

Literature Review: Model Matematika Penyebaran Virus SARS-COV-2 pada Masa Pandemi COVID-19 Tahun 2020

**Ernawaty Tamba¹, Muhammad Faturrahman Adani², Donna Mesina Rosadini Pasaribu³,
Wani Devita Gunardi³**

¹Departemen Ilmu Kesehatan Komunitas, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Kristen Krida Wacana, Jakarta, Indonesia

²Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Kristen Krida Wacana, Jakarta, Indonesia

³Departemen Mikrobiologi, Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan, Universitas Kristen Krida Wacana, Jakarta, Indonesia

Alamat Korespondensi: ernawaty@ukrida.ac.id

Abstrak

Pandemi COVID-19 dinyatakan sebagai *Public Health Emergency of International Concern* oleh WHO. Model Matematika penyebaran *Susceptible-Infected-Recovered (SIR)* dan model *Susceptible-Exposed-Infected-Recovered (SEIR)* digunakan dalam pemodelan penyakit menular dengan menghitung jumlah orang dalam populasi tertutup. Pemodelan matematika ini merupakan matematika epidemiologi untuk memahami dinamika populasi pada saat pandemi, dan acuan efektivitas kebijakan yang dilakukan selama pandemi. *Literatur Riview* ini bertujuan untuk mengetahui gambaran situasi pandemi COVID-19 berdasarkan model matematika *SIR* dan *SEIR* di beberapa negara tahun 2020. Data yang dipakai pada *Literatur Riview* ini adalah hasil penelitian, laporan dari lembaga terkait, situs web resmi jurnal dan beberapa situs berita resmi. Model *SIR* dan *SEIR* dengan baik menyajikan perubahan data COVID-19 dan model ini dapat memberikan panduan untuk mendapatkan wawasan yang lebih baik tentang evolusi pandemi COVID-19. Model Matematika *SIR* dan *SEIR* membantu pemerintah negara di dunia dan badan kesehatan dunia WHO, dalam membuat kebijakan pencegahan penularan dan pengendalian COVID-19.

Kata Kunci: Model Matematika, Pandemi COVID-19, Penyebaran *SIR* dan *SEIR*, Virus SARS-CoV-2

Literature Review: Mathematic Models OF SARS-COV-2 Transmission in The COVID-19 Pandemic Period 2020

Abstract

COVID-19 Pandemic was declared a *Public Health Emergency of International Concern* by WHO. The mathematical model of the spread of the *Susceptible-Infected-Recovered (SIR)* and *Susceptible-Exposed-Infected-Recovered (SEIR)* model is used in infectious disease modeling by counting the number of people in a closed population. This mathematical model is epidemiological mathematics to understand population dynamics during a pandemic and is a reference to the effectiveness of policies carried out during the pandemic. This Literature Review aims to describe the situation of the COVID-19 pandemic based on the mathematical model of the spread of *SIR* and *SEIR* in several countries in 2020. The data used in this Literature Review are the results of research, reports from related institutions, the journal's official website, and several official news sites. The *SIR* and *SEIR* models well presenting data changes and these models can provide guidance to gain better insight into the evolution of the COVID-19 pandemic. The *SIR* and *SEIR* Mathematical Models assist the Government and the World Health Organization (WHO) in making control regulations and policies to prevent transmission of COVID-19.

Keywords: COVID-19 Pandemics, Mathematical Models, SARS-CoV-2 Virus, *SIR* and *SEIR* of Transmission

How to Cite :

Pasaribu, D. M. R., Tamba, E., Adani, M. F., Gunardi, W. D. Literature Review: Model Matematika Penyebaran Virus SARS-COV-2 pada Masa Pandemi COVID-19 Tahun 2020. *J Kdokter Meditek*, 2023; 29(2), 226–235. Available from: <http://ejournal.ukrida.ac.id/ojs/index.php/Meditek/article/view/2607/version/2617> DOI: <https://doi.org/10.36452/jkdoktermeditek.v29i2.2607>

Pendahuluan

World Health Organization (WHO) menetapkan *Corona Virus Diseases-19* (COVID-19) sebagai pandemi global.¹ Untuk mengetahui perkembangan dan dinamika penyakit COVID-19 ini banyak ilmuwan yang mengembangkan model penyebaran penyakit tersebut, salah satunya dengan menggunakan model matematika penyebaran penyakit menular.² Terdapat beberapa model matematika yang digunakan, salah satu yang umum dipakai adalah model *Susceptible-Infected-Recovered* (SIR) dan model *Susceptible-Exposed-Infected-Recovered* (SEIR).³

Model SIR dan SEIR yang dikembangkan oleh Ronald Ross dan William Hamer pada awal abad kedua puluh, yang terdiri dari tiga dan empat sistem persamaan diferensial non-linear, yang tidak memiliki solusi rumus eksplisit. Namun kalkulus sederhana memungkinkan untuk mengekstrak banyak informasi untuk mencari solusi dari permasalahan. Model sederhana ini membantu meletakkan landasan teoritis untuk intervensi kesehatan masyarakat.^{4,5} Sehubungan dengan hal tersebut penulis melakukan studi literatur review dengan tujuan untuk mengetahui dinamika penyebaran penyakit COVID-19 saat pandemi berdasarkan model matematika SIR dan SEIR di beberapa negara pada tahun 2020. Dengan mendeskripsikan model matematika SIR dan SEIR dapat bermanfaat dalam membuat regulasi pengendalian dan kebijakan pencegahan penularan COVID-19.

