

PENERAPAN MODEL SEIRU PADA KASUS COVID-19 DI JAKARTA

S. R. Dilla¹, F. Bukhari², M. T. Julianto³, dan *A. Kusnanto⁴

¹Mahasiswa S1 Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Institut Pertanian Bogor, Jl. Meranti, Kampus IPB Dramaga Bogor.
septia_27@apps.ipb.ac.id

^{2,3,4}Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,
Institut Pertanian Bogor, Jl. Meranti, Kampus IPB Dramaga Bogor.
fahrenbu@apps.ipb.ac.id, mtjulianto@apps.ipb.ac.id,
ali_mat@apps.ipb.ac.id *corresponding author

Abstrak

Sejak awal penyebaran COVID-19, telah diambil langkah-langkah pembatasan aktivitas publik untuk meredakan laju penularan, termasuk di Provinsi DKI Jakarta yang menerapkan Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB). Dalam upaya menganalisis dampak kebijakan tersebut, digunakan model epidemiologi SEIRU, yang mempertimbangkan periode laten dan efek pembatasan aktivitas publik. Penelitian ini mengimplementasikan model SEIRU pada kasus COVID-19 di Jakarta, mengevaluasi parameter yang paling sesuai untuk merepresentasikan dinamika kasus, serta mengidentifikasi dampak dari penerapan PSBB terhadap kesesuaian model. Bahasa pemrograman Julia digunakan untuk mengimplementasikannya. Dari penelitian ini ditunjukkan bahwa model SEIRU cocok untuk menggambarkan perkembangan kasus COVID-19 hingga berakhirnya PSBB pertama, tetapi kurang sesuai untuk masa perpanjangan PSBB. Analisis juga mengindikasikan bahwa penerapan PSBB dapat mengurangi jumlah kasus terlapor hingga 41%, dengan rata-rata waktu individu yang terinfeksi namun tidak menunjukkan gejala adalah 7 hari, dan durasi rata-rata periode laten adalah 6 jam.

Kata kunci: COVID-19, model epidemi, periode laten, PSBB, SEIRU

1 Pendahuluan

Penyakit COVID-19 telah menjadi ancaman dunia sejak kasus pertamanya muncul pada Desember 2019 lalu. Sejak masa awal penyebarannya, banyak negara yang menerapkan kebijakan pembatasan aktivitas publik guna menekan laju penularan COVID-19. Pemerintah Indonesia memilih menerapkan Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB) sebagai kebijakan untuk membatasi aktivitas publiknya saat masa awal penyebaran COVID-19 di Indonesia. PSBB di Jakarta diterapkan dengan peliburan sekolah dan tempat kerja; pembatasan kegiatan keagamaan; dan/atau pembatasan kegiatan di tempat atau fasilitas umum. Adapun transportasi umum dan pribadi masih diperbolehkan beroperasi dengan pembatasan jumlah penumpang [10].

PSBB Jakarta diberlakukan secara bertahap dengan periode waktu yang berbeda-beda. Periode pertama berlangsung selama dua minggu dan berhasil menekan laju penularan COVID-19 di Jakarta. Meski demikian kasus COVID-19 masih bertambah,

sehingga diberlakukan masa perpanjangan PSBB [9]. Kebijakan pembatasan aktivitas publik ini menjadi menarik untuk diteliti pengaruhnya dalam menurunkan laju penularan COVID-19. Penelitian dilakukan menggunakan model epidemi yang memperhitungkan efek kebijakan pembatasan aktivitas publik, seperti model epidemi SEIRU yang dirumuskan oleh Liu *et al.* [4].

Model epidemi SEIRU merupakan pengembangan dari model SIRU Liu *et al.* [5]. Pada model SIRU, Liu *et al.* [5] memperhitungkan keberadaan kasus positif COVID-19 yang tak dilaporkan di data pemerintah. Selanjutnya, Liu *et al.* [4] menambahkan pengaruh periode laten ke dalam model SEIRU. Periode laten sendiri merupakan salah satu periode kunci dalam masa penularan penyakit, termasuk penyakit COVID-19.

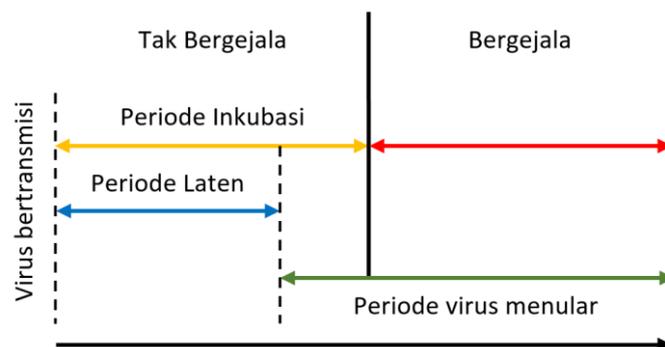
Analisis kasus COVID-19 menggunakan model epidemi SEIRU dapat digunakan untuk memperkirakan besar efek kebijakan pembatasan aktivitas publik. Selain itu, dapat diperkirakan pula perkembangan jumlah kasus COVID-19 setelah pemberlakuan kebijakan tersebut. Hasil perkiraan tersebut selanjutnya dapat digunakan sebagai acuan untuk memutuskan lama waktu pemberlakuan kebijakan pemerintah. Model SEIRU juga dapat memperkirakan rata-rata lama waktu periode laten COVID-19. Periode laten ini mengindikasikan lama waktu seseorang dari saat ia terpapar virus hingga ia menjadi *infectious*, yaitu dapat menularkan virus ke orang lain.

Berdasarkan paparan keuntungan menggunakan model SEIRU yang telah disebutkan sebelumnya, penulis memilih model SEIRU sebagai topik penelitian untuk meneliti dinamika penularan COVID-19 di Jakarta, Indonesia pada masa awal penyebarannya. Garis besar penelitian ini ialah melihat kesesuaian model SEIRU pada kasus COVID-19 di Jakarta yang pembatasan aktivitas publiknya dilakukan secara bertahap.

2 Teori Pendukung

2.1 Periode Inkubasi dan Periode Laten

Periode inkubasi dapat dijelaskan sebagai periode yang dimulai saat seseorang terpapar patogen, bahan kimia, atau radiasi hingga saat ia mulai menunjukkan gejala dari paparan tersebut [1]. Adapun periode laten merupakan rentang waktu yang dimulai saat seseorang terinfeksi patogen hingga saat orang tersebut menjadi *infectious* atau dapat menularkan patogen yang dimilikinya ke orang lain [8]. Dalam beberapa kasus, kedua periode dapat memiliki durasi yang sama panjangnya, namun dalam kasus lain durasinya dapat menjadi berbeda seperti yang digambarkan pada Gambar 1. Saat periode laten berlangsung lebih singkat dibandingkan periode inkubasi, maka akan ada periode waktu saat individu terinfeksi menjadi *infectious* dan tidak memiliki gejala.



