

Model *Susceptible-Infected-Recovered* (SIR) Dampak Penerapan PSBB Terhadap Kasus Covid-19 Di Pekanbaru

Mohammad Soleh^{1*}, Melvy Utari Permadhi², Wartono³, Irma Suryani⁴, Elfira Safitri⁵, Riry Sriningsih⁶

^{1,2,3,4,5}Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sultan Syarif Kasim Riau

⁶Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang

E-mail: ¹msoleh@uin-suska.ac.id, ²Melvy488@gmail.com, ³wartono@uin-suska.ac.id,

⁴irma.suryani@uin-suska.ac.id, ⁵elfira.safitri@uin-suska.ac.id,

⁶rirystriningsih@fmipa.unp.ac.id

Abstrak

Covid-19 telah menjadi pandemik global di abad 21. Berbagai upaya untuk mengendalikan penyebarannya banyak dilakukan. Isolasi atau karantina wilayah merupakan salah satu usaha yang hampir dilakukan oleh semua negara di dunia. Indonesia memodifikasi karantina wilayah dengan menerapkan 'Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB)'. Sebelum dan selama pelaksanaan PSBB telah banyak menimbulkan pro dan kontra di masyarakat. Dengan menggunakan model SIR dan metode Euler, maka dibandingkan dampak sebelum dan setelah penerapan PSBB di kota Pekanbaru. Berdasarkan data harian kasus Covid-19 di kota Pekanbaru, maka diperoleh bahwa nilai bilangan reproduksi dasar sebelum dan setelah penerapan PSBB berturut-turut adalah $R_{0,before} = 0,83$ dan $R_{0,after} = 0,476$. Kondisi ini mengonfirmasi bahwa baik tanpa atau dengan melakukan PSBB, kota Pekanbaru akan terbebas dari Covid-19. Simulasi kasus Covid-19 sebelum dan setelah PSBB secara grafik juga memperlihatkan keadaan yang akan bebas dari penyakit. Namun tanpa melakukan PSBB maka jumlah terinfeksi akan melonjak secara drastis setelah beberapa waktu meskipun pada akhirnya akan turun, sedangkan dengan melakukan PSBB tidak dijumpai lonjakan. Dengan demikian bahwa penerapan PSBB dapat menjadi alternatif pengendalian Covid-19.

Kata kunci: Angka reproduksi dasar, Covid-19, model SIR, PSBB, metode Euler

Abstract

Covid-19 has become a global pandemic in the 21st century. Various efforts to control its spread have been made. Isolation or regional quarantine is one of the efforts made by almost all countries in the world. Indonesia modified the lockdown by implementing 'Large-Scale Social Restrictions (PSBB)'. Before and during the implementation of PSBB, there have been many pros and cons in the community. By using the SIR model and Euler method, the impact before and after the implementation of PSBB in Pekanbaru city is compared. Based on daily data of Covid-19 cases in Pekanbaru city, it is obtained that the value of the basic reproduction number before and after the implementation of PSBB are $R_{0,before} = 0,83$ and $R_{0,after} = 0,476$ respectively. This condition confirms that either without or by implementing PSBB, Pekanbaru city will be free from Covid-19. Simulation of Covid-19 cases before and after PSBB graphically also shows a situation that will be free from disease. However, without implementing PSBB, the number of infected will jump drastically after some time even though it will eventually decrease, while by implementing PSBB there is no spike. Thus, the implementation of PSBB can be an alternative to control Covid-19.

Keywords: Basic reproduction number, Covid-19, PSBB, SIR model, Euler methods.