Model Matematika Penyebaran SARS-CoV-19

Pemodelan matematika ini merupakan matematika epidemiologi untuk memahami dinamika populasi pada saat pandemi agar menjadi lebih sederhana. Model ini mencoba memprediksi penyebaran suatu penyakit, jumlah individu yang terinfeksi, dan lamanya wabah. Model yang paling sering dipergunakan adalah Model SIR (*Susceptible-Infected-Removed*). *Susceptible* adalah kelompok populasi dimana individu di populasi tersebut rentan terinfeksi. Kelompok yang terinfeksi (*Infected*) ini akan menjadi sumber penyebaran berikutnya ke kelompok rentan lainnya. hingga dapat mencapai puncak. Yang terinfeksi dapat menjadi sembuh

(*Recovered*) atau meninggal.⁶ Pemodelan ini dapat menunjukkan efektivitas kebijakan dan intervensi yang dilakukan selama pandemi seperti penggunaan masker, *social distancing*, *lock down*, maupun vaksinasi.

Pada beberapa penyakit menular lainnya, ada sebagian penduduk yang terpapar, tertular penyakit tetapi belum tentu menularkan kembali. Untuk pemodelan penyakit ini, model SEIR lebih banyak digunakan. Dalam model SEIR, populasi dibagi menjadi empat kelas: populasi kelas rentan (S), di mana semua individu rentan terhadap penyakit; kelas populasi terpajan/terpapar (E), yaitu semua individu yang terinfeksi tetapi belum menularkan; kelas populasi tertular (I), dimana semua orang tertular penyakit dan dapat menularkan; dan populasi kelas pulih (R), di mana individu sembuh.⁷

Perbedaan SIR dan SEIR terletak pada kompartemen yang terdiri dari individu yang terpapar dan terinfeksi, tetapi tidak menularkan atau belum tentu menular karena masa inkubasi patogen. Pada model SIR jumlah populasi diwakili oleh $N = S + I + R$ sedangkan pada model SEIR jumlah populasi diwakili oleh $N = S + E + I + R$.⁸

Angka Reproduksi Dasar dan Angka Reproduksi Efektif

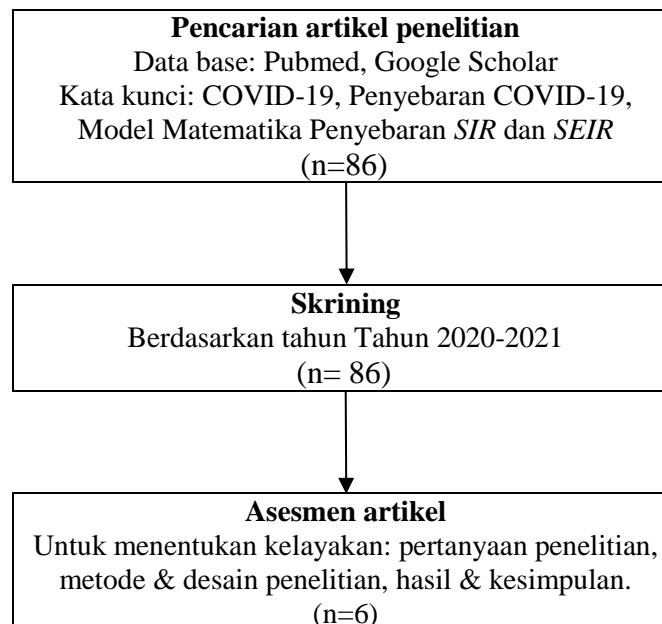
Angka reproduksi dasar (R_0) atau laju reproduksi dasar, adalah sebuah metrik epidemiologis yang digunakan untuk menggambarkan penularan agen infeksi. Sebuah wabah diperkirakan akan terus berlanjut jika R_0 bernilai lebih dari 1 dan berakhir jika R_0 kurang dari 1.⁹

Reproduksi efektif (R_t) menentukan potensi penyebaran epidemi pada waktu tertentu di dalam langkah-langkah pengendalian yang sedang dilakukan. Untuk mengevaluasi efektivitas intervensi kesehatan masyarakat, R_t harus dikuantifikasi dalam pengaturan yang berbeda, idealnya pada interval yang pendek dan teratur. Ketika R_t turun di bawah 1 untuk penyakit tertentu pada tempat tertentu, penyebaran penyakit melambat maka epidemi berpotensi dikendalikan di daerah tersebut. Bilamana R_t dalam kisaran 2 sampai 4 dan ukurannya berlipat ganda setiap 5 hari, maka sebagian dari populasi mengembangkan kekebalan melalui infeksi dan pemulihan, atau melalui vaksinasi.¹⁰

Metodologi

Dalam Menyusun *Literature Review*, penulis menggunakan beberapa tahap penelusuran literatur. Kata Kunci yang digunakan dalam pencarian artikel yaitu *Coronavirus Disease 2019* (COVID-19), Penyebaran COVID-19, Model Matematika Penyebaran *SIR* dan *SEIR*. Pada pencarian awal Terdapat 86 artikel yang diperoleh,

kemudian setelah dilakukan skrining dan asesmen terhadap artikel yang ditemukan didapatkan 6 artikel. Asesmen artikel yang dilakukan berdasarkan kesesuaian topik, metode penelitian yang digunakan, ukuran sampel, hasil dari setiap artikel serta keterbatasan yang terjadi. Alur pencarian literatur digambarkan dalam gambar 1.