Gambar 1. Periode Kunci COVID-19 (diadopsi dari [4]).

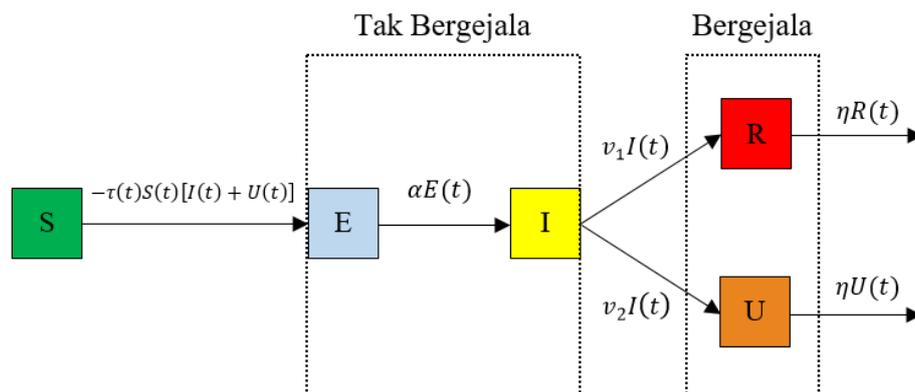
2.2 Model SEIRU

Model epidemi SEIRU merupakan model epidemi Covid-19 yang dirumuskan oleh Liu *et al.* [4]. Model SEIRU termasuk ke dalam model epidemi dengan periode laten. Model ini menggunakan sistem persamaan diferensial biasa dan dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 S'(t) &= -\tau(t)S(t)[I(t) + U(t)] \\
 E'(t) &= \tau(t)S(t)[I(t) + U(t)] - \alpha E(t) \\
 I'(t) &= \alpha E(t) - vI(t) \\
 R'(t) &= v_1 I(t) - \eta R(t) \\
 U'(t) &= v_2 I(t) - \eta U(t)
 \end{aligned} \tag{1}$$

dengan nilai awal sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 S(t_0) &= S(0) > 0, & E(t_0) &= E(0) > 0, & I(t_0) &= I(0) > 0, \\
 U(t_0) &= U(0) > 0, & R(t_0) &= R(0) = 0
 \end{aligned} \tag{2}$$



Gambar 2. Skema Diagram Model SEIRU (diadopsi dari [4]).

Model SEIRU dalam Gambar 2 memiliki lima kompartemen/kelas, yaitu: $S(t)$ sebagai populasi rentan (*suscept*), $E(t)$ sebagai populasi tak bergejala dan tidak *infectious* (*exposed*), $I(t)$ sebagai populasi tak bergejala namun *infectious* (*infectious*), $R(t)$ sebagai populasi bergejala, *infectious*, dan terlapor (*reported*), dan $U(t)$ sebagai populasi bergejala, *infectious*, dan tak terlapor (*unreported*). Setiap kompartemen bergantung terhadap variabel t yang merupakan waktu dalam hari, dimana $t \geq t_0$ dengan t_0 merupakan waktu awal mula epidemi.

Populasi rentan S akan berkurang akibat adanya penularan penyakit dari populasi *infectious* I dan populasi *unreported* U . Laju penularannya dilambangkan dengan parameter bergantung waktu $\tau(t)$. Dalam hal ini, meskipun kelas *reported* R memiliki individu yang dapat menularkan penyakit (*infectious*), tetapi penularan tidak terjadi dengan asumsi adanya pengendalian kontak antara populasi *reported* R dengan populasi rentan S .

Pada fase awal epidemi, saat jumlah kumulatif kasus terlapor bertambah secara eksponensial, nilai $\tau(t)$ tetap dan dilambangkan dengan τ_0 . Adapun pada fase selanjutnya, peraturan pemerintah seperti isolasi, karantina, dan pemberhentian aktivitas publik memberikan dampak penurunan kasus baru setiap harinya, sehingga digunakan laju penularan penyakit bergantung waktu yang berkurang secara eksponensial untuk

memperhitungkan efek peraturan pemerintah tersebut. Efek peraturan pemerintah ini dilambangkan dengan μ dan nilainya didapatkan dengan prosedur pencocokan data menggunakan data kumulatif kasus bergejala yang terlapor. Persamaan laju penularan penyakit $\tau(t)$ dituliskan sebagai berikut:

$$\tau(t) = \begin{cases} \tau_0, & 0 \leq t \leq T \\ \tau_0 \exp(-\mu \times (t - T)), & t > T \end{cases}$$

dengan parameter T adalah waktu di mana peraturan pemerintah mulai memberikan efek.

Populasi *exposed* E akan bertambah sebanyak populasi rentan S yang terinfeksi per satuan waktu t dan akan berkurang dengan laju pengurangan sebesar α dengan $1/\alpha$ merupakan rata-rata lamanya waktu individu berada pada kelas *exposed* E . Nilai $1/\alpha$ dapat diartikan pula sebagai rata-rata durasi periode laten COVID-19. Besaran $1/\alpha$ dituliskan dalam satuan hari, misalnya: 0,25 hari (6 jam), 0,5 hari (12 jam), 1 hari, 2 hari, 3 hari, dan seterusnya.

Populasi *infectious* I jumlahnya akan bertambah sebesar pengurangan yang terjadi pada populasi *exposed* E per satuan waktu t , sedangkan pengurangan populasinya bergantung pada besaran parameter v dengan $1/v$ merupakan rata-rata lamanya waktu individu *infectious* tak memiliki gejala. Individu yang keluar dari kelas *infectious* I terbagi menuju dua kelas, yaitu kelas *reported* R dan kelas *unreported* U .

Diasumsikan f merupakan bagian populasi *infectious* I yang menuju kelas *reported* R dan $(1 - f)$ bagian untuk kelas *unreported* U , sehingga dirumuskan: $v_1 = fv$ dan $v_2 = (1 - f)v$, dengan $v = v_1 + v_2$. Lama durasi individu *infectious* bergejala memiliki gejala dilambangkan dengan $1/\eta$. Maka kedua populasi *reported* R dan *unreported* U jumlahnya akan berkurang dengan laju pengurangan sebesar η untuk kelas *reported* R dan kelas *unreported* U . Deskripsi simbol model SEIRU dapat dilihat dalam Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Deskripsi simbol pada model SEIRU.