1. PENDAHULUAN

Kasus pertama Covid-19 di Indonesia terkonfirmasi melalui 2 warga kota Depok Jawa Barat yang dinyatakan positif tertular Corona pada 2 Maret 2020. Belum sampai setengah bulan kemudian jumlah kasus Covid-19 menjadi 117. Dengan peningkatan kasus yang

signifikan, Pemerintah RI menghimbau seluruh penduduk untuk menerapkan gerakan *Social Distancing*. Kemudian diberlakukan kebijakan Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB) atau karantina wilayah untuk menekan laju terinfeksi Covid-19 melalui Peraturan Pemerintah nomor 21 Tahun 2020. Penerapan PSBB di kota Pekanbaru terjadi setelah usulan PSBB dari Pemerintah Provinsi Riau disetujui kementerian kesehatan mulai tanggal 17 April 2020.

Secara nasional, sebelum dan selama pemberlakuan PSBB terjadi konflik antara kelompok masyarakat yang menentang pemberlakuan PSBB untuk alasan bahwa PSBB akan menyebabkan kegiatan ekonomi mati, krisis moneter, dan lain-lain, dengan kelompok masyarakat yang menyetujui PSBB untuk alasan kesehatan dan keselamatan. Oleh karena itu adalah hal menarik jika dampak adanya PSBB ini dipelajari dan diteliti secara matematika sehingga didapatkan informasi yang real dan terpercaya untuk mengungkap apakah pemberlakuan PSBB penting atau tidak.

Model matematika telah umum digunakan untuk mempelajari dinamika penyebaran berbagai penyakit. Model sebaran epidemik *Susceptible, Infected, Recovered* (SIR) adalah salah satu model yang cocok digunakan untuk mempelajari penyebaran penyakit yang disebabkan oleh virus influenza seperti Covid-19 ini (Kermack et al., 2014). Pada saat pandemik, beberapa peneliti menggunakan model SIR untuk kasus Covid-19 menggunakan simulasi grafik diantaranya (Chen et al., 2020; Nishiura et al., 2020; Puspita Sari & Arfi, 2021; Putra et al., 2020) untuk memprediksi jumlah kasus terinfeksi Covid-19. Dilanjutkan kemudian model SIR kasus Covid-19 dengan memperhatikan adanya karantina wilayah atau PSBB oleh (Handayanto & Herlawati, 2020; Nuha & Yahya, 2021) untuk memprediksi jumlah kasus terinfeksi Covid-19 karena pelaksanaan pembatasan sosial.

Disamping menggunakan simulasi secara grafik, banyak peneliti menganalisa penyebaran Covid-19 menggunakan parameter penting yang didapat dari model yang disebut angka reproduksi dasar atau R_0 , yaitu angka yang menyatakan seberapa besar potensi menyebarnya penyakit di dalam suatu populasi. Ada dua situasi yang akan muncul dari hasil R_0 , yaitu populasi akan terbebas dari Covid-19 apabila $R_0 < 1$ dan populasi akan endemik Covid-19 jika $R_0 > 1$ (Driessche & Watmough, 2002). Dengan demikian situasi di suatu wilayah akan bebas dari penyakit Covid-19 atau endemik dapat diduga dari nilai R_0 nya (Adi-kusumo et al., 2020; Deressa & Duressa, 2020; Kuniya, 2020; Shah & Bachelors, 2020; Sifriyani et al., 2020; Sitingjak, 2021; Teguh et al., 2020; Zhu et al., 2021).

Makalah ini berfokus pada bagaimana dampak penerapan PSBB di kota Pekanbaru dengan simulasi grafik dan R_0 . Penelitian ini memperbaiki penelitian sebelumnya yaitu (Handayanto & Herlawati, 2020; Nuha & Yahya, 2021) dengan cara menghitung R_0 dan simulasi grafik banyaknya kasus terinfeksi Covid-19 sebelum dilakukan PSBB dan setelah dilakukan PSBB. Tujuan dilakukan kedua simulasi tersebut adalah untuk mengetahui perbedaan jumlah kasus terinfeksi antara sebelum dan setelah PSBB dan mengetahui apakah penerapan PSBB benar-benar bermanfaat khususnya di kota Pekanbaru dan secara umum kota lainnya.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian berupa simulasi model SIR standar menggunakan metode Euler dan Excel dengan terlebih dahulu mengestimasi parameter model menggunakan data harian kasus Covid-19 di kota Pekanbaru. Dari model tersebut ditentukan juga bilangan reproduksi dasar R_0 . Secara terperinci dapat dijelaskan yaitu: data harian Covid-19 diambil secara sekunder dari website dinas kesehatan kota Pekanbaru terdiri dari dua kategori yaitu data sebelum dilakukan PSBB diambil pada 26 Maret 2020 hingga 24 April 2020 dan data sesudah dilakukannya PSBB diambil pada 25 April 2020 hingga 24 Mei 2020. Selanjutnya

