

SKRIPSI

**ANALISIS BILANGAN REPRODUKSI DASAR DAN PUNCAK
PENULARAN COVID-19 PADA SUATU MODEL
PENYEBARAN PENYAKIT YANG MEMPERHITUNGGAN
TINGKAT KONTAK**



JEVAN TEMMY

NPM: 6162001015

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI DAN SAINS
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
2024**

FINAL PROJECT

**ANALYSIS OF THE BASIC REPRODUCTION NUMBER AND
PEAK INFECTION OF COVID-19 IN A DISEASE-SPREAD
MODEL INCORPORATING INTER-INDIVIDUAL CONTACT
RATES**



JEVAN TEMMY

NPM: 6162001015

**DEPARTMENT OF MATHEMATICS
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY AND SCIENCES
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
2024**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS BILANGAN REPRODUKSI DASAR DAN PUNCAK PENULARAN COVID-19 PADA SUATU MODEL PENYEBARAN PENYAKIT YANG MEMPERHITUNGGKAN TINGKAT KONTAK

Jevan Temmy

NPM: 6162001015

Telah lulus ujian skripsi pada 16 Januari 2024 dengan penguji:
Maria Anestasia, M.Si., M.Act.Sc. dan Jonathan Hoseana, Ph.D.

Bandung, 29 Januari 2024

Menyetujui,

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Farah Kristiani, Ph.D.

Robyn Irawan, M.Sc.

Mengetahui,

Ketua Program Studi

Jonathan Hoseana, Ph.D.

PERNYATAAN

Dengan ini saya yang bertandatangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

ANALISIS BILANGAN REPRODUKSI DASAR DAN PUNCAK PENULARAN COVID-19 PADA SUATU MODEL PENYEBARAN PENYAKIT YANG MEMPERHITUNGGAN TINGKAT KONTAK

adalah benar-benar karya saya sendiri, dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan.

Atas pernyataan ini, saya siap menanggung segala risiko dan sanksi yang dijatuhkan kepada saya, apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non-formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini.

Dinyatakan di Bandung,
29 Januari 2024



Jevan Temmy
NPM: 6162001015

ABSTRAK

Penyakit COVID-19 merupakan penyakit akibat infeksi virus yang sangat menular dan telah menyebar ke berbagai negara di seluruh dunia, salah satunya Indonesia. Penyebaran penyakit COVID-19 sangat dipengaruhi oleh tingkat-tingkat kontak antar individu dalam suatu populasi. Salah satu upaya dalam bidang matematika yang dapat dilakukan untuk mencegah penularan COVID-19 adalah membangun model yang dapat menggambarkan dinamika penyebarannya. Salah satu model kompartemen penyebaran penyakit yang sederhana adalah model SIR Kermack–McKendrick. Dari model kompartemen yang dibangun dapat diperoleh bilangan reproduksi dasar, yang menjadi indikasi apakah suatu penyakit akan hilang atau tetap ada dalam suatu populasi. Pada skripsi ini akan dibahas mengenai model kompartemen penyebaran penyakit COVID-19 yang memperhitungkan tingkat-tingkat kontak. Data tingkat kontak yang digunakan berupa matriks yang terbagi ke dalam beberapa kelompok usia. Entri-entri pada matriks ini menyatakan rata-rata banyaknya kontak dari satu orang dalam suatu kelompok usia dengan orang dari suatu kelompok usia yang sama atau berbeda dalam waktu satu hari. Dari simulasi yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa tingkat kontak sangat berpengaruh pada penyebaran penyakit COVID-19. Selain itu, dapat disimpulkan juga bahwa data tingkat kontak dan koefisien transmisi penyakit mempengaruhi besarnya bilangan reproduksi dasar. Berdasarkan hasil ini, dapat diambil langkah strategis untuk mencegah penyebaran penyakit COVID-19, yaitu dengan memberikan perlakuan tertentu pada kelompok usia yang memiliki tingkat kontak paling tinggi.

Kata-kata kunci: COVID-19, model SIR, bilangan reproduksi dasar, tingkat kontak, kelompok usia.