Simbol	Keterangan
$S(t)$	Jumlah individu yang rentan terinfeksi pada waktu t
$E(t)$	Jumlah individu tak bergejala dan tak <i>infectious</i> pada waktu t
$I(t)$	Jumlah individu tak bergejala dan <i>infectious</i> waktu t
$R(t)$	Jumlah individu bergejala terlapor pada waktu t
$U(t)$	Jumlah individu bergejala tak terlapor pada waktu t
$\tau(t)$	Laju penularan penyakit pada waktu t
α	Laju perubahan individu tak bergejala tak <i>infectious</i> menjadi <i>infectious</i>
$v_1 = fv$	Laju perubahan individu tak bergejala menjadi bergejala terlapor
$v_2 = (1 - f)v$	Laju perubahan individu tak bergejala menjadi bergejala tak terlapor
v	Laju perubahan individu tak bergejala menjadi bergejala
η	Laju perubahan individu bergejala keluar dari kompartemen R maupun U
$1/\alpha$	Rata-rata durasi periode laten
$1/v$	Rata-rata waktu individu <i>infectious</i> tak memiliki gejala
$1/\eta$	Rata-rata waktu individu <i>infectious</i> bergejala memiliki gejala
t	Waktu dalam hari, $t \geq t_0$

t_0	Waktu dimulainya epidemi
N	Hari pertama munculnya efek pemberlakuan pembatasan aktivitas publik
μ	Intensitas pembatasan aktivitas publik
f	Bagian populasi <i>infectious</i> tak bergejala menjadi populasi <i>infectious</i> , bergejala, dan telapor

2.3 Bilangan Reproduksi Dasar

Dietz [2] mendefinisikan bilangan reproduksi dasar (\mathcal{R}_0) sebagai banyaknya kasus baru akibat sebuah kasus yang masuk ke dalam populasi rentan. Misalkan nilai bilangan reproduksi dasar $\mathcal{R}_0 = 2$, hal ini dapat diartikan bahwa satu individu terinfeksi yang masuk ke dalam populasi rentan dapat menjadi dua individu yang terinfeksi.

Van den Driessche dan Watmough [11] mengemukakan bahwa dalam banyak model epidemi, bilangan reproduksi dasar digunakan sebagai parameter ambang batas dengan batasannya yaitu $\mathcal{R}_0 = 1$.

1. Jika $\mathcal{R}_0 < 1$, maka epidemi tidak akan terjadi dan penyakit akan menghilang dari populasi.
2. Jika $\mathcal{R}_0 > 1$, maka penyakit akan menyebar lebih cepat dan terjadilah epidemi.
3. Jika $\mathcal{R}_0 = 1$, maka satu individu terinfeksi hanya dapat menginfeksi satu individu baru, sehingga penyakit akan bertahan dalam populasi namun tidak akan menjadi epidemi.

2.4 Mean Absolute Deviation (MAD)

Mean Absolute Deviation (MAD) merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengukur akurasi peramalan [6]. Metode ini digunakan jika seorang analis ingin mengukur sebaran kesalahan (*error*) ramalan dalam unit yang sama seperti data aslinya [7]. MAD didapatkan dengan menghitung rata-rata nilai absolut dari setiap *error* yang ada. Pengabsolutan dilakukan untuk menghindari nilai *error* positif dan nilai *error* negatif saling meniadakan. Adapun nilai *error* dapat dicari dengan menghitung selisih nilai data asli dan nilai data ramalan. Semakin kecil nilai MAD maka semakin baik peramalan yang dilakukan. MAD yang digunakan dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

$$MAD = \text{mean}|CR - CR_{data}|$$

dengan CR_{data} merupakan vektor dari jumlah kumulatif kasus bergejala terlapor data aktual dan CR merupakan vektor dari jumlah kumulatif kasus bergejala terlapor hasil ramalan.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1 Estimasi Nilai Awal dan Parameter

Nilai parameter α , v , f dan η yang digunakan pada implementasi bersumber dari Liu *et al.* [4]. Untuk nilai N dipilih dari hari pertama pemberlakuan Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB), yaitu pada hari ke-39 sejak hari pertama tercatatnya kasus *infectious* bergejala di data pemerintah. Untuk mengestimasi nilai awal dan parameter lainnya, digunakan pendekatan menggunakan data kasus *infectious* bergejala terlapor.

Liu *et al.* [4] mendefinisikan jumlah kumulatif kasus *infectious* bergejala yang terlapor (CR) pada waktu t sebagai berikut:

$$CR(t) = v_1 \int_{t_0}^t I(s) ds \quad (3)$$

dan pada fase awal epidemi, saat kasus positif naik secara eksponensial, diasumsikan:

$$CR(t) = \chi_1 \exp(\chi_2 t) - \chi_3. \quad (4)$$

Menggunakan persamaan di atas, estimasi persamaan waktu awal mula epidemi (t_0) dapat dilakukan.

Pada waktu awal mula epidemi, diketahui $R(t_0) = R_0 = 0$ (lihat persamaan (2)), maka untuk $t = t_0$:

$$\Leftrightarrow \begin{aligned} CR(t_0) &= 0 \\ \chi_1 \exp(\chi_2 t_0) - \chi_3 &= 0, \end{aligned} \quad (5)$$

sehingga didapatkan persamaan untuk waktu awal mula epidemi (t_0) sebagai berikut:

$$t_0 = \frac{1}{\chi_2} (\ln(\chi_3) - \ln(\chi_1)).$$

Selanjutnya, Liu *et al.* [4] mengestimasi persamaan untuk nilai awal model SEIRU dan didapatkan:

$$I_0 = \frac{\chi_2 \chi_3}{fv}, \quad E_0 = \frac{\chi_2 + v}{\alpha} I_0, \quad U_0 = \frac{v_2}{\chi_2 + \eta} I_0.$$

Persamaan untuk laju penularan penyakit pada fase awal epidemi (τ_0) dan nilai reproduksi dasar (\mathcal{R}_0) diestimasi sebagai:

$$\begin{aligned} \tau_0 &= \frac{(\chi_2 + v)(\chi_2 + \alpha)(\chi_2 + \eta)}{\alpha S_0 [\chi_2 + \eta + v_2]}, \\ \mathcal{R}_0 &= \frac{(\chi_2 + v)(\chi_2 + \alpha)(\chi_2 + \eta)}{\alpha v [\chi_2 + \eta + v_2]} \left(1 + \frac{(1-f)v}{\eta} \right). \end{aligned}$$

(lihat Liu *et al.* [4]).

