

**SKRIPSI GEOFISIKA**

**PEMODELAN RISIKO TERINFEKSI SEBARAN AEROSOL SARS-CoV-2  
DI DALAM BUS AKIBAT PENGARUH LINGKUNGAN**



**Disusun dan Diajukan Oleh:**

**NUR DARMAYANTHY**

**H061 17 1004**

**DEPARTEMEN GEOFISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR**

**2021**

**HALAMAN JUDUL**

**PEMODELAN RISIKO TERINFEKSI SEBARAN AEROSOL  
SARS-CoV-2 DI DALAM BUS AKIBAT PENGARUH  
LINGKUNGAN**

**SKRIPSI**

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains*

*Pada Departemen Geofisika*

*Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam*

*Universitas Hasanuddin*

**OLEH:**

**NUR DARMAYANTHY**

**H061171004**

**DEPARTEMEN GEOFISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR**

**2021**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**PEMODELAN RISIKO TERINFEKSI SEBARAN AEROSOL SARS-CoV-2  
DI DALAM BUS AKIBAT PENGARUH LINGKUNGAN**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**NUR DARMAYANTHY**

**H061171004**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

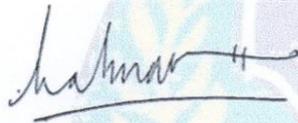
Pada tanggal 09 Agustus 2021

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

**Pembimbing Utama**

**Pembimbing Pertama**



**Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc**

**NIP. 196303151987101001**

**Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng**

**NIP. 196709291993031003**

**Ketua Program Studi,**



**Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng**

**NIP. 196709291993031003**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nur Darmayanthy

NIM : H061171004

Program Studi : Geofisika

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

**“PEMODELAN RISIKO TERINFEKSI SEBARAN AEROSOL  
SARS-CoV-2 DI DALAM BUS AKIBAT PENGARUH LINGKUNGAN”**

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain. Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 09 Agustus 2021

Yang menyatakan



**NUR DARMAANTHY**

## SARI BACAAN

Penyakit menular Covid-19 yang disebabkan oleh *syndrome coronavirus 2* (SARS-CoV-2) yang salah satu jalur penularannya melalui udara (aerosol) di dalam ruang tertutup tidak dapat diabaikan. Pengaruh lingkungan seperti kondisi meteorologi, ventilasi, masker, *physical distancing*, prevalensi dan durasi dapat mempengaruhi risiko terinfeksi virus SARS-CoV-2 melalui aerosol di dalam ruangan seperti bus. Persamaan *Wells-Riley* merupakan persamaan yang dapat digunakan untuk memodelkan risiko terinfeksi di dalam ruangan. Tujuan dari penelitian ini ialah memodelkan risiko terinfeksi SARS-CoV-2 akibat pengaruh lingkungan, serta mengidentifikasi prediktor signifikan menggunakan Analisis *Multiple Regression* (MR) metode *stepwise* dan verifikasi model. Berdasarkan pemodelan yang telah dilakukan didapatkan bahwa peningkatan Suhu, RH, Indeks UV, Jarak, Ventilasi, Efisiensi Masker dapat menurunkan risiko terinfeksi virus, sedangkan peningkatan Durasi dan Prevalensi dapat meningkatkan risiko terinfeksi virus. Menggunakan metode *stepwise* didapatkan bahwa prediktor yang paling signifikan terhadap risiko terinfeksi virus SARS-CoV-2 melalui aerosol adalah Indeks UV dan *Exhalation Mask*.

**Kata Kunci:** SARS-CoV-2, Meteorologi, Ventilasi, Masker, *Wells-Riley*, *Multiple Regression*.

## ABSTRACT

The infectious disease Covid-19 caused by the *coronavirus syndrome 2* (SARS-CoV-2), which is one of the transmission routes through the air (aerosol) in an enclosed space, cannot be ignored. Environmental influences such as meteorological conditions, ventilation, masks, physical distancing, prevalence and duration can affect the risk of being infected with the SARS-CoV-2 virus through aerosols indoors such as buses. The Wells-Riley equation is an equation that can be used to model the risk of infection in a room. The purpose of this study is to model the risk of infection with SARS-CoV-2 as a result of environmental influences, as well as to identify significant predictors using Analysis Multiple Regression (MR) method stepwise and verification of the model. Based on the modeling that has been done, it is found that increasing the temperature, RH, UV index, distance, ventilation, and mask efficiency can reduce the risk of being infected with the virus, while increasing the duration and prevalence can increase the risk of being infected with the virus. Using the method, it was stepwise found that the most significant predictors of the risk of being infected with the SARS-CoV-2 virus through aerosols were UV Index and Exhalation Mask.