Gambar 1. Proses Pencarian Artikel

Artikel yang dipilih berdasarkan kriteria inklusi seperti mempunyai pertanyaan penelitian, jenis desain, metode, hasil dan kesimpulan yang dicapai penulis tentang pertanyaan penelitiannya. Jurnal penelitian yang sesuai kemudian dikumpulkan dan dibuat ringkasan jurnal meliputi nama peneliti, tahun terbit jurnal, negara penelitian, judul penelitian, metode dan ringkasan hasil atau temuan. Ringkasan jurnal penelitian tersebut dimasukkan ke dalam tabel dan diurutkan

sesuai dengan format tersebut di atas. Hasil dari tabel tersebut kemudian akan diinterpretasikan lagi dalam bentuk paragraf atau narasi.

Hasil

Analisis kritis terhadap 6 artikel hasil penelitian yang menjadi sampel dalam *literature review* ini dituangkan dalam tabel berikut:

Tabel 1. Artikel Model Matematika Penyebaran *SARS-CoV-2* Selama Masa Pandemi COVID-19

Artikel No	Judul	Peneliti	Metode penelitian	Tujuan	Hasil
1.	<i>Early dynamics of transmission and control of COVID-19: a mathematical modelling study</i>	Kucharski <i>et al</i> (2020) ⁹	Menggabungkan model penyebaran <i>SIR</i> stokastik dengan data pada kasus COVID-19 di Wuhan dan kasus internasional yang berasal dari Wuhan	Memperkirakan bagaimana variasi penularan COVID-19 dari waktu ke waktu sepanjang Januari hingga Februari 2020	R_0 di Wuhan menurun dari 2.35 sebelum pembatasan perjalanan diberlakukan pada 23 Jan 2020, menjadi 1.05 satu minggu setelahnya. Kasus terbanyak yang tiba di lokasi pintu masuk bandara internasional, dengan potensi penularan ke Wuhan dengan kemungkinan banyak rantai penularan belum terjadi pada awalnya,

Artikel No	Judul	Peneliti	Metode penelitian	Tujuan	Hasil
					tetapi kemungkinan menyebabkan wabah baru pada akhirnya.
2.	<i>Prediction of COVID-19 transmission dynamics using a mathematical model considering behavior changes in Korea</i>	Kim, <i>et al</i> (2020) ¹⁰	Memodelkan wabah COVID-19 di Korea dengan menerapkan model matematika penyebaran <i>SEIR</i> yang dihubungkan dengan perubahan perilaku	Untuk memperkirakan tingkat penularan COVID-19 khusus wilayah Daegu / Gyeongbuk secara nasional serta parameter perubahan perilakunya.	Jumlah penyebaran per pasien yang terinfeksi diperkirakan 10 kali lebih tinggi di daerah Daegu / Gyeongbuk daripada rata-rata nasional. Model ini juga memperkirakan jumlah kasus secara nasional sekitar 13.800 dan 11.400 kasus di daerah Daegu / Gyeongbuk.
3.	<i>Modeling and Prediction of COVID-19 with a Large Scale Social Distancing</i>	Adi, <i>et al</i> (2020) ¹¹	Menggunakan model matematika SIR deterministik dengan menggunakan data penyebaran virus SARS-CoV-2 di DKI Jakarta	Memberikan analisis matematis sejauh mana efektifitas kebijakan PSBB terhadap keberhasilan menekan penularan dan penyebaran virus SARS-CoV-2	Adi, <i>et al</i> menyimpulkan tanpa intervensi angka reproduksi sekitar 1,658 dan jika <i>social distancing</i> skala besar diterapkan angka reproduksi turun menjadi 1,40 Untuk meminimalkan penularan penyakit, perlu dilakukan kebijakan dan kontrol yang ketat.
4.	<i>Modelling the COVID-19 epidemic and implementation of population-wide interventions in Italy</i>	Giordani, <i>et al</i> (2020) ¹²	Menggunakan model matematika SIR yang dimodifikasi (SIDHARTE) yang membedakan antara individu yang terinfeksi tergantung pada apakah mereka telah didiagnosis dan tergantung tingkat keparahan gejalanya.	Untuk memprediksi evolusi pandemi dan membantu menilai dampak dari berbagai strategi pencegahan penyebaran infeksi, termasuk <i>lockdown</i> , <i>social distancing</i> serta <i>testing massal</i> dan <i>contact tracing</i> di Italia	R_0 di Italia menurun dari 2,38 di hari pertama pandemi ke 0,85 pada hari ke 38 pandemi seiring dengan diberlakukannya kebijakan-kebijakan yang efektif. Jika tindakan <i>lockdown</i> yang ketat terus dipertahankan dan pengujian di seluruh populasi serta upaya pelacakan kontak ditingkatkan secara substansial, jumlah kematian berpotensi dibatasi hingga 25.000 orang secara keseluruhan
5.	<i>Mathematical modelling of COVID-19 transmission and mitigation strategies in the population of Ontario, Canada</i>	Tuite, <i>et al</i> (2020) ¹³	Menggunakan model SIR yang dimodifikasi sesuai kompartemen usia terstruktur dari penyebaran COVID-19 pada populasi Ontario, Kanada.	Untuk mengeksplorasi potensi dampak dari intervensi non farmasi berbasis kasus dan non kasus pada populasi Ontario, Kanada	Diperkirakan 56% dari populasi Ontario akan terinfeksi selama epidemi. Pada puncak epidemi, diproyeksikan akan ada 107.500 kasus di rumah sakit dan 55.500 kasus di <i>ICU</i>
6.	<i>A predictive model for Covid-19 spread applied to eight US states</i>	Khan, <i>et al</i> (2020) ¹⁴	Menggunakan model SIR yang dimodifikasi (<i>SQUIDER</i>)	Untuk memperkirakan evolusi pandemic COVID-19 di delapan negara bagian di Amerika Serikat	Khan, <i>et al</i> memperkirakan sekitar 11 juta total infeksi (termasuk tidak terdeteksi), 8 juta kasus terkonfirmasi kumulatif, dan 630.000 kematian kumulatif pada 1 November 2020. COVID-19 akan menjadi endemik, akan menyebar selama lebih dari dua tahun.

