

SIMULASI NUMERIK PEMODELAN *SUSCEPTIBLE, INFECTED, RECOVERED, VACCINATED* (SIRV) DENGAN METODE EULER DARI DATA KASUS COVID-19 DI INDONESIA

Reinhart Emmanuel Ernst, Fahrudin Nugroho*

Universitas Gadjah Mada

*Corresponding author: Fakhrud@ugm.ac.id

ABSTRAK

Pemodelan SIRV merupakan penambahan variabel vaccinated pada model SIR. Model ini sering dipakai untuk memprediksi penyebaran penyakit menular. Penelitian ini bertujuan untuk mencari tahu efektivitas vaksin yang ditunjukkan pada pemodelan SIRV dibandingkan dengan kasus real-time di Indonesia dan untuk mencari tahu sistem bekerja dari SIRV model. Data yang dikumpulkan merupakan data yang didapatkan dari website pemerintah, yaitu covid19.go.id. Dengan menempatkan variabel vaccinated dan menganggap orang dalam variabel vaccinated merupakan orang yang imun, didapatkan grafik yang disajikan dalam penelitian ini. Dalam penelitian ini diaplikasikan metode numerik berupa metode euler. Digunakan bahasa pemrograman berupa python untuk mensimulasi pemodelan SIRV hingga 200 iterasi. Grafik yang didapatkan ternyata tidak sesuai dengan kasus real time. Perbedaan dari grafik yang didapat dari simulasi dengan grafik kasus aktif adalah dari rentang waktu menuju puncak. Waktu untuk menuju puncak dari kasus real time adalah di rentang waktu dibawah 30 hari dibanding dalam pemodelan dari 60-70 hari. Selain itu, ternyata angka dari pemodelan yang berbeda jauh ada di 2x lipat kenaikan dibanding dengan kasus asli yang bisa sampai 10x lipat.

Kata kunci : metode numerik, sir model, covid-19.

PENDAHULUAN

Pemodelan pertama terkait penyakit menular ini ada di dalam artikel Kermack-McKendrick (1927). Artikel tersebut menggunakan data dari *Indian Plague epidemic* pada awal 1900-an. Kermack-McKendrick (1927) menggunakan tiga variabel yakni *Susceptible, Infected* dan *Removed* (SIR) untuk menjelaskan terkait temuannya (Bernardi, 2021).

Pemodelan SIR ini digunakan untuk berbagai macam pandemi maupun epidemi seperti malaria (Mandal *et al.*, 2011). Seiring berjalannya waktu, perumusan model matematis untuk pandemi atau epidemi juga diiringi dengan bertambahnya variabel-variabel baru. Variabel-variabel seperti *deceased, exposed* hingga *vaccinated* sudah beberapa kali dibahas oleh saintis seperti Ishikawa di tahun 2012 (Ishikawa, 2012). Pemodelan ini juga biasanya menggunakan metode numerik (Butcher, 2008).

Tulisan ini juga akan menambahkan variabel vaksinasi di SIR model. Adanya variabel vaksinasi harusnya membuat pemodelan SIR semakin akurat terhadap *real time* kasus Covid-19 yang ada (Marinov dan Marinova, 2022). Tidak membuat 100% akurat, namun mendekati dari grafik kasus Covid-19. Data yang digunakan merupakan data Covid-19 di Indonesia. Pemodelan SIR dengan data Covid-19 di Indonesia sudah digunakan beberapa kali, salah satunya yang menggunakan data kasus Covid-19 di Kalimantan Timur (Sifriyani, 2020).

Namun yang berbeda adalah adanya penambahan variabel baru yaitu vaksinasi. Tulisan ini juga bisa menjadi tolak ukur bagi pemerintah dalam meneliti grafik kasus Covid-19 di Indonesia. Namun untuk pemodelan SIRV model dengan data Covid-19 di Indonesia sendiri masih belum diteliti. Penelitian ini akan menggunakan pemodelan SIRV yang dirumuskan oleh Schlickeiser dan Kroger pada 2021. Dengan menggunakan variabel yang lebih banyak, terutama variabel vaksinasi akan sangat berpengaruh terhadap grafik yang dihasilkan. Namun, jika grafik yang dimodelkan tidak mirip dengan grafik *real time* yang ada di Indonesia, kemungkinan ada variabel-variabel lain yang membuat kasus Covid-19 di Indonesia tidak sesuai. Variabel seperti sistem imun di tubuh tiap manusia yang berbeda-beda hingga variabel seperti *strain* SARS-CoV 2 yang terus berkembang dengan varian-varian yang terus bertambah tiap waktunya membuat vaksin harus terus diperbarui.