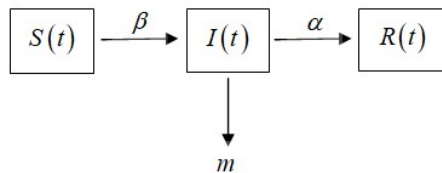
dibentuk model SIR standar (Kermack et al., 2014) dengan mempertimbangkan adanya kematian disebabkan Covid-19, lalu mengestimasi parameter model, mengestimasi angka reproduksi dasar R_0 , menyelesaikan model SIR secara numerik menggunakan metode Euler, menampilkan secara grafik, dan terakhir membuat interpretasi dan kesimpulan terhadap R_0 dan hasil grafik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Model *Susceptible-Infected-Recovered* (SIR) Kasus Covid-19

Pada model SIR kasus Covid-19 ini populasi dibagi menjadi tiga kelas yaitu kelas *Susceptible* $S(t)$, kelas *Infected* $I(t)$, dan kelas *Recovered* $R(t)$. Kelas *Susceptible* $S(t)$ menyatakan jumlah individu yang masih dalam kondisi sehat tetapi rentan tertular Covid-19. Kelas $I(t)$ menyatakan jumlah individu yang dalam kondisi terinfeksi virus Covid-19 dan memiliki kemampuan menularkan virus tersebut kepada kelas $S(t)$. Sedangkan kelas $R(t)$ menyatakan jumlah individu yang telah sembuh dari Covid-19 dan memiliki kekebalan dari virus Covid-19. Ukuran populasi di kelas $S(t)$ mengalami penurunan disebabkan oleh adanya sebagian individu di kelas tersebut mengalami penularan dan menjadi sakit karena kontak dengan individu di kelas $I(t)$ dengan laju transmisi penularan sebesar β dan masuk ke kelas $I(t)$. Disamping ada penambahan jumlah individu baru dari kelas $S(t)$, ukuran populasi di kelas $I(t)$ menurun karena beberapa individu yang terinfeksi mengalami kesembuhan dengan laju kesembuhan sebesar α dan mengalami kematian karena Covid-19 dengan laju kematian sebesar m . Oleh karena individu yang sembuh dianggap memiliki kekebalan permanen terhadap Covid-19 sehingga ukuran populasi di kelas $R(t)$ mengalami peningkatan seiring banyaknya individu terinfeksi menjadi sembuh.

Dengan ilustrasi tersebut maka dapat dibentuk diagram transfer untuk model SIR dengan angka kematian m sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Transfer Model SIR kasus COVID-19

Selanjutnya model SIR penyebaran wabah COVID-19 dampak penerapan PSBB dapat dituliskan dalam system persamaan diferensial berikut ini

$$\frac{dS}{dt} = -\beta SI \tag{1}$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI - mI - \alpha I \tag{2}$$

$$\frac{dR}{dt} = \alpha I \tag{3}$$

$$S + I + R = N \tag{4}$$

Dalam hal ini keadaan sebelum dilakukan PSBB atau setelah dilakukan PSBB berturut-turut akan tergambar dari nilai parameter α , β , dan m dimana nilainya diestimasi menggunakan data aktual kasus Covid-19 sebelum atau setelah PSBB.