Pembahasan

Langkah Penelitian atau Metode Penelitian yang Digunakan

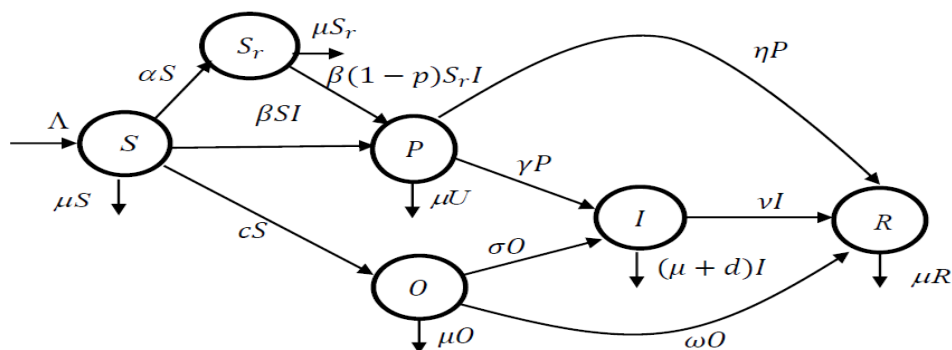
Kucharski, *et al* menggunakan model matematika *SIR* yang dimodifikasi dengan

membagi individu menjadi empat kelompok infeksi, sebagai berikut: rentan, terpajan (tetapi belum menular), menular, dan dikeluarkan (yaitu, diisolasi, pulih, atau tidak lagi menular).⁹ Kim, *et al* membuat model matematika COVID-19 penyebaran berdasarkan model *SEIR* dengan kelompok yang dikarantina di rumah sakit. Total

populasi (N) terdiri dari rentan (S), perubahan perilaku pada kelompok rentan (SF), terpapar virus (E), terinfeksi (I), dikarantina di rumah sakit (Q), dan pulih (R) individu. Individu yang terpajan virus melalui kontak dengan pasien infeksi pindah ke kelompok terpajan virus (E) dan mengembangkan gejala (I) setelah masa inkubasi virus. Setelah gejala muncul, individu yang terinfeksi (I) mengunjungi rumah sakit, dikonfirmasi dan dikarantina (Q). Akhirnya,

mereka pindah ke kelompok yang pulih (R) setelah masa pemulihan.¹⁰

Adi, *et al* mengembangkan model matematika COVID-19 dengan membagi populasi menjadi enam kompartemen, yaitu rentan, $S(t)$, rentan terbatas, $S_r(t)$, dalam pemantauan, $O(t)$, dalam pengawasan, $P(t)$, dikonfirmasi terinfeksi, $I(t)$, dan pulih, $R(t)$ individu. Jumlah total populasi adalah $N(t) = S(t) + S_r(t) + O(t) + P(t) + I(t) + R(t)$ (Gambar 2).¹¹



Gambar 2. Diagram skematis untuk transmisi SARS-CoV-2 dengan PSBB.¹¹

Pada penelitian Giordano, *et al*, membuat model matematika *SIDARTHE*; S, rentan (tidak terinfeksi); I, terinfeksi (terinfeksi asimtomatik atau *pauci-symptomatic*, tidak terdeteksi); D, terdiagnosis (terinfeksi tanpa gejala, terdeteksi); A, sakit (terinfeksi gejala, tidak terdeteksi); R, dikenali (terinfeksi gejala, terdeteksi); T, terancam (terinfeksi dengan gejala yang mengancam jiwa, terdeteksi); H, sembuh (sembuh); E, punah (mati). Sistem dinamis *SIDARTHE* terdiri dari delapan persamaan diferensial biasa, yang menggambarkan evolusi populasi di setiap tahap dari waktu ke waktu.¹²

Tuite, *et al* pada penelitiannya mengembangkan model kompartemen berdasarkan usia yang menggambarkan penularan COVID-19 di provinsi Ontario, Kanada. Mereka menggunakan model matematika *SIR* yang dimodifikasi dengan menggabungkan kompartemen tambahan adanya intervensi kesehatan masyarakat, dan tingkat keparahan gejala klinis dan risiko masuk rumah sakit.¹³

Khan, *et al* menggunakan Model *SQUIDER* menggabungkan proses tambahan ke dalam model klasik *SIR* (Rentan, Terinfeksi, Pulih): yaitu: i) membuat perbedaan antara kasus yang diketahui (yang dilaporkan secara publik) dan kasus asimtomatik atau ringan yang tidak dipantau atau dideteksi; ii) termasuk efek tanggap yang berbeda

berdasarkan wilayah secara langsung seperti karantina dan tidak langsung seperti upaya jarak sosial; dan iii) kemungkinan hilangnya kekebalan individu yang telah pulih, yang memungkinkan kembali menjadi populasi Rentan. Model ini membutuhkan beberapa kompartemen baru, yang akan ditunjukkan sebagai U (Terinfeksi tetapi tidak terdeteksi), E (dikecualikan, berarti pulih tetapi tidak terdeteksi dan kemungkinan kematian), dan Q (karantina semu, sebuah kelas untuk menampung segmen populasi terinfeksi yang rentan dan tidak terdeteksi). Khan et al memodelkan laju kontak yang lebih rendah karena *social distancing*). Selanjutnya, untuk tujuan pemodelan/penyesuaian Khan et al menambahkan kompartemen D terpisah untuk orang yang terinfeksi yang meninggal.¹⁴