METODE

Metode penelitian akan digunakan metode Euler. Metode Euler dirumuskan sebagai berikut (Zill,2012).

$$x_{n+1} = x_n + h f(x_n, y_n) \quad (1)$$

Dengan menerapkan metode Euler kepada pemodelan SIRV, maka didapatkan pemodelan SIRV seperti berikut (Schlickeiser dan Kroger, 2021).

$$x_{n+\Delta n} = x_n (1 + \Delta n (x_n - x_n)) \quad (2)$$

$$x_{n+\Delta n} = x_n (1 + \Delta n (x_n - \gamma)) \quad (3)$$

$$x_{n+\Delta n} = x_n + \gamma \Delta n \quad (4)$$

$$S + \Delta S = S + (\beta) I \Delta t \quad (5)$$

dengan keterangan variabel-variabel seperti berikut:

S : *Susceptible*

I : *Infected*

R : *Recovered*

V : *Vaccinated*

t : Waktu (hari)

Δt : Periode waktu (hari)

β : Koefisien transmisi

$\beta(t)$: Rasio vaksinasi terhadap waktu

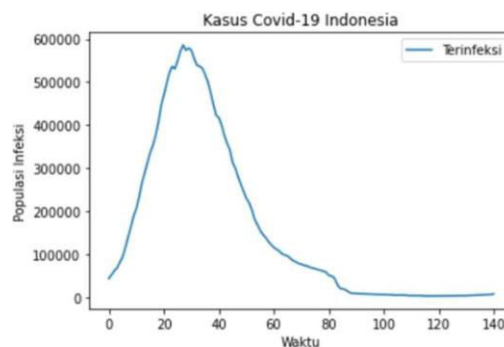
$$\gamma = \frac{1}{\text{Waktu Kesembuhan Orang Terinfeksi (Hari)}}$$

Pada penelitian ini digunakan data Covid-19 dari pemerintah dalam situs covid19.go.id. Data yang dipakai merupakan data Covid-19 Indonesia periode 28 Januari 2022 hingga 26 April 2022. Data dengan periode waktu tersebut dipilih karena merupakan periode kemunculan virus SARS-CoV 2 dengan varian omicron di Indonesia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Covid-19 Sebagai Acuan Pokok

Data yang digunakan merupakan data pada tanggal 28 Januari 2022 dari *website* covid19.go.id yang merupakan milik pemerintah. Alasan dibalik pemilihan rentang waktu tersebut dikarenakan Covid-19 dengan varian omicron yang mulai memuncak pada rentang waktu tersebut yang akan menjadi titik fokus pada penelitian kali ini. Gambar 1 merupakan grafik kasus aktif Covid-19 pada rentang waktu 28 Januari 2022-26 April 2022.



Gambar 1. Grafik kasus aktif Covid-19 periode 140 hari

Grafik pada Gambar 1 menunjukkan pada hari ke 30 masih mengalami kenaikan dan balik ke posisi awal pada hari ke 80. Selain itu terlihat jelas bahwa setelah memuncak di hari ke-28 tanggal 24 Februari 2022, perlahan lahan kasus aktif Covid-19 menurun. Penurunan angka kasus aktif Covid-19 dari puncak ke nilai awal periode, yaitu pada tanggal 28 Januari 2022 membutuhkan waktu sampai dengan 60 hari. Grafik ini nantinya akan dimodelkan menggunakan SIRV model.

Nilai koefisien transmisi (β) didapatkan dengan menggunakan nilai *Reproduction Effective* (Re) pada 28 Januari 2022 yaitu 2,35 (Mathieu, 2021). Rumus *Reproduction Effective* ditunjukkan oleh persamaan berikut.

$$\beta = \frac{\beta t}{\gamma t} \quad (6)$$

Re merupakan reproduksi efektif dalam waktu tertentu, βt merupakan transmission rate pada saat itu dan γt merupakan nilai waktu sembuh orang yang terkena Covid-19. Nilai γt yang digunakan sebesar 0,1. Nilai itu didapatkan karena dibutuhkan 7-10 hari maksimal untuk pemulihan Covid-19 varian omicron. Meskipun rentang waktu sembuh orang berbeda-beda, pada nilai γt diasumsikan bahwa semua orang yang terinfeksi Covid-19 varian omicron rata-rata butuh waktu 10 hari untuk sembuh berdasarkan Surat Edaran Kemenkes pada 22 Februari 2022. Kedua nilai Re dan γt cukup untuk menghitung nilai rasio transmisi (βt) yang didapatkan sebesar 0,235. Nilai νt (rasio vaksinasi) sendiri dihitung dengan data vaksinasi kedua pada awal t, yaitu vaksinasi pada 28 Januari 2022 dibagi dengan populasi. Rasio vaksinasi yang didapatkan sebesar 0,0027. Data yang digunakan merupakan data populasi yang sudah melakukan vaksinasi kedua.

Variabel β_0 , β_0 , β_0 dan β_0 didapatkan dari nilai kasus *real* Covid-19 pada waktu $t = 0$. Nilai β_0 didapatkan dengan menggunakan rumus seperti berikut:

$$\beta + \beta + \beta + \beta = \beta \quad (7)$$

Nilai N adalah jumlah populasi Indonesia, dalam model SIRV nilai N adalah 1. Nilai β_0 merupakan nilai kasus aktif pada saat $t = 0$, pada tanggal 28 Januari 2022, kasus aktif Covid-19 mencapai 43.574 jika dibagi dengan populasi Indonesia yang tercatat dalam website Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2022 sebesar

275.700.000, maka didapatkan angka 0,000158. Nilai β_0 didapatkan dengan menggunakan data kesembuhan pada saat $t = 0$, yakni pada saat 28 Januari 2022. Data kesembuhan total pada 28 Januari 2022 ada di angka 4.131.333, jika dibagi dengan populasi Indonesia maka nilai β_0 didapatkan 0,01498. Nilai β_0 didapatkan dengan membagi jumlah masyarakat Indonesia yang sudah vaksin dosis ke-2 dengan jumlah populasi masyarakat Indonesia. Hal ini dikarenakan juga oleh himbauan WHO untuk vaksin 2 kali (Korves *et al.*, 2022).

