAN

Penelitian ini tidak memperhatikan adanya faktor imigrasi, faktor tes pemeriksaan (tes *Swab*) dan faktor kebijakan pemerintah dalam menangani COVID-19 di Papua Barat. Penelitian selanjutnya bisa ditambahkan faktor-faktor tersebut agar model yang diperoleh lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Anton, Howard dan Rorres, Chris. 2005. *Elementary Linear Algebra Ninth Edition Applications Version*. Jhon Wiley & Sons, Inc. New Jersey.
- Arfaknews. 2020. *Pihak Keluarga dari Wanita Positif COVID-19 di manokwari Tolak Dikarantina*. <http://arfaknews.com/read/4151/Papua-Barat/cegah-penyebaran-COVID-19-hotel-dan-penginapan-di-manokwari-distrerilkan> [20 Juli 2020].
- Azizah, Aisyah Noer. 2017. Model SIR Pada Epidemi Penyakit Campak Berdasarkan Umur Dengan Pengaruh Imunisasi. *Jurnal Ilmiah Matematika FMIPA Universitas Negeri Surabaya*. Vol. 3 No. 6 Tahun 2017, 52-57.
- Boyce, William E dan DiPrima, Richard C. 2001. *Elementary Differential Equations and Boundary Value Problem Seventh Edition*. Jhon Wiley & Sons, Inc. Ney York.
- Brauer, F dan Carlos-Chaves, C. 2001. *Mathematical Models in Population Biology and Epidemiologi*. Springer-Veriag Inc., New York.
- Cahyono, Edi. 2013. *Pemodelan Matematika*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- Detikhealth. 2020. *Istilah OTG (Orang Tanpa Gejala) dan Penjelasan WHO*. <https://m.detik.com/health/berita-detikhealth/d-5049846/istilah-otg-orang-tanpa-gejala-dan-penjelasan-who> [20 Juli 2020].
- Dinas Kesehatan Papua Barat. 2020. *Situasi Terkini Perkembangan Covid 19 di Papua Barat*. <https://dinkes.papubaratprov.go.id/blog/index>. [11 Februari 2021].
- Finizio N, G. Ladas, 1982. *Ordinary Differential Equations With Modern Application Second Edition*, Wadsworth Publising Company Belmont. California.
- Fredlina, K Queena, dkk. 2012. Model SIR (*Susceptible, Infectious, Recovered*) untuk Penyebaran Penyakit Tuberkulosis. *E-jurnal Matematika FMIPA Universitas Udayana*. Vol. 1 No. 1 Agustus 2012, 52-58.
- Giesecke, Jhon. 1994. *Modern Infectious Disease Epidemiology*. Oxford University Press. New York.
- Inewspapua. 2020. *Ada 4 Klaster Penyebaran COVID-19 di Kota Sorong, 2 di Antaranya Kasus Lokal*. <http://inewspapua.id/berita/ada-4-klaster-penyebaran-COVID-19-di-kota-sorong-2-di-antaranya-kasus-lokal/> [20 Juli 2020].
- Johnson, Richard A and Dean W. 2007. *Applied Multi Statistical Analysis Sixth E* Pearson Education, Inc. New Jersey.
- Kasbawati. 2009. Penentuan Nilai R_0 dengan Menggunakan Operator *The Next Generation*. *Jurnal Matematika, Statistika & Komputasi Universitas Hasanuddin Massar*. Vol. 6, No. 1 Tahun 2009, 59-64.
- Kementerian Kesehatan RI. 2020. *Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor HK.01.07/MENKES/413/2020 tentang Pedoman Pencegahan dan Pengendalian Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)*. <https://COVID-19.kemendes.go.id/>. [20 Juli 2020].
- Kementerian Kesehatan RI. 2020. *Situasi terkini Perkembangan Coronavirus*

- Disease (COVID-19)*. <https://COVID-19.kemendes.go.id/>. [1 Januari 2021].
- Khamisi M. A., 2004. *Equilibrium Point Analysis: Linearization Technique*. Utrecht University.
- Kongkrit. 2020. *Claster Gowa Disebut Penyumbang Angka COVID-19 Terbanyak di Papua Barat*. <https://kongkrit.com/claster-gowa-disebut-penyumbang-angka-COVID-19-terbanyak-di-papua-barat/> [20 Juli 2020].
- Manaqib, Muhammad. 2017. *Boundary Element Method* untuk Menyelesaikan Masalah Syarat Batas Persamaan Laplace Dimensi Dua. *Jurnal "LOG!K@" Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta*. Jilid 7, No. 2 Tahun 2017, 122-136.
- Maya, Rippi. 2014. *Persamaan Diferensial Biasa Revisi ke-Enam*. UIN Sunan Gunung Jati. Bandung.
- Purcell, E.J., Varberg, Dale., dan Rigdon, S.E. 2007. *Calculus (9th Edition)*. Pearson Prentice Hall. New Jersey.
- Rahayu, W. 2005. *Analisa Dinamik dan Proses Markov dari Model Penyebaran Ebola*. *Skripsi*. Universitas Indonesia.
- Suaramandiri. 2020. *Sebagian Besar Kasus Positif COVID-19 di Papua barat Berasal dari OTG*. <http://suaramandiri.co/2020/05/30/sebagian-besar-kasus-positif-COVID-19-berasal-dari-otg/> [20 Juli 2020].
- Tempo. 2020. *Klaster TNI AD di Manokwari, Asal Mula Penularan Virus di Telusuri*. https://nasional-tempo.co.cdn.ampproject.org/v/s/nasional-tempo.co/amp/1367396/klaster-tni-ad-di-manokwari-asal-mula-penularan-virus-ditelusuri?amp_js_v=a3&_gsa=1&u_sqp=mq331AQFKAGwASA%3D#aoh=15982298621113&_ct=1598229871264&referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com&_tf=Dari%20%251%24s&share=https%3A%2F%2Fnasional-tempo.co%2Fread%2F1367396%2Fklaster-tni-ad-di-manokwari-asal-mula-penularan-virus-ditelusuri [21 Juli 2020].
- Trench, William F. 2013. *Elementary Differential Equations*. Trinity University. Texas.
- Yulida, Yuni dan Karim, Muhamad Ahsar. 2020. *Pemodelan Matematika Penyebaran COVID-19 di Provinsi Kalimantan Selatan*. *Jurnal FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*. Vol.14 No.10 Mei 2020, 3257-3264.