Situasi Pandemi di Beberapa Negara Berdasarkan Model Matematika SIR dan SEIR

Kucharski, *et al* dalam penelitiannya menekankan bahwa memahami dinamika penularan awal infeksi dan mengevaluasi keefektifan tindakan pengendalian sangat penting untuk menilai potensi penularan berkelanjutan yang dapat terjadi di daerah baru.⁹ Pasar basah di Wuhan di China, diyakini menjadi sumber COVID-

19, dimana kegiatan pasar ramai, merupakan pasar grosir makanan, tempat menyembelih dan menjual hewan hidup, hewan liar, ayam, ikan dan bahan pokok.¹⁵

Otoritas kesehatan China memberlakukan “*travel restrictions*” dan menghentikan semua operasional transportasi umum di kota Wuhan atau pembatasan perjalanan ke seluruh provinsi Hubei pada 23- 26 Januari 2020. Setelah memperkirakan R_t , Kucharski, *et al* menggunakan proses percabangan dengan distribusi keturunan binomial negatif untuk menghitung probabilitas kasus yang diperkenalkan akan menyebabkan wabah besar.^{9,16} Diperkirakan bahwa median angka reproduksi harian (R_t) menurun dari 2.35 sebelum pembatasan perjalanan diberlakukan, menjadi 1.05 satu minggu kemudian. Berdasarkan perkiraan tentang R_t , dengan asumsi variasi mirip SARS, terbukti bahwa di lokasi dengan potensi penularan yang serupa dengan Wuhan pada awal Januari, setelah ada 4 kasus yang diketahui, maka akan ada lebih dari 50% kemungkinan infeksi akan terjadi dalam populasi tersebut. Pemodelan ini menunjukkan bahwa penularan COVID-19 menurun di Wuhan selama akhir Januari 2020, setelah ditetapkannya langkah-langkah pembatasan perjalanan.^{9,16-19}

Dinamika Penyebaran COVID-19 Menggunakan Model Matematika dengan Mempertimbangkan Perubahan Perilaku di Korea Selatan

Korea Selatan adalah salah satu negara pertama yang mengalami wabah COVID-19, yang dianggap diimpor dari Wuhan, China, dan dilaporkan pada 20 Januari 2020. Kim, *et al* menerapkan model matematis yang memperhitungkan faktor perubahan perilaku yang diterapkan di masyarakat pada 18 Februari 2020. Model ini memprediksi jumlah maksimum individu yang terisolasi, ukuran akhir dan waktu akhir epidemi. Sementara jumlah kasus yang dikonfirmasi terus meningkat secara nasional, dan jumlah kasus di daerah Daegu / Gyeongbuk sekitar 90% dari semua kasus di Korea, dan tingkat kejadian per 100.000 adalah 132,96 kasus (Daegu, 232,42; Gyeongbuk, 41,95). Analisis pola penularan lokal COVID-19 di Korea menggunakan pemodelan matematika dan simulasi yang dapat memperkirakan risiko relatif dengan membandingkan parameter epidemiologi antara tingkat nasional.¹⁰

Menurut Maron Dalton, *et al*, *physical distancing* bermanfaat pada tahap pertama dengan mengurangi jumlah kontak yang dilakukan setiap

orang. Peningkatan personal hygiene, penggunaan masker sebagian besar berperan pada tahap kedua, karena mengurangi risiko penularan jika terjadi kontak.^{14,15} Kim, *et al* secara matematis menunjukkan bahwa tingkat penularan per kapita yang relatif tinggi dan tingkat perubahan perilaku yang rendah telah menyebabkan penularan COVID-19 dalam skala besar di daerah Daegu/ Gyeongbuk di Korea, dan diperkirakan akan berlanjut hingga Mei, maka diperlukan intervensi non-farmasi yang dapat dipertahankan dalam jangka panjang.¹⁰

Pemodelan dan Prediksi COVID-19 dengan Social Distancing Skala Besar di Indonesia

Kasus pertama COVID-19 di Indonesia dilaporkan pada 2 Maret 2020, diawali dengan 2 kasus hingga 4.265 orang terinfeksi di Indonesia pada 11 Mei 2022. Kasus COVID-19 telah tersebar ke seluruh 34 provinsi di Indonesia.¹⁷ *Case Fatality Rate* (CFR) Indonesia jauh lebih tinggi daripada di Republik Rakyat Cina (8,9% vs 4%).¹⁸

Menurut Ariawan, *et al*, konsep pengendalian penularan penyakit bergantung pada pembatasan kontak; dan akhirnya, bergantung pada vaksinasi. Pemerintah pusat mewajibkan penerapan *social distancing* dua minggu setelah kasus pertama dikonfirmasi dan meregulasi peraturan tentang Pembatasan Sosial Berskala Besar / PSBB yang membatasi mobilitas penduduk non-esensial yang diberlakukan pada April 2020. Ibukota, DKI Jakarta, yang pertama melakukan tindakan penutupan sekolah dan bisnis pada pertengahan Maret dan memberlakukan PSBB penuh pada 10 April 2020. Kebijakan ini sangat bergantung pada kedisiplinan warga dalam menerapkan *social distancing* yang akan membatasi kontak.^{11,19}