3.2. Angka Reproduksi Dasar (R_0) Kasus Covid-19

Untuk memperoleh R_0 maka diperhatikan persamaan (2) yang merupakan perubahan jumlah terinfeksi pada saat t dengan menghitung suku sebelah kanannya yaitu

$$\beta SI - mI - \alpha I = I(\beta S - m - \alpha) = I(\alpha + m) \left(\frac{\beta S}{\alpha + m} - 1 \right).$$

Perhatikan suku $I(\alpha + m) \left(\frac{\beta S}{\alpha + m} - 1 \right)$, dimana suku ini akan bernilai positif atau negatif

tergantung dari nilai $\frac{\beta S}{\alpha + m} - 1$ karena $I(\alpha + m) \geq 0$. Jika $\frac{\beta S}{\alpha + m} > 1$ maka

$I(\alpha + m) \left(\frac{\beta S}{\alpha + m} - 1 \right) > 0$ atau $\frac{dI}{dt} > 0$ yang berarti populasi akan endemik penyakit.

Namun, jika $\frac{\beta S}{\alpha + m} < 1$ maka $I(\alpha + m) \left(\frac{\beta S}{\alpha + m} - 1 \right) < 0$ atau $\frac{dI}{dt} < 0$ atau populasi akan

terbebas dari penyakit yang dibicarakan. Oleh karena itu R_0 didefinisikan sebagai

$$R_0 = \frac{\beta S_0}{\alpha + m} \tag{5}$$

dengan S_0 adalah jumlah individu rentan pada awal pengamatan.

3.3. Simulasi model SIR kasus COVID-19

Ada dua kelompok data yang akan digunakan untuk mengestimasi parameter α , β , dan m dan digunakan dalam simulasi model (1)-(4) yaitu, pertama data kasus Covid-19 sebelum dilakukan PSBB dan kedua data kasus Covid-19 saat/sesudah dilakukan PSBB. Data harian kasus Covid-19 sebelum atau setelah dilakukan PSBB berturut-turut dapat dilihat pada Lampiran A dan Lampiran B.

3.3.1. Simulasi model SIR kasus Covid-19 sebelum PSBB

Dengan melihat data harian pada Lampiran A diketahui bahwa orang terinfeksi aktif yang dapat menularkan Covid-19 kepada orang lain setiap harinya bervariasi. Disini

didapatkan rata-rata harian jumlah orang terinfeksi aktif adalah $\frac{\sum I_n}{30} = \frac{142}{30} = 4,73$.

Tetapi dengan pertimbangan bahwa kasus aktif Covid-19 yang terjadi sebenarnya adalah lebih dari angka tersebut, maka untuk selanjutnya digunakan jumlah tertinggi kasus terinfeksi aktif yaitu 9 orang sebagai rata-rata harian. Sedangkan jumlah sembuh dalam sebulan adalah 8 orang dan meninggal sebanyak 3 orang.

Berdasarkan data tersebut dapat dihitung masing-masing parameter dari model sebagai berikut:

$$\beta = \frac{1}{\text{jumlah rentan mula-mula} \times 30} = \frac{1}{959829 \times 30} = 0.000000035 \text{ /kapita/hari}$$

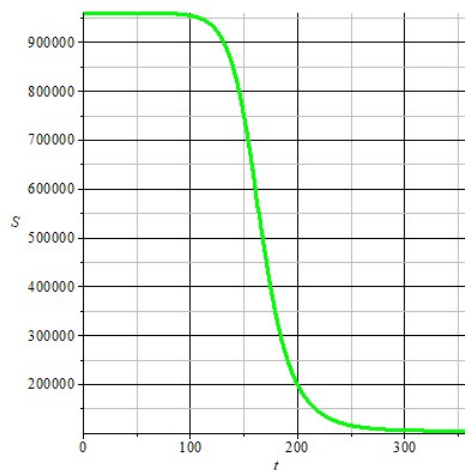
$$\alpha = \frac{\text{jumlah orang sembuh dalam sebulan}}{\text{jumlah orang sakit harian} \times 30} = \frac{8}{9 \times 30} = 0.029629629 \text{ /kapita/hari,}$$

$$m = \frac{\text{jumlah orang meninggal dalam sebulan}}{\text{jumlah orang sakit harian} \times 30} = \frac{3}{9 \times 30} = 0.0111111111 \text{ per/kapita/hari.}$$