Didapatkan data vaksin dosis ke-2 di Indonesia yang tercatat pada tanggal 28 Januari 2022 sebesar 127.164.526, dan untuk mendapatkan nilai β_0 dibagi dengan populasi Indonesia, maka didapatkan nilai β_0 sebesar 0,4612. Nilai β_0 didapatkan dengan mengurangi nilai N dengan penjumlahan dari variabel β_0 , β_0 , β_0 . Didapatkan nilai S_0 yang akan dipakai yaitu sebesar 0,52484. Tabel terkait nilai variabel yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut.

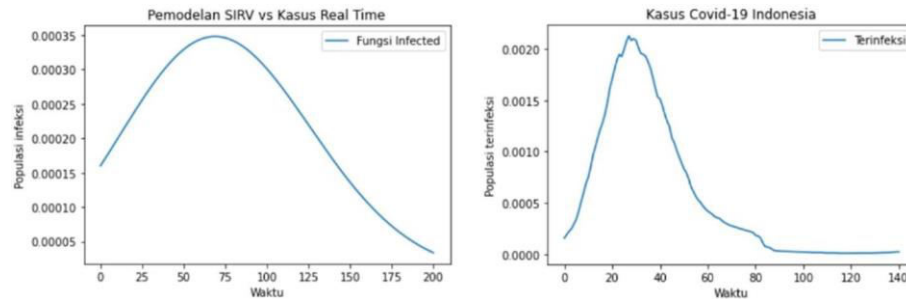
Tabel 1. Nilai-nilai variabel yang digunakan

Variabel	Nilai
β_t	0,235
γ_t	0,1
V_t	0,0027
β_0	0,52484
β_0	0,000158
β_0	0,01498
β_0	0,4612

B. Hasil Perhitungan

Menggunakan persamaan SIRV yang dijabarkan pada Persamaan (2) hingga Persamaan (5), diaplikasikan metode Euler untuk perhitungan dengan python. Metode Euler memiliki beberapa keunggulan di antaranya proses komputasi yang cepat dibanding metode komputasi lainnya. Dikarenakan pemodelan SIRV juga menggunakan iterasi yang bisa hingga 200 steps, dibutuhkan proses komputasi yang cepat dikarenakan banyaknya proses *trial and error* pada masing-masing variabelnya. Dengan mengaplikasikan metode Euler pada SIRV model, didapatkan persamaan yang tertulis pada Persamaan (1) hingga Persamaan (4). SIRV model

ditulis pada python seperti pada lampiran hingga didapatkan grafik yang sudah dimasukkan data seperti berikut.

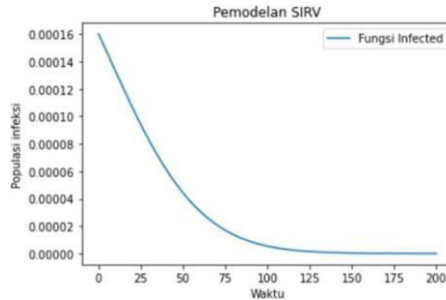


Gambar 2. Perbandingan pemodelan SIRV fungsi *Infected* waktu 200 hari (kiri) dengan kasus Covid-19 *real time* waktu 140 hari (kanan). Variabel yang diinisiasi yaitu $\beta = 0,235$, $\gamma = 0,1$, $\nu t = 0,0027$.

Grafik pada Gambar 2 menunjukkan perbedaan yang signifikan antara grafik pemodelan dan grafik kasus *real time*. Kasus *real time* mengalami kenaikan hanya dalam waktu 30 hari saja dan kenaikannya mencapai 10x lipat. Grafik pemodelan mencapai puncak pada hari ke 70 dengan kenaikan hanya 2x lipat. Hal ini tentu jelas berbeda, dikarenakan pemodelan jauh di bawah kasus *real time* dengan waktu menuju puncak yang juga berbeda. Namun hal yang menarik di sini bahwa penurunan sesuai puncak kasus Covid-19 *real time* ada di hari ke 90, yang berarti sekitar 60 hari setelah titik puncak. Pemodelan SIRV mempunyai titik puncak di hari ke 70-80 dan kembali ke titik awal pada hari ke 140. Itu berarti butuh waktu sekitar 60-70 hari untuk titik puncak kembali ke titik awalnya. Hal ini menjadi menarik karena meskipun grafik yang dihasilkan sangat berbeda, namun waktu dari titik puncak ke titik awal dari kedua grafik ternyata ada di sekitar 60-70 hari.