3.2 Algoritma Implementasi Model SEIRU

Algoritma untuk mencari solusi model SEIRU menggunakan data kasus positif terlapor di suatu daerah tertentu secara umum dituliskan sebagai berikut:

1. Menentukan rentang data aktual jumlah kumulatif kasus *infectious* terlapor yang akan digunakan dan mendefinisikan hari terakhir pada data sebagai M .
2. Menentukan nilai T , α , v , f , η , $S(0)$, $R(0)$ dan \mathcal{X}_3 .
3. Mencari nilai \mathcal{X}_1 dan \mathcal{X}_2 menggunakan metode kuadrat terkecil terhadap data kasus positif terlapor dari hari pertama sampai hari ke- T .
4. Menghitung nilai t_0 , τ_0 , \mathcal{R}_0 , $E(0)$, $I(0)$, dan $U(0)$.
5. Menentukan beberapa nilai μ .
6. Mencari penyelesaian numerik dari model SEIRU.
7. Membuat grafik solusi model SEIRU dan data kumulatif kasus *infectious* bergejala terlapor (CR_{data}).
8. Mengevaluasi nilai μ dengan menghitung nilai $|CR_{\text{data}}(M) - CR(M)|$:
 - Jika nilai yang didapat sudah minimal atau $|CR_{\text{data}}(M) - CR(M)| < 1$, maka lanjutkan ke tahap selanjutnya;

- Jika nilai yang didapat belum minimal, maka mengulang kembali tahapan dari menentukan nilai μ (tahapan ke-5).
9. Menghitung nilai *mean absolute deviation*.

3.3 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini ialah data jumlah kumulatif kasus COVID-19 di Jakarta dari tanggal 3 Maret sampai 22 Mei 2020, yaitu dari hari pertama tercatatnya kasus positif terlapor sampai hari terakhir pemberlakuan perpanjangan pertama PSBB di Jakarta. PSBB Jakarta pertama kali diberlakukan dari tanggal 10 sampai 23 April 2020, lalu diperpanjang hingga 22 Mei 2020. Data jumlah kumulatif kasus COVID-19 di Jakarta (diambil dari website www.corona.jakarta.go.id [3]) yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data jumlah kumulatif kasus terlapor di Jakarta (3 Maret - 22 Mei 2020).

Maret		April		Mei	
Tanggal	Jumlah Kasus	Tanggal	Jumlah Kasus	Tanggal	Jumlah Kasus
3	3	1	816	1	4283
4	3	2	909	2	4355
5	7	3	990	3	4417
6	7	4	1071	4	4472
7	7	5	1151	5	4641
8	7	6	1299	6	4709
9	34	7	1443	7	4775
10	34	8	1552	8	4901
11	36	9	1719	9	4958
12	62	10	1810	10	5140
13	72	11	1903	11	5195
14	79	12	2082	12	5303
15	95	13	2242	13	5437
16	97	14	2349	14	5617
17	122	15	2447	15	5679
18	160	16	2670	16	5795
19	210	17	2823	17	5922
20	224	18	2902	18	5996
21	268	19	3033	19	6053
22	304	20	3112	20	6150
23	355	21	3279	21	6220
24	426	22	3399	22	6316
25	472	23	3506		
26	515	24	3605		
27	566	25	3681		
28	603	26	3746		

29	701	27	3832
30	727	28	3950
31	741	29	4033
		30	4138

3.4 Implementasi Model SEIRU

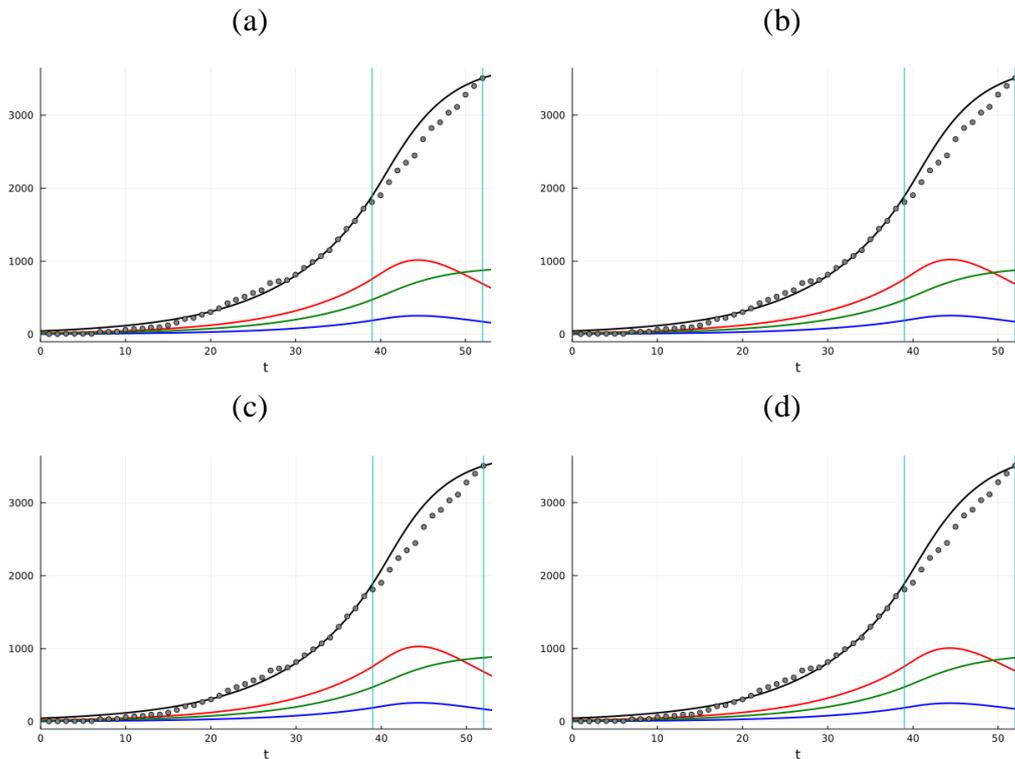
Implementasi dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Julia 1.3.29 untuk dua rentang waktu yang berbeda, yaitu: 3 Maret - 23 April 2020 dan 3 Maret - 22 Mei 2020. Perbedaan rentang waktu ini bertujuan untuk melihat pengaruh perpanjangan PSBB Jakarta terhadap kesesuaian hasil implementasi model SEIRU pada data COVID-19 di Jakarta. Empat nilai α dan dua nilai ν yang berbeda akan digunakan pada implementasi untuk menemukan nilai α dan ν terbaik yang paling dekat dalam merepresentasikan kasus COVID-19 di Jakarta. Nilai parameter yang digunakan tertera pada Tabel 3. Nilai parameter T dipilih dari hari pertama pemberlakuan PSBB di Jakarta, yaitu 10 April 2020 atau pada saat $t = 39$.

Tabel 3. Nilai parameter yang digunakan untuk implementasi.