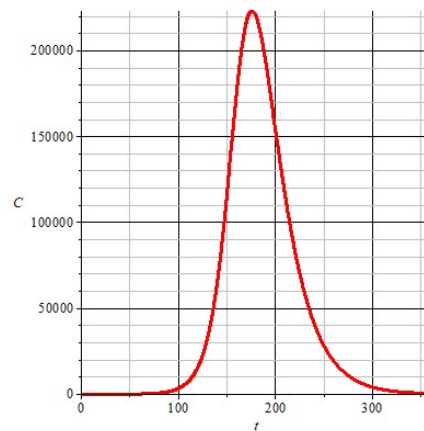
Dengan menggunakan nilai α , β , dan m dapat ditentukan angka reproduksi dasar atau R_0 sebelum dilakukan PSBB menggunakan persamaan (5):

$$R_{o,before} = \frac{\beta S_0}{\alpha + m} = \frac{0.00000003475 \times 959829}{0.0296296293 + 0.0111111111} = 0,83333.$$

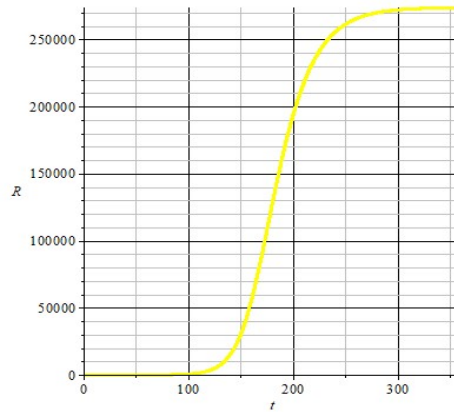
Disini didapatkan $R_{o,before} = 0,83333 < 1$ yang berarti populasi akan mengalami bebas penyakit Covid-19. Artinya meskipun tanpa dilakukan PSBB, kasus Covid-19 dapat hilang dari populasi. Untuk memberikan gambaran penyebaran Covid-19 sebelum pemberlakuan PSBB yang lebih lanjut, berikut ini dilakukan simulasi jumlah individu rentan, terinfeksi, dan sembuh. Pertama diketahui bahwa sebaran Covid-19 sebelum PSBB adalah $N = 959.830$; $S(0) = 959.829$; $I(0) = 1$; $R(0) = 0$. Dengan menggunakan metode Euler dan Microsoft Excel dimana selang waktunya menyatakan harian, diperoleh grafik kasus Covid-19 dari waktu-ke waktu yaitu:



Gambar 2.a. Grafik S(t) terhadap t kasus Covid-19 sebelum PSBB



Gambar 2.b. Grafik I(t) terhadap t kasus Covid-19 sebelum PSBB



Gambar 2.b. Grafik $R(t)$ terhadap t kasus Covid-19 sebelum PSBB

Gambar 2.a – 2.c menunjukkan sebaran individu di kelas $S(t)$, $I(t)$, dan $R(t)$ sebelum PSBB. Dari grafik di gambar 2.a terlihat bahwa jumlah individu rentan menurun tajam setelah hari ke-100 dan menjadi 0 pada hari ke-300. Penurunan jumlah individu rentan tersebut diakibatkan karena sebagian mereka terinfeksi oleh Covid-19, yang grafiknya dapat dilihat pada Gambar 2.b. Disini jumlah orang terinfeksi Covid-19 mengalami lonjakan cukup besar dan mencapai puncaknya di hari ke 180 hari. Penurunan jumlah terinfeksi Covid-19 terjadi kemudian dan pindah ke kelas sembuh yang grafiknya tersaji di gambar 2.c. Gambaran individu di $S(t)$, $I(t)$, dan $R(t)$ sejalan dengan informasi awal dari R_0 .