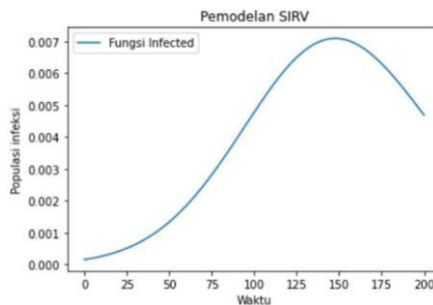
Untuk mendapatkan grafik yang setidaknya sesuai dengan kasus *real time*, dibutuhkan nilai dari tiap variabel yang sesuai juga tentunya. Variabel yang akan diubah adalah variabel β (*transmission rate*) dan γ (*recovery rate*).

Variabel γ (*recovery rate*) merupakan waktu kesembuhan orang terinfeksi, yang mana menurut Surat Edaran Kemenkes di bulan Februari 2022 merupakan 10 hari. Pemodelan akan diuji dengan nilai γ ditentukan 7 sampai 10 hari. Jika nilai γ adalah ¹ γ yaitu 0,14 Grafik didapatkan seperti berikut:



Gambar 3. Pemodelan SIRV dengan mengganti nilai variabel γ ke 0,14. Variabel yang diinisiasi yaitu $\beta = 0,235$, $\gamma = 0,14$, $\nu t = 0,0027$.

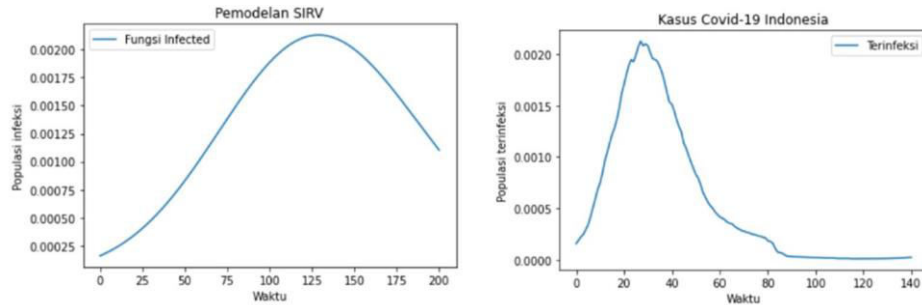
Grafik pada Gambar 3 menunjukkan bahwa adanya penurunan dari nilai awal. Terlihat bahwa grafik tidak mengalami kenaikan sama sekali, justru mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh perbandingan antara variabel β dan γ yang masih kecil sehingga fungsi I (*Infected*) tidak mengalami kenaikan. Untuk mencari nilai puncak yang setara dengan kasus asli, dibutuhkan nilai γ yang lebih kecil dari 0,1 agar terlihat ada kenaikan dari grafik pada Gambar 2. Oleh karena itu, variabel γ akan coba diubah ke 14 hari. Empat belas hari merupakan waktu isoman Covid-19 pada umumnya, terutama pada varian delta. Namun, dikarenakan hasil grafik dari nilai γ yaitu 7 hari yang masih tidak sesuai harapan, akan dicoba nilai yang masih relevan, yaitu 14 hari dengan nilai γ yaitu 0,071. Grafik yang dihasilkan seperti berikut.



Gambar 4. Pemodelan SIRV dengan mengganti nilai variabel γ ke 0,071. Variabel yang diinisiasi yaitu $\beta = 0,235$, $\gamma = 0,071$, $\nu t = 0,0027$.

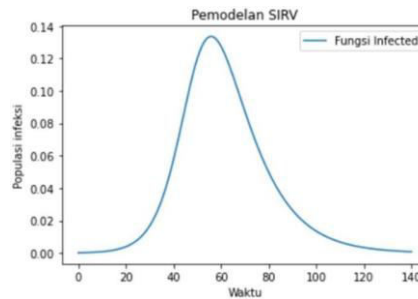
Perubahan terlihat pada grafik pada Gambar 4. Meskipun waktu untuk menuju puncak jauh lebih lama dari gambar 3.2, yaitu 150 hari, namun nilai titik puncak jauh lebih besar, yaitu 0,007. Nilai titik puncak sudah mulai mendekati kasus asli Covid-19 di Indonesia yaitu di angka 0,002. Nilai γ akan ditambah ke angka 0,081

dan angka titik puncak pemodelan sesuai dengan kasus *real time* sesuai dengan Gambar 5 seperti berikut.



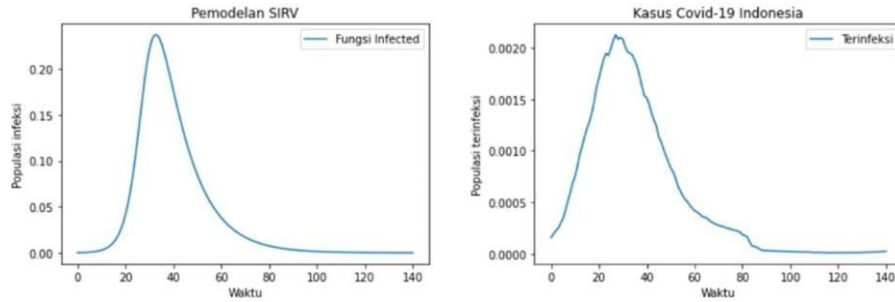
Gambar 5. Perbandingan pemodelan SIRV dengan mengganti nilai variabel γ ke 0,081 (kiri) dengan kasus asli Covid-19 (kanan). Variabel yang diinisiasi yaitu $\square = 0,235$, $\gamma = 0,081$, $\nu t = 0,0027$.