Parameter	Nilai	Sumber
T	39	-
α	4, 2, 1, dan $1/3$	(Liu <i>et al.</i> 2020a)
ν	$1/5$ dan $1/7$	(Liu <i>et al.</i> 2020a)
f	0.8	(Liu <i>et al.</i> 2020a)
η	$1/7$	(Liu <i>et al.</i> 2020a)
χ_3	1	(Liu <i>et al.</i> 2020a)
$R(0)$	0	(Liu <i>et al.</i> 2020a)
$S(0)$	10374235	(Aldila <i>et al.</i> 2020)
\mathcal{X}_1	46.3858	Hasil perhitungan kuadrat terkecil
\mathcal{X}_2	0.0951	Hasil perhitungan kuadrat terkecil
t_0	-40.35	Hasil hitung persamaan

3.5 Implementasi Pertama: 3 Maret - 23 April 2020

Pada Gambar 3 dan 4, garis hitam menunjukkan jumlah kumulatif kasus *infectious* bergejala terlapor pada waktu t hasil implementasi atau $CR(t)$; garis merah menunjukkan jumlah kasus *infectious* bergejala terlapor pada waktu t hasil implementasi atau $R(t)$; garis hijau menunjukkan jumlah kumulatif kasus *infectious* bergejala tak terlapor pada waktu t hasil implementasi atau $CU(t)$; garis biru menunjukkan jumlah kasus *infectious* bergejala tak terlapor pada waktu t hasil implementasi atau $U(t)$; titik abu-abu menunjukkan data aktual jumlah kumulatif kasus *infectious* bergejala terlapor pada waktu t atau $CR_{\text{data}}(t)$; dan garis biru muda vertikal menunjukkan hari pertama ($t = 39$) dan hari terakhir ($t = 52$) pemberlakuan PSBB pertama di Jakarta.

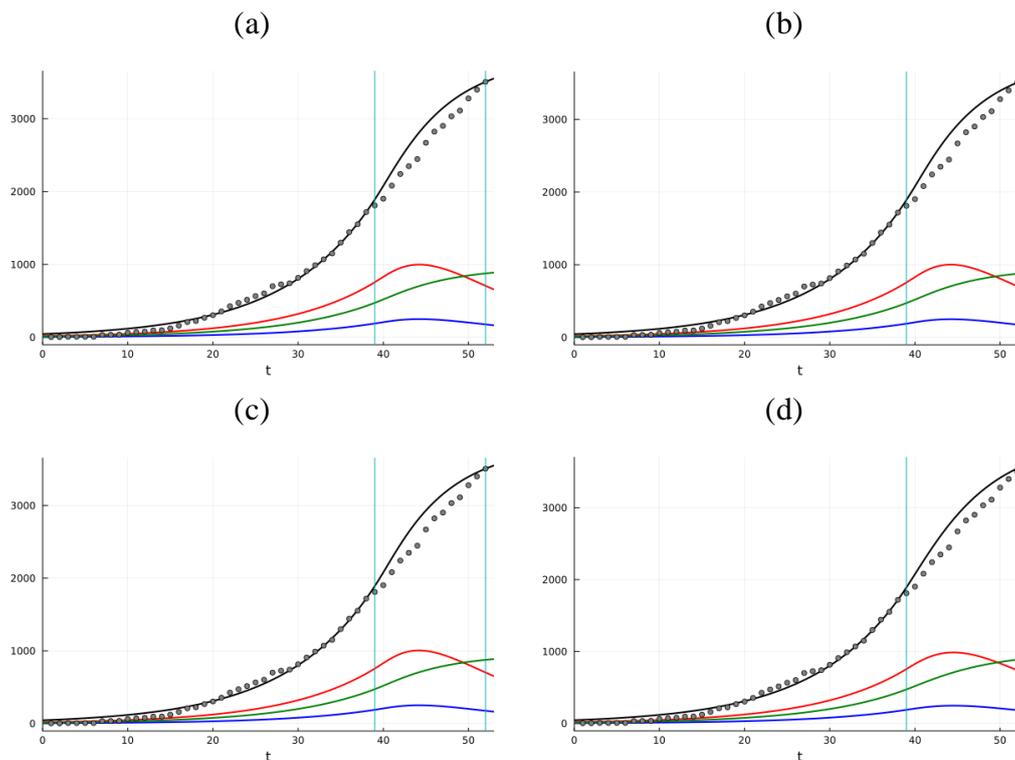


Gambar 3. Grafik solusi model SEIRU untuk data COVID-19 di Jakarta 3 Maret - 23 April 2020 dengan nilai parameter $v = 1/5$, (a) $1/\alpha = 6$ jam, (b) $1/\alpha = 12$ jam, (c) $1/\alpha = 1$ hari, (d) $1/\alpha = 3$ hari.

Implementasi pertama dilakukan menggunakan algoritma 4.2 dengan nilai $M = 52$. Perbedaan hasil implementasi untuk empat nilai α dan dua nilai v yang digunakan tidak dapat dilihat dengan jelas dari plot grafik pada Gambar 3 dan Gambar 4. Untuk mengetahui perbedaan hasil implementasinya dapat dilihat dari nilai *Mean Absolute Deviation* (MAD) yang tertera pada Tabel 4. Semakin kecil nilai MAD maka semakin baik implementasi yang dilakukan.

Tabel 4. Hasil implementasi model SEIRU pada kasus COVID-19 di Jakarta 3 Maret - 23 April 2020.

v	$1/\alpha$	τ_0	\mathcal{R}_0	μ	MAD
1/5	6 jam	$2.49E - 08$	1.6553	0.309	86
	12 jam	$2.55E - 08$	1.6937	0.358	87
	1 hari	$2.67E - 08$	1.7706	0.476	88
	3 hari	$3.13E - 08$	2.0781	2.0213	83
1/7	6 jam	$2.10E - 08$	1.827	0.494	81
	12 jam	$2.15E - 08$	1.8694	0.588	82
	1 hari	$2.24E - 08$	1.9543	0.887	83
	3 hari	$2.63E - 08$	2.2937	20.58	82



Gambar 4. Grafik solusi model SEIRU untuk data COVID-19 di Jakarta 3 Maret - 23 April 2020 dengan nilai parameter $v = 1/7$, (a) $1/\alpha = 6$ jam, (b) $1/\alpha = 12$ jam, (c) $1/\alpha = 1$ hari, (d) $1/\alpha = 3$ hari.