Adi, *et al* menemukan bahwa tanpa intervensi PSBB (diagram pemodelan matematika seperti pada Gambar 2), angka reproduksi sekitar 1,658 dan angka reproduksi turun menjadi 1,40 jika PSBB tetap diterapkan. Lebih lanjut, waktu akhir epidemi diperkirakan sekitar akhir November 2020 dengan puncak kasus sekitar pertengahan Juni. Untuk meminimalkan penularan penyakit, perlu dilakukan kebijakan dan kontrol yang ketat.¹¹

Pemodelan Epidemi COVID-19 dan Implementasi Intervensi di seluruh populasi di Italia

Menurut Alfano, *et al*, di tengah situasi pandemi COVID-19 ada dua jenis kebijakan utama

yang penting untuk diberlakukan: (1) Kebijakan kesehatan yang ditujukan untuk memperkuat kapasitas dan sistem di rumah sakit; dan (2) kebijakan yang bertujuan untuk mengurangi kemungkinan orang tertular virus SARS-CoV-2, seperti *lockdown* dan *physical distancing*. Kebijakan *lockdown* berdampak positif pada pandemi, dan mampu mengurangi jumlah kasus COVID-19 di negara yang menerapkannya. Di benua Eropa, efisiensi dapat terlihat kira-kira 3 minggu setelah *lockdown* dan terus mengurangi jumlah infeksi COVID-19 hingga duapuluh hari kemudian.²⁰

Parameter model Matematika Giordano, *et al* diperbarui dari waktu ke waktu untuk mencerminkan pengenalan progresif dari kebijakan pembatasan yang ditingkatkan. Pada hari ke-1 angka reproduksi dasar adalah $R_0 = 2,38$ yang mencerminkan ada KLB besar. Pada hari ke-4, $R_0 = 1,66$ sebagai hasil pengenalan *basic social distancing*, kesadaran akan epidemi, rekomendasi kebersihan dan perilaku, serta tindakan awal oleh pemerintah Italia (misalnya, menutup sekolah). Pada hari ke-12, individu tanpa gejala hampir tidak lagi terdeteksi, dan skrining difokuskan pada individu yang bergejala (mengarah ke $R_0 = 1,80$). Pada hari ke-22, *lockdown* sebagian yang tidak lengkap, yang efektivitasnya dikurangi dengan pergerakan orang dari utara ke selatan Italia ketika penguncian seluruh negara diumumkan tetapi belum diberlakukan, menghasilkan $R_0 = 1,60$. Ketika penguncian nasional sepenuhnya beroperasi dan diberlakukan secara ketat, setelah hari ke-28, $R_0 = 0,99$, hari ke-38 $R_0 = 0,85$ akhirnya mencapai di bawah 1, karena kampanye pengujian yang lebih luas kepada individu yang terinfeksi dengan gejala yang lebih ringan.¹²

Pemodelan Matematis Penyebaran COVID-19 dan Strategi Mitigasi di Populasi Ontario, Kanada

Tuite, *et al* membandingkan penemuan kasus yang meningkat, tindakan *physical distancing*, dengan penemuan kasus yang meningkat dan *physical distancing* yang tidak terlalu diterapkan. *Physical distancing* diimplementasikan baik untuk jangka waktu tetap atau secara dinamis *on* dan *off*, dihubungkan dengan proyeksi hunian unit perawatan intensif (*ICU*) selama jangka waktu 2 tahun.¹³ Hasil Penelitian menjelaskan bahwa 56% populasi Ontario akan terinfeksi selama epidemi dalam kasus dasar, sedangkan pada puncak epidemi, memproyeksikan 107.000 kasus di rumah sakit (*nonICU*) dan 55.500 kasus di *ICU*.

Intervensi dengan durasi yang lebih lama akan lebih efektif. Intervensi dinamis diproyeksikan dapat mengurangi proporsi populasi yang terinfeksi pada akhir periode 2 tahun dan dapat mengurangi jumlah median kasus di *ICU*, bahkan di bawah kapasitas *ICU*. Penerapan *physical distancing* yang substansial atau kombinasi *physical distancing* sedang, bahkan *physical distancing* yang dinamis dapat mempertahankan kapasitas sistem kesehatan dan juga memungkinkan kelonggaran psikologis dan ekonomi secara berkala untuk populasi Ontario, Canada.

Model Prediksi untuk Penyebaran COVID-19 yang Diterapkan di Negara-negara Bagian di Amerika Serikat

Tingkat kepadatan penduduk yang berkontribusi pada penyebaran COVID-19, Awal masa pandemi Amerika Serikat mencatat angka reproduksi dasar $R_0 = 5$, Angka ini sangat tinggi dibandingkan negaral lain.²¹ Sebanyak 3,4 juta kasus terkonfirmasi yang dilaporkan (per 15 Juli 2020) kemungkinan hanya mewakili sebagian kecil dari semua infeksi yang telah terjadi di AS. Proyeksi Khan, *et al* berdasarkan situasi saat itu menunjukkan bahwa COVID-19 akan menjadi endemik dan akan menyebar selama lebih dari dua tahun. Jika negara bagian memperlonggar kebijakan tinggal di rumah, sebagian besar negara bagian mungkin mengalami puncak pandemi sekunder pada tahun 2021. Jika *lockdown* dilakukan, jumlah kematian COVID-19 sejauh ini bisa jadi lebih rendah secara signifikan di sebagian besar negara bagian yang telah mulai beraktifitas kembali. Khan, *et al* memprediksi bahwa menurunkan rasio kontak sebesar 10%, atau meningkatkan pengujian sekitar 15%, atau menggandakan kepatuhan *lockdown* (dari 15% - 30% saat ini) akan memberantas infeksi di negara bagian Texas dalam waktu satu tahun.¹⁴