Nilai titik puncak yang sudah sesuai dengan kasus asli namun untuk waktu menuju titik puncak masih tidak sesuai, dimana grafik kasus aktif butuh waktu 30 hari sedangkan grafik pemodelan masih membutuhkan waktu 100 hari. Untuk mempercepat kenaikan kasus aktif, dibutuhkan nilai \square yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan nilai \square yang sangat berpengaruh terhadap fungsi I itu sendiri. Oleh karena itu, nilai \square ditambah menjadi 0,5 dan didapatkan grafik seperti berikut.



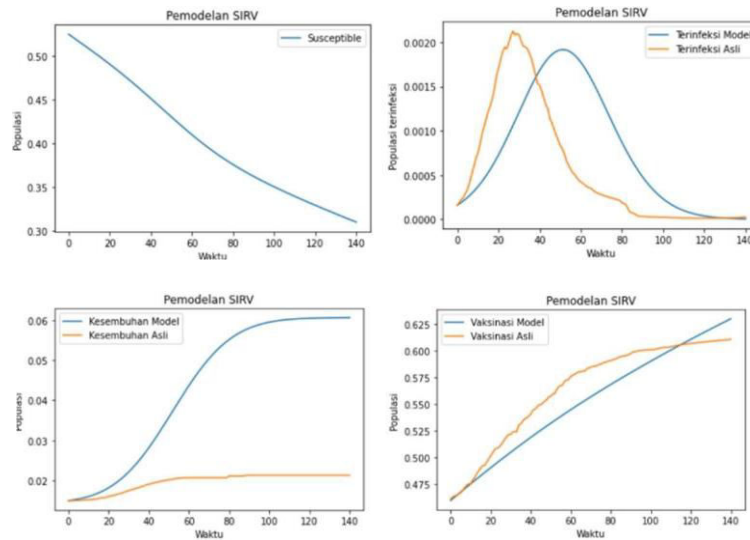
Gambar 6. Pemodelan SIRV dengan mengganti nilai variabel \square ke 0,5. Variabel yang diinisiasi yaitu $\square = 0,5$, $\gamma = 0,081$, $\nu t = 0,0027$.

Terlihat grafik pada gambar 3.6 bahwa nilai untuk menuju ke titik puncak yaitu di sekitar 50 hari. Namun, kenaikan \square akan menambah nilai dari titik puncaknya juga. Variabel \square ditambah ke 0,8 sehingga didapatkan grafik seperti berikut.



Gambar 7. Perbandingan pemodelan SIRV dengan mengganti nilai variabel β ke 0,8 (kiri) dengan kasus aktif (kanan). Variabel yang diinisiasi yaitu $\beta = 0,8$, $\gamma = 0,081$, $\nu t = 0,0027$.

Nilai β dapat mempengaruhi cepatnya kenaikan titik puncak dari grafik itu sendiri. Gambar 7 menunjukkan waktu yang sesuai dengan kasus asli, yaitu 30 hari. Namun, titik puncak yang didapat tidak sesuai dengan kasus asli, kenaikan titik puncak pada pemodelan yang bisa sampai 1000x lipat. Grafik itu juga menunjukkan bahwa untuk mendapat kondisi yang sesuai dengan kasus nyata, tidak bisa dipenuhi dalam persamaan SIRV ini sehingga diperlukan penambahan variabel yang sesuai.



Gambar 8. Perbandingan pemodelan SIRV dengan mengganti nilai variabel β ke 0,98 (kiri) dengan kasus aktif (kanan). Variabel yang diinisiasi yaitu $\beta = 0,98$, $\gamma = 0,42$, $\nu t = 0,0027$.

Variasi dilakukan sekali lagi yang digambarkan pada grafik di Gambar 8 terlihat bahwa titik puncak sudah sesuai dengan kasus asli, namun hari menuju puncak masih belum sesuai. Dikarenakan variabel yang digunakan sangat terbatas sehingga dibutuhkan beberapa variabel tambahan yang sesuai. Selain itu, nilai β dan γ yang

ternyata tidak sesuai membuat validitas data juga harus dipertanyakan.

C. Penyebab Perbedaan Grafik Pemodelan dengan Kasus Real Time

Perbedaan grafik ini menjadi pertanyaan, meskipun sudah menggunakan tambahan variabel V yaitu *vaccinated*, namun grafik yang ditunjukkan sangatlah berbeda. Hal-hal yang menjadi penyebab dari perbedaan ini antara lain sebagai berikut.