ABSTRACT

The COVID-19 disease is a highly contagious viral infection that has spread to various countries worldwide, including Indonesia. The spread of COVID-19 is strongly influenced by the contact rate between individuals in a population. One mathematical effort to prevent the transmission of COVID-19 is to construct a model describing its spread dynamics. One relatively simple compartmental model for a disease spread is the Kermack–McKendrick SIR model. From such a model, one could obtain the basic reproduction number which indicate whether the disease will vanish or persist in the population. In this thesis we discuss a compartmental model for the spread of COVID-19 that takes into account contact rates. The employed contact rate data take the form of a matrix divided into several age groups. The entries of this matrix express the average number of contacts one person in an age group has with individuals from the same or different age group in one day. From the result of the simulations, we conclude that the contact rate significantly influences the spread of COVID-19. Additionally, we infer that the contact rate data and the disease transmission coefficient affect the value of the basic reproduction number. Based on these results, strategic measures can be taken to prevent the spread of COVID-19, such as implementing specific interventions for age group with the highest contact rates.

Keywords: COVID-19, SIR model, basic reproduction number, contact rate, age group.

Teruntuk Mami, Papi, dan Seisi Rumahku yang Terkasih.



KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas anugerah, rahmat, dan kasih-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi dengan judul "Analisis Bilangan Reproduksi Dasar dan Puncak Penularan COVID-19 pada Suatu Model Penyebaran Penyakit yang Mempehitungkan Tingkat Kontak". Skripsi ini disusun sebagai syarat untuk menyelesaikan studi Strata-I Program Studi Matematika, Fakultas Teknologi Informasi dan Sains, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung. Penulis berharap skripsi ini dapat berguna bagi mahasiswa maupun pembacanya. Selama masa studi, penulis telah banyak mendapatkan ilmu, pengalaman, dan kebahagiaan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Orang tua dan keluarga besar yang selalu memberi semangat kepada penulis dalam segala keadaan.
2. Ibu Farah Kristiani, Ph.D. dan Bapak Robyn Irawan, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing yang telah sabar dalam membimbing, memberikan ilmu, saran, serta semangat sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu.
3. Ibu Maria Anastasia, M.Si., M.Act.Sc. dan Bapak Jonathan Hoseana, Ph.D. selaku Dosen Penguji atas waktu dan saran yang telah diberikan untuk perbaikan skripsi ini.
4. Dr. Daniel Salim selaku Koordinator Skripsi yang telah banyak memberi arahan dan nasihat sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
5. Bapak Neilshan Loedy, S.Si., M.Sc. yang telah membantu menjelaskan materi pada skripsi ini.
6. Seluruh dosen FTIS yang telah memberikan berbagai ilmu kepada penulis.
7. Seluruh staf Tata Usaha FTIS atas segala bantuan administrasi selama masa perkuliahan penulis.
8. Teman-teman baik dari dalam maupun dari luar kampus yang tidak dapat disebutkan namanya satu per satu.
9. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis selama masa perkuliahan dan penulisan skripsi. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, maka penulis mengarapkan saran dan kritik yang membangun dari para pembaca.

Bandung, 29 Januari 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 <i>State of the Art</i>	3
1.5 Sistematika Pembahasan	3
2 LANDASAN TEORI	5
2.1 Penyakit COVID-19	5
2.2 Nilai Eigen	6
2.3 Rata-Rata Terbobot	7
2.4 Bilangan Reproduksi Dasar	7
2.5 Model Penyebaran Penyakit SIR	8
3 MODEL KOMPARTEMEN PENYEBARAN PENYAKIT COVID-19 DENGAN MEMPERHITUNGKAN TINGKAT KONTAK	10
3.1 Matriks Data Tingkat Kontak	10
3.2 Atribut-Atribut Matriks Data Tingkat Kontak	11
3.3 Faktor Timbal Balik pada Matriks Data Tingkat Kontak	13
3.4 Model Penyebaran Penyakit dengan Matriks Data Tingkat Kontak	14
3.5 Algoritma-Algoritma	15
4 SIMULASI NUMERIK DAN ANALISIS HASIL	17
4.1 Matriks Data Tingkat Kontak Negara Vietnam	17
4.2 Hasil Simulasi Bilangan Reproduksi Dasar Data Tingkat Kontak Negara Vietnam	19
4.3 Simulasi Besar Subpopulasi Terinfeksi pada Kondisi Indonesia dengan Menggunakan Data Tingkat Kontak Vietnam	20
4.4 Matriks Data Tingkat Kontak Negara Spanyol pada Masa Pandemi	23
4.5 Hasil Simulasi Bilangan Reproduksi Dasar Data Tingkat Kontak Negara Spanyol	24
4.6 Simulasi Besar Subpopulasi Terinfeksi pada Kondisi Indonesia dengan Menggunakan Data Tingkat Kontak Spanyol	25
4.7 Analisis Perbedaan Hasil Simulasi yang Dipengaruhi oleh Koefisien Transmisi Penyakit dan Data Tingkat Kontak Negara Vietnam dan Spanyol	28
5 KESIMPULAN DAN SARAN	30
5.1 Kesimpulan	30