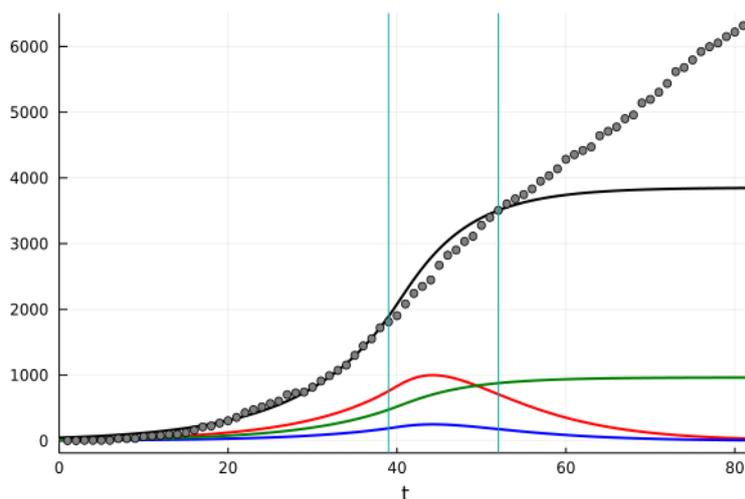
Berdasarkan Tabel 4, implementasi menggunakan nilai $v = 1/7$ dan $1/\alpha = 6$ jam menghasilkan nilai MAD terkecil. Hal ini dapat diartikan bahwa $v = 1/7$ dan $1/\alpha = 6$ jam merupakan nilai parameter yang paling dekat dalam merepresentasikan kasus COVID-19 di Jakarta dari 3 Maret 2020 sampai 23 April 2020. Nilai parameter $v = 1/7$ menunjukkan bahwa rata-rata waktu individu *infectious* di Jakarta tak memiliki gejala ialah 7 hari, sedangkan nilai parameter $1/\alpha = 6$ jam menunjukkan bahwa rata-rata durasi periode laten pada kasus COVID-19 di Jakarta ialah 6 jam. Dengan kata lain, saat seorang penduduk Jakarta (*suscept*) terpapar virus SARS-CoV-2, diperlukan waktu sekitar 6 jam sampai virus tersebut dapat ditularkan kepada orang lain dan diperlukan waktu 7 hari setelahnya sampai gejala penyakit COVID-19 muncul pada orang tersebut.

3.6 Implementasi Kedua: 3 Maret - 22 Mei 2020

Untuk melihat kesesuaian hasil implementasi pertama pada masa perpanjangan pertama PSBB (24 April - 22 Mei 2020), implementasi kedua menggunakan nilai parameter $v = 1/7$, $1/\alpha = 6$ jam, dan $\mu = 0.494$ yang diambil dari hasil implementasi pertama. Hasil implementasinya dapat dilihat pada Gambar 5.

Gambar 5 menunjukkan mulai dari $t = 53$, jumlah kumulatif kasus *infectious* bergejala terlapor hasil simulasi (plot garis hitam) semakin menyimpang dari data aktual (plot titik abu-abu). Saat plot data aktual terus beranjak naik secara linear, plot jumlah kumulatif kasus *infectious* bergejala terlapor hasil simulasi justru mulai melandai. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat ketidaksesuaian model SEIRU dengan nilai parameter $v =$

$1/7$, $1/\alpha = 6$ jam, dan $\mu = 0.494$ terhadap kasus COVID-19 di Jakarta 3 Maret - 22 Mei 2020. Oleh sebab itu, dilakukan penyesuaian dengan mencari nilai parameter yang lebih sesuai.

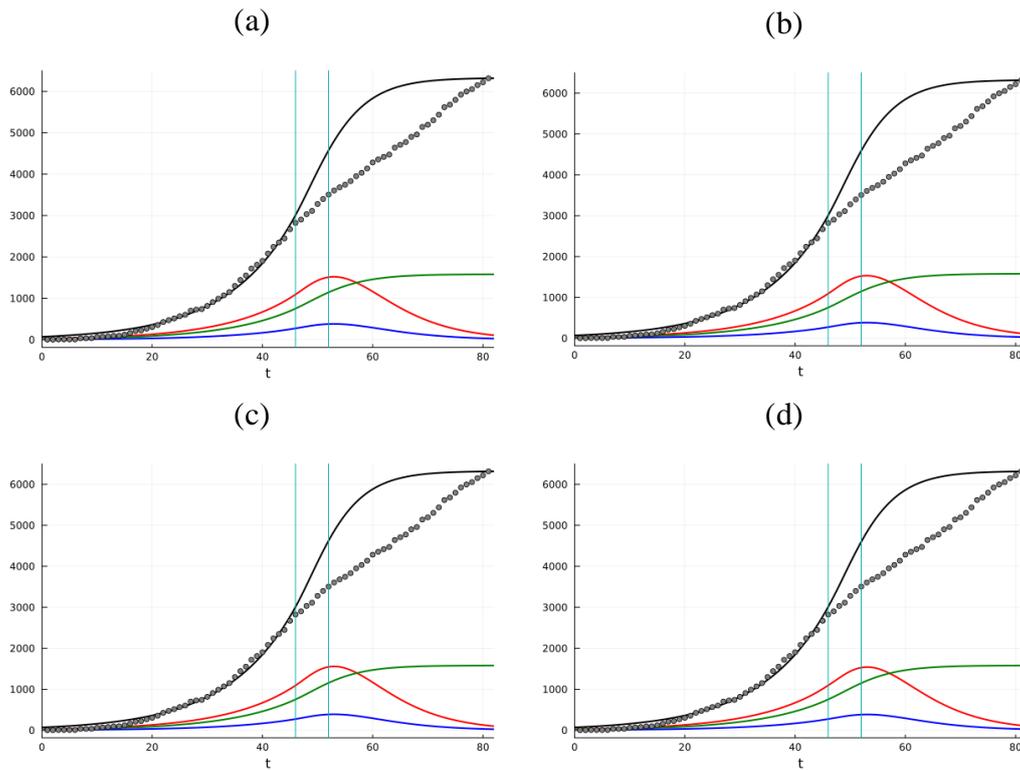


Gambar 5. Grafik solusi model SEIRU untuk data COVID-19 di Jakarta 3 Maret - 22 Mei 2020 dengan nilai parameter $\nu = 1/7$, $1/\alpha = 6$ jam, dan $\mu = 0.494$.

Penyesuaian dilakukan menggunakan algoritma pada bagian 4.2 dengan nilai $M = 81$. Langkah penyesuaian yang dilakukan pada dasarnya sama dengan langkah implementasi pertama. Penyesuaian ini akan mendapatkan nilai parameter ν , $1/\alpha$, dan μ yang paling dekat dalam merepresentasikan kasus COVID-19 di Jakarta dari 3 Maret sampai 22 Mei 2020. Nilai parameter yang digunakan tertera pada Tabel 3 dan hasil implementasinya dapat dilihat pada Tabel 5, Gambar 6 dan Gambar 7.