3.3.2. Simulasi model SIR kasus Covid-19 saat/setelah PSBB

Dengan cara yang sama seperti pada 3.3.1 maka berdasarkan Lampiran B diketahui bahwa rata-rata jumlah terinfeksi harian Covid-19 setelah dilakukan PSBB adalah 13 orang, orang sembuh dalam selama satu bulan adalah 19, dan orang meninggal dalam satu bulan adalah 1. Dengan demikian parameter model SIR dapat dihitung sebagai berikut:

$$\beta = \frac{1}{\text{jumlah rentan mula-mula} \times 30} = \frac{1}{959822 \times 30} = 0.000000035 \text{ per-kapita per-hari,}$$

$$\alpha = \frac{\text{jumlah orang sembuh dalam sebulan}}{\text{jumlah orang sakit harian} \times 30} = \frac{19}{13 \times 30} = 0.0487 \text{ per-kapita per-hari}$$

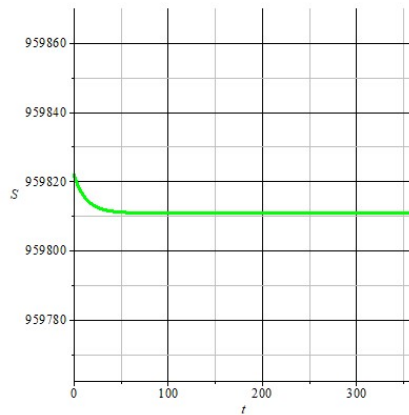
$$m = \frac{\text{jumlah orang meninggal dalam sebulan}}{\text{jumlah orang sakit harian} \times 30} = \frac{1}{13 \times 30} = 0.002564 \text{ per-kapita per-hari,}$$

Dengan menggunakan nilai α , β , dan m dapat ditentukan angka reproduksi dasar atau R_0 setelah pelaksanaan PSBB menggunakan persamaan (5), yaitu :

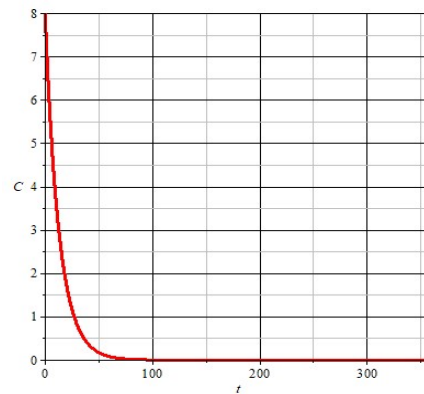
$$R_{o,after} = \frac{\beta S_0}{\alpha + m} = \frac{0.00000003475 \times 959822}{0.0487 + 0.002564} = 0,476$$

Disini terlihat bahwa $R_{0,after} = 0,476 < 1$ yang berarti dalam populasi akan terbebas dari Covid-19. Artinya pemberlakuan PSBB menyebabkan populasi akan bebas dari wabah Covid-19 setelah beberapa waktu berlalu. Selanjutnya untuk melihat gambaran lebih lanjut sebaran Covid-19 setelah perlakuan PSBB ini, dilakukan simulasi model (1)-(4) berupa grafik menggunakan metode Euler dan Microsoft Excel, dapat dilihat dari Gambar 3.a – Gambar 3.c.