5.2 Saran	31
DAFTAR REFERENSI	32



DAFTAR GAMBAR

2.1	Total kasus COVID-19 di Indonesia	5
2.2	Ilustrasi penyebaran suatu penyakit dengan $\mathfrak{R}_0 = 2$	8
2.3	Diagram kompartemen SIR Kermack–McKendrick	9
3.1	Tampilan laman <i>Social Contact Data</i> ¹	10
3.2	Atribut <i>age breaks</i>	11
3.3	Atribut <i>type of day</i>	12
3.4	Atribut <i>contact duration</i>	12
3.5	Atribut <i>contact intensity</i>	12
3.6	Atribut <i>gender</i>	13
4.1	Matriks rata-rata kontak per hari negara Vietnam tahun 2007	18
4.2	Matriks simetris negara Vietnam	18
4.3	Grafik BRD terhadap β menggunakan data tingkat kontak negara Vietnam tahun 2007	19
4.4	Grafik besar subpopulasi terinfeksi terhadap waktu untuk setiap kelompok usia berdasarkan data tingkat kontak negara Vietnam tahun 2007 untuk $\beta = 0,13$	21
4.5	Grafik besar subpopulasi terinfeksi terhadap waktu untuk setiap kelompok usia berdasarkan data tingkat kontak negara Vietnam tahun 2007 untuk $\beta = 0,14$	21
4.6	Grafik besar subpopulasi terinfeksi terhadap waktu untuk setiap kelompok usia berdasarkan data tingkat kontak negara Vietnam tahun 2007 untuk $\beta = 0,15$	22
4.7	Matriks rata-rata kontak per hari Negara Spanyol tahun 2020	24
4.8	Matriks simetris negara Spanyol	24
4.9	Simulasi BRD terhadap β yang dipengaruhi oleh data tingkat kontak negara Spanyol tahun 2020	25
4.10	Grafik besar subpopulasi terinfeksi terhadap waktu untuk setiap kelompok usia berdasarkan data tingkat kontak negara Spanyol tahun 2020 untuk $\beta = 0,192$	26
4.11	Grafik besar subpopulasi terinfeksi terhadap waktu untuk setiap kelompok usia berdasarkan data tingkat kontak negara Spanyol tahun 2020 untuk $\beta = 0,206$	26
4.12	Grafik besar subpopulasi terinfeksi terhadap waktu untuk setiap kelompok usia berdasarkan data tingkat kontak negara Spanyol tahun 2020 untuk $\beta = 0,221$	27
4.13	Perbedaan BRD berdasarkan data tingkat kontak negara Vietnam dan Spanyol.	28

DAFTAR TABEL

1.1	Tabel <i>state of the art</i>	3
4.1	Pembagian kelompok usia	18
4.2	Tabel banyaknya penduduk per kelompok usia	20
4.3	Tabel puncak penularan untuk setiap nilai β berdasarkan data tingkat kontak negara Vietnam	22
4.4	Tabel hasil penghitungan BRD dan β	26
4.5	Tabel puncak penularan untuk setiap nilai β berdasarkan data kontak negara Spanyol	27



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

COVID-19 merupakan penyakit menular yang menyerang saluran pernapasan pada manusia, yang disebabkan oleh infeksi virus Corona. Virus ini umumnya dapat menyebar karena adanya kontak langsung dengan penderita melalui air liur, sekresi pernapasan, atau partikel air kecil yang mungkin dihasilkan ketika seseorang batuk atau bersin (*droplet*). Virus COVID-19 awalnya ditemukan pada akhir tahun 2019 di Negara Tiongkok, dan penyakit COVID-19 merupakan infeksi virus yang sangat menular sehingga telah menyebabkan pandemi global [1]. Indonesia adalah salah satu negara yang terkena dampak dari virus COVID-19. Pada tanggal 2 Maret 2020, Presiden Republik Indonesia mengonfirmasi bahwa terdapat dua orang Indonesia pertama yang positif terjangkit COVID-19, dan sejak saat itu virus COVID-19 mulai menyebar di Indonesia. Menurut World Health Organization, sampai tanggal 29 Maret 2023, sudah tercatat sebanyak 6.744.873 penderita COVID-19 di Indonesia, di mana 161.013 orang di antaranya meninggal.¹