1. Pengaruh Variabel Terhadap Akurasi Pemodelan

Tulisan ini menggunakan 4 variabel utama, yaitu variabel S (*Susceptible*), variabel I (*Infected*), variabel R (*Recovered*) dan variabel V (*vaccinated*). Dalam tiap variabel tersebut, terdapat variabel-variabel yang mempengaruhi 4 variabel utama, seperti β (rasio transmisi), γ (rasio kesembuhan) hingga $v(t)$ (rasio vaksinasi). Semakin banyak variabel yang mendukung 4 variabel utama, seharusnya nilai-nilai iterasi dari variabel utama akan semakin mendekati grafik kasus aktif *covid-19*, karena di pemodelan ini dilakukan simplifikasi dari penyebaran *covid-19*. Contoh yang paling kecil adalah semua populasi yang ada di variabel V (*vaccinated*) akan imun, namun pada nyatanya banyak sekali masyarakat yang masih terinfeksi Covid-19 meskipun sudah disuntik vaksin dosis kedua. Selain itu, di pemodelan SIRV ini, populasi di variabel R akan menjadi imun dan tidak bisa terinfeksi lagi. Nyatanya, banyak sekali masyarakat yang sudah terinfeksi *covid-19* lebih dari sekali. Penambahan variabel dibutuhkan agar bisa mengurangi simplifikasi yang ada.

Banyaknya variabel akan membuat pemodelan ini semakin banyak asumsi. Contohnya penerapan SIR model untuk penyakit ebola memiliki cukup banyak variabel pendukung dibalik variabel utamanya. Salah satu asumsi yang dibuat oleh Berge adalah dengan menganggap toilet umum di Afrika tidak tersanitasi dengan baik, sehingga muncul satu variabel yang dinamakan *shedding rate* dengan nilai yang diasumsikan oleh Berge. Variabel tersebut merupakan rasio dari penularan virus ke suatu lingkungan yang baru. Banyak asumsi tidak membuat model semakin buruk, karena biasanya kondisi satu daerah menggambarkan banyak daerah di negara tersebut. (Berge *et al.*, 2017).

Hal ini juga dibuktikan melalui jurnal milik Angulo pada tahun 2021, yang mana Angulo memprediksi kasus aktif Covid-19 di China dengan menggunakan pemodelan SEIR (*Susceptible Exposed Infected Recovered*). Suatu hal yang

menarik adalah, Angulo menggunakan banyak variabel pendukung, seperti waktu reaksi masyarakat dan pemerintah hingga kekuatan kebijakan pemerintah dalam menangani kasus Covid-19. Data yang digunakan berbeda-beda tiap kotanya. (Angulo *et al.*,2021).

Grafik yang didapatkan Angulo memperlihatkan kemiripan grafik dan kasus real-time, berbeda dengan pemodelan SIRV yang dilakukan pada sub bab sebelumnya. Pada sub bab sebelumnya terlihat perbedaan yang cukup jauh yang mana grafik *real-time* yang naik hingga 10x lipat, sedangkan grafik pemodelan hanya naik sekitar 2x lipat. Berbeda dengan grafik yang didapatkan oleh Angulo yang memiliki kemiripan angka sehingga akurasi grafik dan pemodelannya lebih akurat. Banyaknya variabel dan variabel yang beragam diterapkan Angulo membuat perbedaan akurasi grafik terlihat nyata dengan pemodelan SIRV yang memiliki variabel lebih sedikit.

2. Efektivitas Vaksin

Grafik kasus *covid-19* dengan periode waktu Februari 2022-Januari 2022 terlihat jelas bahwa grafik selalu mengalami kenaikan ketika varian baru muncul. Menariknya meskipun sempat mengalami kenaikan namun puncak dari kasus Covid-19 varian omicron B.4 dan B.5 dan varian XBB tidak sebesar puncak varian omicron pada bulan Februari 2022. Hal ini juga dipertegas oleh vaksinasi yang pada bulan Juli-November hampir mencapai 75% dari populasi Indonesia. Hal ini bisa menjadi bukti dari efektivitas vaksin yang semakin lama semakin efektif.

Selain itu, efektivitas vaksin juga bisa dibuktikan dengan kestabilan grafik setelah varian Delta dan sebelum Omicron. Grafik kasus Covid-19 di Indonesia sempat terkontrol dengan baik mulai dari September 2021 hingga awal Januari 2022. Namun, karena munculnya varian baru yaitu varian omicron, kasus aktif langsung meledak hanya dalam kurun waktu sebulan.

Kemunculan varian baru menjadi tantangan tersendiri bagi vaksin (Siqueira *et al.*, 2022). Vaksin yang beragam tentunya memiliki tingkat keefektifannya sendiri terhadap masing-masing varian. Beragamnya vaksin di Indonesia seperti *Astrazeneca*, *Pfizer*, *Sinovac* hingga *Moderna*. Pada bulan September 2021, dilansir situs tempo vaksin dengan dosis terbanyak yang masuk ke Indonesia adalah vaksin

Sinovac dengan 181,9 juta dosis disusul dengan vaksin *Astrazeneca* dengan 11,6 juta dosis. Jika melihat keefektifan vaksin pada varian sebelumnya seperti Delta, Alpha, Gamma, data menunjukkan perbedaan efektivitas vaksin tiap vaksin. Vaksin *Sinovac* merupakan vaksin dengan dosis terbesar di Indonesia, sehingga jika melihat efektivitas vaksin untuk banyak masyarakat Indonesia, efektivitas vaksin *Sinovac* yang perlu dilihat (Cevik, 2021).