Peran Model Matematika Penyebaran pada Wabah COVID-19

Hasil penelitian menunjukkan bahwa gambaran epidemiologis untuk mengontrol penyebaran virus SARS-CoV-2 sangat menantang, karena sulit untuk mengidentifikasi dan mengkarantina pasien tepat pada waktu,¹⁶ kemudian terjadi penularan tanpa gejala sehingga sangat sulit dideteksi dan hal ini mengakibatkan penularan lebih lanjut.¹⁷

Seperti yang dijelaskan dalam penelitian Kucharski *et al* bahwa median angka reproduksi harian (R_t) di Wuhan menurun setelah pembatasan perjalanan diberlakukan, pada 23 Jan 2020, di Korea Selatan, Kim *et al* secara matematis menunjukkan bahwa tingkat penularan per kapita yang relatif tinggi dan tingkat perubahan perilaku yang rendah telah menyebabkan penularan COVID-19 dalam skala besar, dan diperlukan intervensi non-farmasi yang dapat dipertahankan dalam jangka panjang (tindakan vaksinasi masal secara massif). Di Indonesia, Adi *et al* menjelaskan hasil penelitiannya bahwa tanpa intervensi, angka reproduksi turun jika PSBB tetap diterapkandan untuk meminimalkan penularan penyakit, perlu dilakukan kebijakan dan kontrol yang ketat.⁹⁻¹¹

Di Italia, penelitian Giordano *et al* menunjukkan bahwa angka R_0 menurun seiring dengan diberlakukannya pengetatan kontrol dan intervensi, seperti *lockdown* yang tidak terlalu ketat dengan pengujian yang terbatas, angka kematian masih tinggi tetapi ketika dilakukan tindakan *lockdown* yang ketat terus dipertahankan dan pengujian dilakukan di seluruh populasi serta upaya pelacakan kontak ditingkatkan secara substansial, jumlah kematian berpotensi terbatas. Giordano *et al* berpendapat, bahwa menggabungkan kebijakan *lockdown* dan pengujian seluruh populasi adalah kunci untuk segera mengakhiri pandemi COVID-19.¹²

Tuite *et al* pada penelitiannya di Negara Kanada mengatakan bahwa penerapan *physical distancing* yang substansial atau kombinasi *physical distancing* yang dinamis, dengan deteksi kasus yang ditingkatkan, dapat mempertahankan kapasitas sistem kesehatan dan juga memungkinkan kelonggaran psikologis dan ekonomi secara berkala. Sementara, Amerika Serikat memiliki angka R_0 yang tinggi, ketika negara-negara bagian di AS memperlonggar kebijakan tinggal di rumah, maka mengakibatkan terjadi puncak pandemi sekunder. Khan *et al*, memprediksi bahwa melakukan *physical distancing*, meningkatkan testing, dan mengindahkan kepatuhan *lockdown* dapat memberantas penyebaran COVID-19 di negara-negara bagian AS dalam waktu satu tahun.^{13,14}

Kebijakan yang diberlakukan di setiap negara berbeda-beda dan menuai beragam reaksi, masyarakat menganggap kebijakan yang diberlakukan di wilayahnya tidak efektif dan berdampak buruk bagi kehidupan mereka. Gejala politik di beberapa negara dan wilayah juga mempengaruhi bahkan memperburuk situasi pandemi. Beberapa bulan terakhir negara-negara di

dunia mengalami lonjakan baru kasus COVID-19, WHO menjelaskan lonjakan tersebut sebagian besar disebabkan oleh pelanggaran kebijakan dan orang-orang yang mulai melepaskan kewaspadaan mereka terhadap wabah ini. WHO menjelaskan hingga saat ini praktik personal hygiene, pemakaian masker dan social/physical distancing adalah cara paling efektif untuk mencegah penyebaran virus SARS-CoV-2.

Dari angka yang dihasilkan oleh model *SIR* dan *SEIR*, petugas kesehatan dan peneliti dapat menghitung angka berbeda yang memungkinkan mereka untuk melihat apakah kebijakan efektif dan apakah kejadian penyakit meningkat, menurun, atau stabil.

Model epidemiologi dan model matematika penyebaran penyakit menular dapat menyumbangkan wawasan penting bagi pembuat keputusan kesehatan masyarakat supaya dapat menelusuri skenario dan kemungkinan yang ada. Model-model matematika tersebut punya peran penting dalam membantu mengukur kemungkinan pengendalian penyakit dan strategi mitigasi.²²

Saat WHO menetapkan COVID-19 sebagai pandemi global,^{4,6} maka untuk mengetahui perkembangan dan dinamika penyakit COVID-19 ini banyak ilmuwan yang mengembangkan model penyebaran penyakit tersebut, salah satunya dengan menggunakan model matematika penyebaran.^{6,8}

Model-model matematika merupakan alat yang berguna untuk mempelajari dinamika penyebaran penyakit menular termasuk penyakit COVID-19 ini. Pemodelan dan simulasi matematika memungkinkan untuk penilaian cepat. Model matematika dan simulasi juga digunakan ketika biaya pengumpulan data sangat mahal atau data untuk percobaan yang terlalu besar.⁸

Salah satu model matematika penyebaran yang banyak digunakan pada wabah COVID-19 ini adalah model matematika penyebaran *SIR* dan *SEIR*. Model Model tersebut juga digunakan oleh peneliti dan pejabat kesehatan untuk menjelaskan peningkatan dan penurunan orang yang membutuhkan perawatan medis untuk penyakit tertentu selama epidemi. Dari model *SIR* dan *SEIR*, dapat diproduksi angka R_0 dan R_t yang berfungsi sebagai salah satu indikator dinamika pandemi COVID-19, dan evaluasi efektifitas kebijakan yang diterapkan.