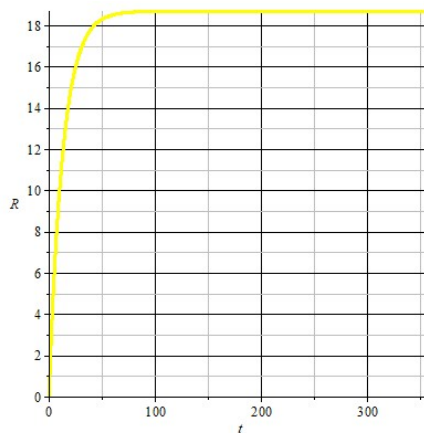
Berdasarkan Lampiran B didapat data
 $N = 959.830$; $S(0) = 959.822$; $I(0) = 8$; $R(0) = 0$



Gambar 3.a Grafik $S(t)$ terhadap t kasus Covid-19 setelah PSBB



Gambar 3.b Grafik $I(t)$ terhadap t kasus Covid-19 setelah PSBB



Gambar 3.c Grafik $R(t)$ terhadap t kasus Covid-19 setelah PSBB

Gambar 3.a – 3.c menunjukkan sebaran individu di kelas $S(t)$, $I(t)$, dan $R(t)$ saat/setelah dilakukan PSBB. Dari grafik di gambar 3.a terlihat bahwa jumlah individu rentan menurun tajam setelah hari ke-50 dan menjadi 0 pada hari ke-70. Penurunan jumlah individu rentan tersebut diakibatkan karena sebagian mereka terinfeksi oleh Covid-19, yang grafiknya dapat dilihat pada Gambar 3.b. Disini jumlah orang terinfeksi Covid-19 tidak mengalami lonjakan tetapi menurun secara kontinu hingga hari ke-70 menjadi 0. Dari

gambar 3.c diketahui bahwa penurunan secara cepat jumlah terinfeksi Covid-19 disebabkan mereka sembuh dari penyakit tersebut. Dalam hal ini, sebaran individu di kelas $S(t)$, $I(t)$, dan $R(t)$ sejalan dengan informasi awal dari nilai R_0 .

4. KESIMPULAN

Telah dilakukan simulasi terhadap model SIR kasus Covid-19 di kota Pekanbaru sebelum dilakukan PSBB dan setelah dilakukan PSBB. Dari analisa jumlah terinfeksi Covid-19 sebelum dan setelah pelaksanaan PSBB didapatkan nilai $R_0 < 1$. Berdasarkan nilai R_0 , berturut-turut didapatkan bahwa keadaan sebelum dan setelah PSBB keduanya masing-masing akan terbebas dari Covid-19. Tampak seolah-olah manfaat PSBB tidak ada. Meskipun demikian, nilai R_0 untuk keadaan sebelum dilakukan PSBB relatif jauh lebih besar daripada nilai R_0 untuk keadaan setelah dilakukan PSBB. Perbedaan nilai R_0 keduanya yang relatif besar menyebabkan perbedaan jumlah terinfeksi Covid-19 keduanya sangat berbeda.

Dengan melakukan simulasi grafik dapat dilihat perbedaan jumlah terinfeksi harian antara sebelum PSBB dan setelah PSBB. Dari Gambar 2.b ditunjukkan bahwa grafik jumlah terinfeksi Covid-19 mengalami titik puncak, yang berarti bahwa jumlah individu terinfeksi mengalami puncaknya pada hari ke-159 dengan jumlah kasus 226.779 orang dan pada hari ke-300 grafik mulai bergerak menuju nol. Dari Gambar 3.b dapat dilihat jumlah terinfeksi Covid-19 harian sesudah dilakukan PSBB, dimana grafik mengalami penurunan yang signifikan menuju nol dan tidak terjadi puncak pandemi.

Secara sosial ekonomi, lonjakan yang ekstrim akan menyebabkan pemerintah dan masyarakat kesulitan menyediakan utilitas untuk menangani pasien Covid-19. Sehingga, PSBB merupakan cara efektif yang bisa dilakukan sebagai upaya penanggulangan penularan wabah Covid-19 di kota Pekanbaru untuk mencegah lonjakan jumlah terinfeksi. Oleh karena itu pemberlakuan PSBB direkomendasikan untuk menghapus lonjakan ekstrim terinfeksi yang dapat membuat kolaps suatu wilayah tertentu.