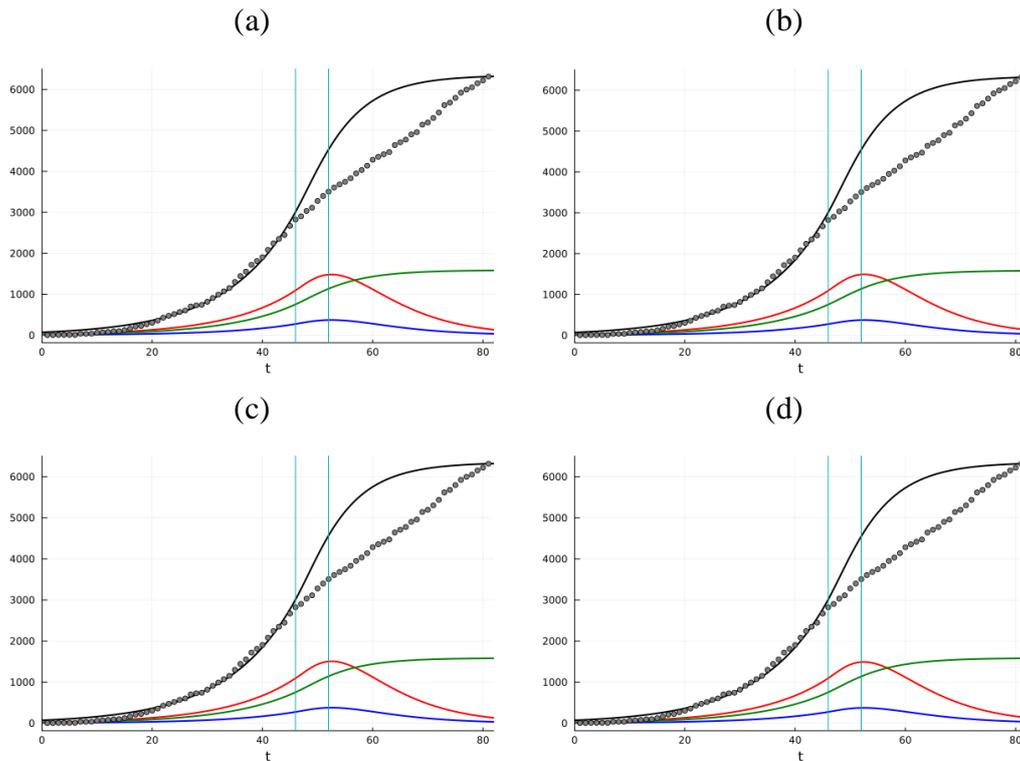
Tabel 5. Hasil implementasi model SEIRU pada kasus COVID-19 di Jakarta 3 Maret - 22 Mei 2020.

ν	$1/\alpha$	τ_0	\mathcal{R}_0	μ	MAD
1/5	6 jam	$2.49E - 08$	1.6553	0.1616	467
	12 jam	$2.55E - 08$	1.6937	0.1781	471
	1 hari	$2.67E - 08$	1.7706	0.219	478
	3 hari	$3.13E - 08$	2.0781	0.414	473
1/7	6 jam	$2.10E - 08$	1.827	0.253	444
	12 jam	$2.15E - 08$	1.8694	0.2813	448
	1 hari	$2.24E - 08$	1.9543	0.352	451
	3 hari	$2.63E - 08$	2.2937	1.052	446



Gambar 6. Grafik solusi model SEIRU untuk data COVID-19 di Jakarta 3 Maret - 22 Mei 2020 dengan nilai parameter $\nu = 1/5$, (a) $1/\alpha = 6$ jam, (b) $1/\alpha = 12$ jam, (c) $1/\alpha = 1$ hari, (d) $1/\alpha = 3$ hari.

Berdasarkan Tabel 5, nilai parameter $\nu = 1/7$ dan $1/\alpha = 6$ jam menghasilkan nilai MAD terkecil, yaitu 444. Meski begitu, nilai MAD tersebut terlampau besar dibandingkan dengan nilai MAD terkecil pada implementasi pertama. Seperti yang terlihat pada Gambar 6 dan 7, jarak antara plot garis hitam dan plot titik abu-abu pun begitu besar. Jarak tersebut menunjukkan jumlah kumulatif kasus *infectious* bergejala terlapor pada waktu t hasil implementasi model SEIRU yang tetap menyimpang jauh dari data aktualnya meskipun telah dilakukan penyesuaian ulang. Oleh sebab itu, dapat dikatakan bahwa model SEIRU tidak sesuai untuk kasus COVID-19 di Jakarta dengan masa perpanjangan PSBB.



Gambar 7. Grafik solusi model SEIRU untuk data COVID-19 di Jakarta 3 Maret - 22 Mei 2020 dengan nilai parameter $v = 1/7$, (a) $1/\alpha = 6$ jam, (b) $1/\alpha = 12$ jam, (c) $1/\alpha = 1$ hari, (d) $1/\alpha = 3$ hari.

3.7 Implementasi Tambahan: Simulasi Kasus COVID-19 di Jakarta Tanpa Pemberlakuan PSBB

Simulasi ini dilakukan untuk melihat pengaruh Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB) pertama pada penekanan laju penularan COVID-19 di Jakarta. Untuk melakukan simulasi ini, hasil implementasi model SEIRU tanpa efek pemberlakuan PSBB dibandingkan dengan hasil implementasi model SEIRU dengan efek pemberlakuan PSBB pada plot gambar yang sama. Implementasi model SEIRU tanpa efek pemberlakuan PSBB dilakukan dengan membuat nilai parameter laju penularan penyakit (τ) konstan yaitu bernilai sama dengan τ_0 . Rentang waktu yang digunakan ialah 3 Maret - 23 April 2020 dengan nilai parameter tertera pada Tabel 6.

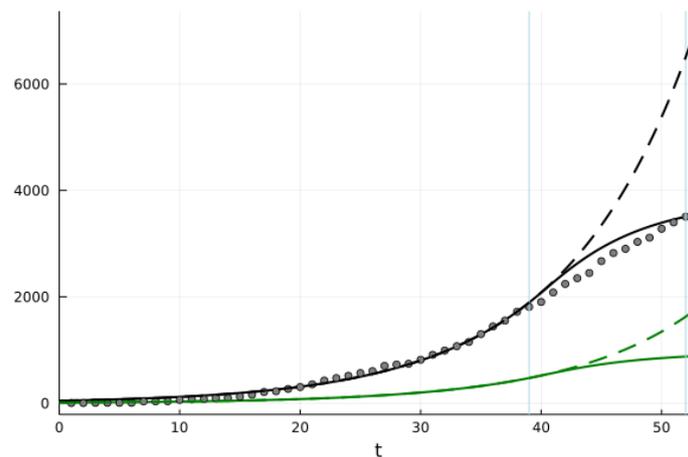
Pada Gambar 5, garis putus-putus hitam merepresentasikan jumlah kumulatif kasus *infectious* bergejala terlapor pada waktu t hasil implementasi model SEIRU tanpa efek pemberlakuan PSBB; garis hitam (tidak putus-putus) merepresentasikan jumlah kumulatif kasus *infectious* bergejala terlapor pada waktu t hasil implementasi model SEIRU dengan efek pemberlakuan PSBB; titik abu-abu merepresentasikan data aktual jumlah kumulatif kasus *infectious* bergejala terlapor pada waktu t ; garis putus-putus hijau merepresentasikan jumlah kumulatif kasus *infectious* bergejala tak terlapor pada waktu t hasil implementasi model SEIRU tanpa efek pemberlakuan PSBB; garis hijau merepresentasikan jumlah kumulatif kasus *infectious* bergejala tak terlapor pada waktu t hasil implementasi model SEIRU dengan efek pemberlakuan PSBB; dan garis biru muda

vertikal merupakan hari pertama ($t = 39$) dan hari terakhir ($t = 52$) pemberlakuan PSBB pertama di Jakarta.