Karena penyebarannya yang cepat dan dapat menyebabkan kematian, maka virus ini ditetapkan sebagai pandemi. Untuk menekan angka penyebaran penderita COVID-19, pemerintah telah melakukan beberapa upaya, di antaranya adalah pembatasan sosial berskala besar dan pemberian vaksin gratis bagi masyarakat. Selain upaya pemerintah tersebut dibutuhkan juga kesadaran masyarakat akan virus ini. Intervensi berupa kampanye melalui media untuk meningkatkan kesadaran masyarakat, dan juga deteksi kasus secara dini, dapat secara efektif mengurangi angka penyebaran COVID-19 [2]. Dengan beberapa upaya tersebut, penyebaran COVID-19 dapat dikendalikan sehingga pandemi sudah berakhir. Meskipun demikian, masyarakat perlu berhati-hati agar tingkat penularan COVID-19 tetap rendah dan tidak terjadi pandemi kembali dengan cara memantau faktor-faktor yang menjadi penyebab penyebaran. Salah satu faktor tersebut adalah tingkat kontak antar individu.

Dalam bidang matematika, salah satu upaya yang bisa dilakukan untuk mencegah penyebaran COVID-19 adalah dengan membuat model matematis yang dapat memperhitungkan laju penyebaran dari penyakit COVID-19 tersebut. Salah satu model penyebaran penyakit yang sudah banyak dikenal dan sering digunakan adalah model SIR yang diperkenalkan oleh Kermack and McKendrick pada tahun 1927, yang menggunakan tiga kompartemen, yaitu *susceptible* atau rentan, *infectious* atau terinfeksi, dan *recovered* atau sembuh. Dari model tersebut dapat diperoleh suatu bilangan yang dapat mengindikasikan apakah infeksi akan berhenti dalam suatu populasi atau akan terjadi endemik dalam suatu populasi. Bilangan tersebut dikenal sebagai bilangan reproduksi dasar (BRD)

¹<https://covid19.who.int/region/searo/country/id>

[3].

BRD merupakan ekspektasi dari banyaknya kasus sekunder yang disebabkan oleh satu kasus primer selama masa infeksiya [4]. Sebelumnya telah ada penelitian yang menentukan BRD dengan menggunakan model penyebaran penyakit yang tidak memperhatikan tingkat kontak per usia [4]. Namun pada kenyataannya, kontak antar individu sangat berpengaruh pada penyebaran suatu penyakit menular dalam suatu populasi [5]. Selain itu terdapat penelitian yang membangun suatu model penyebaran penyakit yang memperhatikan struktur usia [6]. Setelah itu, pembentukan suatu model SIR telah dikembangkan dengan memperhitungkan data tingkat kontak yang berbentuk matriks dari Amerika [7].

Dengan menggunakan model dalam [7], pada skripsi ini model penyebaran penyakit tersebut akan diterapkan di Indonesia. Karena data kontak untuk Indonesia belum ada, maka akan digunakan data kontak dari negara lain yang memiliki karakteristik menyerupai Indonesia, yaitu Vietnam. Persamaan kedua negara ini terdapat pada kondisi alam dan penduduk yang padat di kota.² Model yang menggunakan data kontak tersebut akan diterapkan pada studi kasus penduduk Indonesia dengan menggunakan nilai-nilai parameter yang akan disesuaikan. Diharapkan melalui penerapan tersebut dapat diperoleh gambaran yang lebih nyata mengenai penyebaran penyakit COVID-19 di Indonesia yang dipengaruhi oleh tingkat kontak.

Selain itu, sebagai salah satu upaya tindakan pencegahan agar pandemi COVID-19 tidak terulang lagi di Indonesia, masyarakat perlu mengacu pada negara lain yang kondisinya lebih baik dibandingkan Indonesia. Negara yang akan dijadikan acuan tersebut adalah Spanyol, karena berdasarkan fakta diketahui bahwa negara tersebut merupakan negara paling sehat di dunia pada tahun 2019.³ Oleh sebab itu, pada skripsi ini akan digunakan juga data tingkat kontak yang berasal dari Spanyol. Dengan membangun model dari kedua data tingkat kontak tersebut, diharapkan pencegahan penyakit COVID-19 dapat menjadi lebih efisien.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut rumusan masalah-masalah dalam skripsi ini.