Simpulan

Dinamika penyebaran penyakit COVID-19 menular dari manusia ke manusia melalui droplet

infeksius, dan karier virus asimtomatik paling beresiko untuk menularkan virus ke individu lain. Untuk memotong rantai penularan dan penyebaran tersebut dibutuhkan berbagai kebijakan yang harus diberlakukan oleh pemerintah di seluruh dunia, seperti pembatasan perjalanan (*travel restrictions*), karantina (*lockdown*) serta skrining, testing, dan penelusuran kontak secara masif. Penggunaan model matematika penyebaran penyakit menular adalah salah satu intervensi non farmasi yang banyak digunakan dalam kejadian wabah, termasuk wabah COVID-19. Model Matematika SIR dan SEIR membantu Pemerintah Negara di dunia dan Badan Kesehatan Dunia (WHO), dalam membuat regulasi pengendalian dan kebijakan pencegahan penularan COVID-19.

Daftar Pustaka

1. Global Change Data Lab. Statistics and research coronavirus pandemics (COVID-19). Our World in Data <https://ourworldindata.org/coronavirus> (2020).
2. Ndaïrou F, Area I, Nieto JJ. & Torres DFM. Mathematical modeling of COVID-19 transmission dynamics with a case study of Wuhan. *Chaos, Solitons & Fractals*. 2020;135, 109846
3. Weiss H. The SIR model and the Foundations of Public Health. *Publicació electrònica de divulgació del Departament de Matemàtiques de la Universitat Autònoma de Barcelona* 17 (2006).
4. Delamater PL, Street EJ, Leslie TF, Yang YT, & Jacobsen KH. Complexity of the basic reproduction number (R_0). *Emerging Infectious Diseases*. 2019;25: 1–4
5. Inglesby TV. Public health measures and the reproduction number of SARS-CoV-2. *JAMA*. 2020; 323, 2186
6. Sari I. & Tasman H. Model epidemik SIR untuk penyakit yang menular secara horizontal dan vertikal. *Prosiding Konferensi Nasional Matematika XVII di ITS*. 2014:11-4.
7. Side S, Rangkuti YM, Pane DG, & Sinaga MS. Stability analysis susceptible, exposed, infected, recovered (SEIR) model for spread model for spread of dengue fever in Medan. *J. Phys. Conf. Ser.* 954, 012018 (2018).
8. Udayangani S. Difference between SIR and SEIR model. [https://www.differencebetween.com/difference-between-sir-and-seir-](https://www.differencebetween.com/difference-between-sir-and-seir-model/#Compartment%20in%20SIR%20and%20SEIR%20Model)
9. Kucharski AJ, Russell TW, Diamond C, Liu Y, CMMID nCoV working group, Edmunds J, et al. Early dynamics of transmission and control of COVID-19: a mathematical modelling study. *The Lancet Infectious Diseases*. 2020;20:553–8.
10. Kim S, Seo YB. & Jung E. Prediction of COVID-19 transmission dynamics using a mathematical model considering behavior changes. *Epidemiology and Health*. 2020; e2020026. doi:10.4178/epih.e2020026.
11. Adi YA. & Ndi MZ. Modeling and prediction of COVID-19 with a large scale social distancing. *Jurnal Fourier*. 2020;10.
12. Giordano G, Blanchini F, Bruno R, Colaneri P, Di Filippo A, Di Matteo A, et al. Modelling the COVID-19 epidemic and implementation of population-wide interventions in Italy. *Nature Medicine*. 2020;26:855–60.
13. Tuite AR, Fisman DN, & Greer AL. Mathematical modelling of COVID-19 transmission and mitigation strategies in the population of Ontario, Canada. *Canadian Medical Association Journal*. 2020;192: E497–505.
14. Khan ZS, Van Bussel F. & Hussain F. A predictive model for Covid-19 spread applied to eight US States. *arXiv*: 2020;2006.05955
15. Maron DF. ‘Wet markets’ likely launched the coronavirus. Here’s what you need to know. <https://www.nationalgeographic.com/animals/2020/04/coronavirus-linked-to-chinese-wet-markets/> (2020).
16. Quilty BJ, Clifford S. CMMID nCoV working group2, Flasche, S. & Eggo, R. M. Effectiveness of airport screening at detecting travellers infected with novel coronavirus (2019-nCoV). *Eurosurveillance*. 2020;25.
17. Eryando T, Sipahutar T, & Rahardiantoro S. The risk distribution of COVID-19 in Indonesia: A spatial analysis. *Asia Pac J Public Health*. 2020;101053952096294. doi:10.1177/1010539520962940.
18. Setiati, S. COVID-19 and Indonesia. *Acta Med Indones - Indones J Intern Med*. 2020;52:84–9.
19. Ariawan I. & Jusril H. COVID-19 in Indonesia: Where Are we? *Acta Med Indones - Indones J Intern Med*. 2020;52(3):193-5.
20. Alfano V. & Ercolano S. The efficacy of lockdown against COVID-19: A cross-country panel analysis. *Applied Health*

Economics and Health Policy. 2020;18:509–17.

21. Schuchat A. & CDC COVID-19 Response Team. Public health response to the initiation and spread of pandemic COVID-19 in the United States. *MMWR Morb. Mortal. Wkly. Rep.* 2020;69:551–6.
22. Johnson T. Mathematical modeling of diseases: Susceptible-Infected-Recovered (SIR) model. University of Minnesota 13. 2009.