Tabel 6. Nilai parameter untuk simulasi kasus COVID-19 di Jakarta tanpa PSBB.

Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
T	39	$S(0)$	10374235
α	4	χ_1	46.3858
ν	1/7	χ_2	0.0951
f	0.8	τ_0	$2.10E - 08$
η	1/7	\mathcal{R}_0	1.827
χ_3	1	μ	0.494
$R(0)$	0		

Gambar 8 menunjukkan dengan jelas perbedaan hasil simulasi model SEIRU dengan dan tanpa efek pemberlakuan PSBB. Pada hari terakhir pemberlakuan PSBB pertama di Jakarta ($t = 52$), jumlah kumulatif kasus *infectious* bergejala terlapor mencapai angka 3500-an kasus untuk simulasi dengan efek pemberlakuan PSBB, sedangkan simulasi tanpa efek pemberlakuan PSBB menghasilkan nilai lebih dari 6000 kasus. Jumlah kumulatif kasus *infectious* bergejala tak terlapor hasil simulasi model SEIRU dengan dan tanpa efek pemberlakuan PSBB juga mengalami perbedaan, yaitu sekitar 1000 kasus untuk simulasi dengan efek pemberlakuan PSBB dan sekitar 1800 kasus untuk simulasi tanpa efek pemberlakuan PSBB. Hal ini menunjukkan pemberlakuan PSBB efektif dalam menekan laju penularan penyakit dengan besar penurunan kasus *infectious* bergejalanya berkisar 41% dan 44 % untuk kasus yang terlapor dan tidak terlapor.



Gambar 8. Grafik perbandingan solusi model SEIRU dengan dan tanpa pemberlakuan pembatasan aktivitas publik (PSBB)

4 Simpulan dan Saran

4.1 Simpulan

Penelitian ini melakukan implementasi model SEIRU pada kasus COVID-19 di Jakarta, Indonesia. Berdasarkan implementasi yang dilakukan, model SEIRU cukup sesuai untuk menggambarkan dinamika kasus COVID-19 di Jakarta pada masa awal penyebarannya, yaitu mulai dari hari pertama tercatatnya kasus sampai masa pemberlakuan PSBB pertama Jakarta. Didapatkan perkiraan efek PSBB yang diterapkan dapat menurunkan jumlah kasus terlapor sebanyak 41%. Didapatkan pula rata-rata waktu individu *infectious* di Jakarta tak memiliki gejala ialah 7 hari dan rata-rata durasi periode latennya adalah 6 jam. Akan tetapi model SEIRU menjadi tidak sesuai jika diterapkan untuk periode yang lebih lama, yaitu saat adanya perubahan kebijakan pembatasan publik (seperti perpanjangan PSBB) yang mengubah besar efek pemberlakuan kebijakan sebelumnya.

4.2 Saran

Dapat dilakukan pengembangan pada persamaan laju penularan penyakit dalam model SEIRU agar dapat memperhitungkan efek pemberlakuan pembatasan aktivitas publik yang berubah-ubah. Dapat ditambahkan pula faktor-faktor lain yang mempengaruhi dinamika penularan penyakit, seperti: mobilitas, vaksinasi, dan lain-lain.

Daftar Pustaka

- [1] Dicker RC, Coronado F, Koo D, Parrish RG. 2006. *Principles of epidemiology in public health practice third edition; an introduction to applied epidemiology and biostatistics*. Atlanta(GA): Centers for Disease Control and Prevention
- [2] Dietz K. 1993. The estimation of the basic reproduction number for infectious diseases. *Statistical methods in medical research*. 2(1): 23-41.
- [3] Jakarta Smart City. Data COVID-19 di Jakarta. *corona.jakarta.go.id* [Internet]. Diakses pada tanggal 13 April 2021. Tersedia pada: <https://tiny.cc/Datacovidjakarta>
- [4] Liu Z, Magal P, Seydi O, Webb G. 2020a. A COVID-19 epidemic model with latency period. *Infectious Disease Modelling*. 2020 Jan 1 (5): 323-337.
- [5] Liu Z, Magal P, Seydi O, Webb G. 2020b. Understanding unreported cases in the COVID-19 epidemic outbreak in Wuhan, China, and the importance of major public health interventions. *Biology*. 9(3): 50.
- [6] Montgomery DC, Jennings CL, Kulahci M. 2015. *Introduction to time series analysis and forecasting*. John Wiley & Sons.
- [7] Moon Y, Yao T. 2011. A robust mean absolute deviation model for portfolio optimization. *Computers & Operations Research*. 38(9): 1251-1258.
- [8] Nelson KE, Williams CM, eds. 2014. *Infectious disease epidemiology: theory and practice*. Jones & Bartlett Publishers.
- [9] Paat Y. 202 Apr 23. Anies terbitkan Keputusan Gubernur tentang Perpanjangan PSBB. *Berita Satu* [Internet]. Diakses pada tanggal 10 Januari 2022. Tersedia pada: <https://beritasatu.com/megapolitan/624605/anies-terbitkan-keputusan-gubernur-tentang-perpanjangan-psbb>.
- [10] Umasugi RA, Movanita Ambaranie Nadia Kemala, ed. 202 Apr 8. PSBB di Jakarta mulai berlaku pada 10 April Pukul 00.00 WIB. *Kompas* [Internet]. Diakses pada tanggal 10 Januari 2022. Tersedia pada: <https://kompas.com/megapolitan/read/2020/04/08/18495161/psbb-di-jakarta-mulai-berlaku-pada-10-april-pukul-0000-wib>.
- [11] Van-den-Driessche P, Watmough J. 2002. Reproduction numbers and sub-threshold endemic equilibria for compartmental models of disease transmission. *Mathematical Biosciences*. 180(1-2): 29-48.