1. Bagaimana cara membentuk model matematis untuk penyebaran COVID-19 yang melibatkan data tingkat kontak untuk diterapkan di Indonesia?
2. Bagaimana memperoleh data tingkat kontak dari negara lain yang sesuai dengan kondisi Indonesia?
3. Bagaimana pengaruh data tingkat kontak dan parameter-parameter terhadap bilangan reproduksi dasar dan puncak penularan pada model penyebaran penyakit COVID-19 yang diterapkan pada negara Vietnam dan Spanyol?
4. Bagaimana pengaruh data tingkat kontak dari Spanyol yang diasumsikan memiliki kondisi lebih baik dari Indonesia jika diterapkan pada data penduduk Indonesia?

²<https://kumparan.com/zanuba-arifah-chofsoh/vietnam-vs-indonesia-dua-negara-di-asia-tenggara-yang-memiliki-kesamaan-1xtBUPvfAfu/full>

³<https://intisari.grid.id/read/031649699/inilah-daftar-10-negara-paling-sehat-di-dunia-negara-tetangga-indonesia-masuk-peringkat?page=all>

1.3 Tujuan

Tujuan penulisan dalam skripsi ini adalah

1. membentuk model matematis untuk penyebaran COVID-19 dengan melibatkan data tingkat kontak untuk diterapkan di Indonesia,
2. memilah data beserta atribut-atributnya dari sumber data sehingga diperoleh data yang paling sesuai dengan kondisi COVID-19 di Indonesia,
3. menganalisis pengaruh data tingkat kontak dan parameter-parameter terhadap bilangan reproduksi dasar dan puncak penularan pada model penyebaran penyakit COVID-19 yang diterapkan pada negara Vietnam dan Spanyol,
4. menganalisis pengaruh data tingkat kontak dari Negara Spanyol jika diterapkan pada data penduduk Indonesia.

1.4 *State of the Art*

Rangkuman dari penelitian-penelitian sebelumnya yang dijadikan rujukan pada skripsi ini, dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1: Tabel *state of the art*

No	Penulis	Perbedaan		
		Jenis Model	Data Studi Kasus	Faktor-faktor Data yang Diperhitungkan
1	Aldila, D., Ndi, M. Z., Anggriani, N., Tasman, H., Handari, B. D. (2023).[4]	<i>SAEIHR-VW Model</i>	Data penderita penyakit di Jakarta, Indonesia	- Banyaknya penderita suatu penyakit
2	Kristiani, F., Samat, N. A., bin Ab Ghani, S. (2017)[6]	<i>Age-structured SIR-SI Model</i>	Data penderita penyakit per usia di Bandung, Indonesia	- Banyaknya penderita suatu penyakit - Usia
3	Ram, V., Schaposnik, L. P. (2021)[7].	<i>Age-structured SIR Model</i>	Data tingkat kontak Washington, USA	- Banyaknya penderita suatu penyakit - Usia - Tingkat kontak
4	Temmy, J. (2024)	<i>Age-structured SIR Model</i>	Data tingkat kontak Negara Vietnam dan Spanyol yang diambil pada laman <i>social contact data</i>	- Banyaknya penderita suatu penyakit - Usia - Tingkat kontak

1.5 Sistematika Pembahasan

Skripsi ini terdiri dari lima bab berikut.

Bab 1 : Pendahuluan

Bab ini berisi penjelasan mengenai hal-hal yang akan dibahas pada skripsi ini. Dalam bab ini

terdapat empat subbab yang terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan, dan sistematika penulisan.

Bab 2 : Landasan Teori

Bab ini berisi penjelasan mengenai teori-teori yang akan digunakan pada skripsi ini, yaitu penyakit COVID-19, nilai eigen, rata-rata terbobot, bilangan reproduksi dasar, dan model penyebaran penyakit SIR.

Bab 3 : Model Kompartemen Penyebaran Penyakit COVID-19 dengan Memperhitungkan Tingkat Kontak

Bab ini berisi penjelasan mengenai model suatu penyebaran penyakit yang melibatkan matriks tingkat kontak. Kemudian, dibahas faktor timbal balik yang mempengaruhi matriks tingkat kontak tersebut.

Bab 4 : Simulasi Numerik dan Analisis Hasil

Bab ini berisi hasil simulasi numerik dan juga analisis dari model yang dijelaskan dalam Bab 3. Lebih lanjut, akan dibahas banyaknya individu terinfeksi pada masing-masing kelompok usia.

Bab 5 : Kesimpulan dan Saran

Dalam bab ini dijelaskan kesimpulan yang diperoleh dari pengerjaan skripsi. Selain itu, terdapat juga saran bagi penelitian selanjutnya.