Sebuah penelitian menunjukkan tingkat keefektifan vaksin *Sinovac* 2 dosis pada anak berusia 3-5 tahun dan 6-11 tahun yang tinggal di benua Amerika Selatan ada di angka 38.2% dan 39.8%. Artinya adalah rentang umur juga sangat berpengaruh terhadap keefektifan vaksin (Lau, 2023).

Variabel *V* (*Vaccinated*) merupakan variabel yang penting pada pemodelan *SIRV* dikarenakan variabel ini mempengaruhi populasi di variabel *S* (*Susceptible*). Selain itu, populasi di variabel *V* pada pemodelan *SIRV* akan imun dan tidak mungkin terinfeksi. Melihat bahwa mulai dari efektivitas vaksin dari vaksin yang berbeda-beda, hingga efektivitas vaksin terhadap kelompok umur yang juga berbeda membuat variabel *V* di pemodelan *SIRV* tak relevan dengan kondisi nyata. Oleh karena itu, diperlukan variabel tambahan yang mendukung variabel *V* agar bisa relevan dengan kondisi nyata. Seperti penambahan variabel kemungkinan orang yang terkena vaksin terinfeksi lagi, hingga variabel kelompok umur juga perlu dipertimbangkan. Variabel *V* juga mengambil populasi dari orang yang sudah melakukan vaksinasi di hari itu. Padahal menurut Kementerian Kesehatan di Australia, vaksin membutuhkan waktu setidaknya 7-14 hari untuk bisa membuat sistem imun di tubuh.

Selain itu, grafik pada Gambar 3.2 menggambarkan bahwa rentang waktu yang sangat berbeda untuk menuju puncak kasus Covid-19 antara pemodelan dengan *real time*. Hal ini bisa menjadi pertanda bahwa vaksinasi tidak menghambat kenaikan kasus selambat yang dikira oleh pemodelan. Penambahan variabel seperti waktu perhambatan bisa dipertimbangkan untuk mendapatkan pemodelan yang lebih akurat.

Dengan banyaknya sampel yang diperlukan dan rentang umur yang juga berpengaruh terhadap keefektifan vaksin itu sendiri, dan tentunya tiap tempat yang

berbeda-beda, maka hal ini tidak akan terlalu disorot karena penelitian ini fokus pada pemodelan SIRV di Indonesia. Tentunya jika melihat alasan dari perbedaan grafik kenaikan kasus Covid-19 di Indonesia dengan pemodelan ada alasan terkait keefektifan vaksin itu sendiri.

3. Validitas Data

Meskipun digunakan data dari situs resmi pemerintah terkait Covid-19 yaitu covid19.go.id, sebuah data pasti juga memiliki kekurangan tersendiri. Data kasus aktif yang masuk pendataan merupakan data dari orang-orang yang positif Covid-19 setelah melakukan tes. Hal ini tidak menutup kemungkinan bahwa ada masyarakat yang tidak melakukan tes ketika mengidap Covid-19. Ketidaktahuan bisa menjadi faktor di balik ini. Masyarakat menganggap bahwa mereka hanya terkena flu biasa, namun itu adalah Covid-19. Hal ini menarik untuk dibahas karena ada kemungkinan bahwa data kasus aktif bisa jauh lebih besar dari pendataan.

Hal ini bisa ditutupi ketika tes Covid-19 diperbanyak, agar bisa mengurangi kejadian seperti itu terjadi. Jika membandingkan *test cases* Indonesia dengan Amerika Serikat, dengan jumlah perbandingan populasi 275 juta berbanding 331 juta, ditunjukkan bahwa Amerika Serikat bisa melakukan tes Covid-19 hingga 2 juta per harinya, sedangkan Indonesia tidak pernah lebih dari 500 ribu. Meskipun perbedaan penduduk terpaut 60 juta, seharusnya Indonesia bisa melakukan testing Covid-19 lebih dari ini. Kebijakan pemerintah dan koordinasi dengan tenaga kesehatan terkait tes Covid-19 harus diperkuat.

Perbedaan antara kasus asli dengan data yang didapat berpengaruh terhadap *Reproduction Effective* yang digunakan untuk mencari *transmission rate*. Kenaikkan grafik pemodelan yang hanya 2x lipat dari nilai awalnya menjadi pertanyaan apakah *transmission rate* yang didapatkan sesuai dengan kenyataannya atau tidak. Nilai *transmission rate* yang didapat bisa jadi jauh lebih besar dari yang didapatkan.

SIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, didapatkan kesimpulan seperti berikut:

1. Pemodelan SIRV dilakukan dengan metode Euler dan menggunakan bahasa pemrograman python. Pemodelan SIRV berbeda dengan pemodelan SIR. SIRV menambah variabel *vaccinated* yaitu populasi orang yang sudah vaksinasi dianggap imun.
2. Perbandingan SIRV model dengan kasus aktif Covid-19 di Indonesia terlihat dari nilai kenaikan kasus Covid-19 yang berbeda jauh dibanding pemodelan. Kenaikan kasus Covid-19 pada periode Januari 2022 hingga Februari 2022 ada di angka 10x lipat sedangkan kenaikan pada pemodelan hanya ada di angka 2x lipat. Selain itu pada kasus *real time*, periode waktu awal kenaikan menuju puncak Covid-19 hanya dibawah 30 hari dibanding grafik pemodelan yang selama 70 hari. Penurunan dari puncak kasus Covid-19 hingga ke titik awal selama 55 hari, sedangkan dalam pemodelan selama 60 hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Angulo, W., Ramírez, J. M., de Cecchis, D., Primera, J., Pacheco, H., & Rodríguez-Román, E. 2021. A modified SEIR model to predict the behavior of the early stage in coronavirus and coronavirus-like outbreaks. *Scientific Reports*. 11(1).
- Berge, T., Lubuma, J. M. S., Moremedi, G. M., Morris, N., Kondera-Shava, R. 2017. A simple mathematical model for Ebola in Africa. *Journal of Biological Dynamics*.11(1) : 42–74.
- Butcher, J.C. 2008. *Numerical Methods for Ordinary Differential Equation Second Edition*. John Wiley & Sons, Chichester.
- Cevik, M., Grubaugh, N. D., Iwasaki, A., & Openshaw, P, 2021. COVID-19 vaccines: Keeping pace with SARS-CoV-2 variants, *Cell*. 184(20):5077–5081.
- Chen, H., Guo, J., Wang, C., Luo, F., Yu, X., Zhang, W., Li, J., Zhao, D., Xu, D., Gong, Q., Liao, J., Yang, H., Hou, W., & Zhang, Y. (2020). Clinical characteristics and intrauterine vertical transmission potential of COVID-19 infection in nine pregnant women: a retrospective review of medical records. *The Lancet*. 395(10226): 809–815.
- Ishikawa, M. 2012. *Special Issue on the 43rd ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications-II Optimal Strategies for Vaccination using the Stochastic SIRV Model**. 25(12)
- Jayaweera, M., Perera, H., Gunawardana, B., & Manatunge, J. 2020. Transmission of COVID-19 virus by droplets and aerosols: A critical review on the unresolved dichotomy. *Environmental Research*.

- Korves, C., Izurieta, H. S., Smith, J., Zwain, G. M., Powell, E. I., Balajee, A., Ryder, K. M., & Young-Xu, Y. 2022. Relative effectiveness of booster vs. 2-dose mRNA Covid-19 vaccination in the Veterans Health Administration: Self-controlled risk interval analysis. *Vaccine*. 40(33) : 4742–4747.
- Liu, Y. C., Kuo, R. L., & Shih, S. R. 2020. COVID-19: The first documented coronavirus pandemic in history. *Biomedical Journal* . 43(4) : 328-333
- Liu, D. X., Liang, J. Q., & Fung, T. S. 2021. Human Coronavirus-229E, -OC43, -NL63, and -HKU1 (Coronaviridae). *Encyclopedia of Virology*. 4(2) : 428–440.
- Mandal, S., Sarkar, R., & Sinha, S. 2011. Mathematical models of malaria - A review. *Malaria Journal*. 10 : 202.
- Marinov, T. T., & Marinova, R. S. 2022. Adaptive SIR model with vaccination: simultaneous identification of rates and functions illustrated with COVID-19. *Scientific Reports*. 12(1): 15688.
- Mathieu, E., Ritchie, H., Ortiz-Ospina, E. et al, 2021. A global database of COVID-19 vaccinations. *Nat Hum Behav*
- Schlickeiser, R., & Kröger, M. 2021. Analytical Modeling of the Temporal Evolution of Epidemics Outbreaks Accounting for Vaccinations. *Physics (Switzerland)*. 3(2) 386–426.
- Sifriyani, S., & Rosadi, D. 2020. Susceptible Infected Recovered (SIR) Model For Estimating Covid-19 Reproduction Number In East Kalimantan and Samarinda. *MEDIA STATISTIKA*. 13(2): 170–181.
- Siqueira, P. C., Cola, J. P., Comerio, T., Sales, C. M. M., & Maciel, E. L. 2022. Herd immunity threshold for SARS-CoV-2 and vaccination effectiveness in Brazil. *Jornal brasileiro de pneumologia : publicacao oficial da Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia*. 48(2).
- Velavan, T. P., & Meyer, C. G. 2020. The COVID-19 epidemic. In *Tropical Medicine and International Health*. 25(3): 278-280.
- Wilson, N., Corbett, S., & Tovey, E. 2020. Airborne transmission of covid-19. *The BMJ*. 370.
- Wu, Y. C., Chen, C. S., & Chan, Y. J. 2020. The outbreak of COVID-19: An overview. *Journal of the Chinese Medical Association*. 83(3): 217-220.
- Zill, G.D. 2012. *A First Course in Differential Equations with Modeling Applications 10th Edition*. Cengage Learning, Boston.