5. REFERENSI

- Adi-kusumo, F., Susyanto, N., Endrayanto, I., & Meliala, A. (2020). SIR- Based Model In Predicting The Early Outbreak Of Covid-19 In The Special Region Of Yogyakarta (DIY). *Jurnal Matematika Thales*, 02, 1–10.
- Chen, T., Rui, J., Wang, Q., Zhao, Z., Cui, J., & Yin, L. (2020). *A mathematical model for simulating the phase-based transmissibility of a novel coronavirus*. 1–8.
- Deressa, C. T., & Duressa, G. F. (2020). Modeling and optimal control analysis of transmission dynamics of COVID-19 : The case of Ethiopia. *Alexandria Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.10.004>
- Driessche, P. Van Den, & Watmough, J. (2002). *Reproduction numbers and sub-threshold endemic equilibria for compartmental models of disease transmission*. 180, 29–48.
- Handayanto, R. T., & Herlawati, H. (2020). Efektifitas Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB) di Kota Bekasi Dalam Mengatasi COVID-19 dengan Model Susceptible-Infected-Recovered (SIR). *Jurnal Kajian Ilmiah*, 20(2), 119–124. <https://doi.org/10.31599/jki.v20i2.119>

- Kermack, A. W. O., Mckendrick, A. G., Kermack, W., & Mckendrick, A. G. (2014). *A Contribution to the Mathematical Theory of Epidemics A Gontribution to the Mathematical Theory of Epidemics* . 115(772), 700–721.
- Kuniya, T. (2020). *Prediction of the Epidemic Peak of Coronavirus Disease in Japan* , 2020. 1–7. <https://doi.org/10.3390/jcm9030789>
- Nishiura, H., Linton, N. M., & Akhmetzhanov, A. R. (2020). Serial interval of novel coronavirus (COVID-19) infections. *International Journal of Infectious Diseases*, 93, 284–286. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.02.060>
- Nuha, A. R., & Yahya, L. (2021). *Analisis Dinamik Model Transmisi COVID-19 dengan Melibatkan Intervensi Karantina*. 3(1), 66–79.
- Puspita Sari, S., & Arfi, E. (2021). Analisis Dinamik Model SIR Pada Kasus Penyebaran Penyakit Corona Virus Disease-19 (COVID-19). *Indonesian Journal of Applied Mathematics*, 1(2), 61–68.
- Putra, V. G., Wijayono, A., Ningsih, J., & Rosyidin, C. (2020). *Penerapan Fisika Komputasi dengan MATLAB / Simulink pada Pemodelan Infeksi Wabah COVID-19 di Indonesia melalui Modifikasi Persamaan Differensial Bernoulli*. 08(02), 107–118.
- Shah, P. V., & Bachelors. (2020). *Prediction of the Peak, Effect of Intervention and Total Infected by the Coronavirus Disease in India*. 9538794906(August). <https://doi.org/10.1017/dmp.2020.321>
- Sifriyani, S., Mulawarman, U., Rosadi, D., & Mada, U. G. (2020). *Pemodelan Susceptible Infected Recovered (SIR) Untuk Estimasi Angka Reproduksi Covid-19 Di Kalimantan Timur Dan Samarinda*. July.
- Sitinjak, A. (2021). Penentuan Rumus Bilangan Reproduksi Dasar Pada Model Matematika Covid-19 Dari Model Sir Yang Dimodifikasi. *EduMatSains*, 5(2), 203–210.
- Teguh, R., Sagit, A., & Adji, F. F. (2020). *Pemodelan Penyebaran Infeksi Covid-19 Di Kalimantan*, 2020. 14(2), 171–178.
- Zhu, Y., Gao, Y., Zeng, G., Zhang, J., Liu, J., & Liu, L. (2021). *The analysis of isolation measures for epidemic control of COVID-19*. 3074–3085.