**Keywords:** SARS-CoV-2, Meteorology, Ventilation, Mask, Wells-Riley, Multiple Regression.

## KATA PENGANTAR



*Assalamu'alaykum Wa Rahmatullaahi Wa Barakaatuuuh.*

*Alhamdulillahirabbil'alamiin.* Puji syukur penulis panjatkan kepada الله *Subhanahu Wa Ta'ala.* Tuhan semesta alam yang dengan segala Rahman dan Rahim-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi dengan judul **“Pemodelan Risiko Terinfeksi Sebaran Aerosol Virus SARS-CoV-2 Di Dalam Bus Akibat Pengaruh Lingkungan”**. Shalawat dan Salam senantiasa tercurahkan kepada Baginda Nabi Muhammad ﷺ. Nabi akhir zaman yang sudah menjadi teladan Umat, dalam berakhlak, berusaha dan berdoa. Dalam penulisan skripsi ini tentu tidak lepas dari hambatan dan kesulitan, namun berkat Ridho Sang Maha Kuasa, penulis mampu menyelesaikan skripsi ini. Pada kesempatan izinkan penulis untuk mengucapkan terima kasih kepada Orang Tua tercinta **Zainuddin, S.Sos** dan **Hj. Hasnah, S.Pd** yang selalu memberikan dukungan, doa, dan kasih sayang tulus tiada hentinya untuk penulis.

Dalam kesempatan ini pula penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang kepada berbagai pihak atas bantuan, nasihat, didikan dan bimbingan yang diberikan kepada penulis selama ini. Untuk itu dengan senang hati penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. H. Halmar Halide, M.sc** selaku Pembimbing Utama dan Penasehat Akademik. Terimakasih atas segala waktu, ilmu, nasehat dan

segala hal yang diluangkan untuk penulis hingga hingga akhirnya penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.

2. Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng** selaku Pembimbing Pertama. Terima kasih atas bimbingan dan saran-saran yang telah diberikan kepada penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan penelitian ini.
3. Bapak **Drs. Hasanuddin, M.Si** dan Bapak **Dr. Sakka, M.Si** selaku tim penguji. Terimakasih atas kritik dan saran yang akhirnya membantu lahirnya segala tulisan yang ada dalam skripsi ini.
4. Seluruh Dosen Departemen Geofisika, Staf Departemen Geofisika, Staf FMIPA UNHAS, Staf Laboratorium, serta Staf Perpustakaan FMIPA UNHAS dan Staf Perpustakaan Umum atas semua ilmu yang telah diajarkan, serta bantuan dan arahan yang bermanfaat bagi penulis.
5. Guru-guru SMA Negeri 1 Parangloe, SMP Negeri 1 Parangloe dan SD Negeri Parang yang telah memberikan ilmu kepada penulis sehingga mampu menyelesaikan skripsi ini.
6. Kakak-kakak Geofisika FMIPA UNHAS terkhusus **Kak Muh. Syafrizal, S.Si, Mufli Fadla, Maghfirah Sulva Salsabila, S.Si dan Hasrina Rauf, S.Si** yang telah banyak membantu dan memberikan saran kepada penulis sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
7. Kepada **Saudara dan Sepupu-Sepupu** Penulis yang selalu menghibur sehingga bisa mengurangi beban Penulis dalam pengerjaan skripsi ini.

8. Teman satu PA, Kerja Praktik dan Tugas Akhir **Gebrina Rezki. S** dan **Muh. Reza Zaputra** yang telah berjuang bersama penulis sejak Maba sampai saat ini. Terima kasih atas waktu, saran, motivasi dan bantuannya selama ini.
9. Teman-teman seangkatan **Geofisika 2017 Titien, Illa, Aya, Daya, Unia, Riri, Khusnul, Ale, Faisal, Mirna, Karmila, Hikmah, Ghufa, Nina, Adhe, Nia, Eki, Desha, Wide, Yusrin, Melsi, Miftah, Ainun, Syakirah, Esi, Aul, Sindy, Ajeng, Indra, Ano, Aldo, Adi, Uca, Faqih, Fajar, Albar, Tsaqif, Dandung, Dicky, Farid, Jepri, Angga, Zahari dan Khalis** terimakasih atas perjuangan dan kerja samanya selama ini, kalian memang yang terbaik.
10. Teman-teman **Himafi 2017** terima kasih atas dukungan, motivasi dan sarannya selama ini.
11. Kepada **3T1S, Kakak-Kakak Daeng Scout**, dan **teman-teman SMA** yang telah memberikan dukungan yang berlebih dan beban yang cukup kepada penulis sehingga penulis mampu menahan segala rintangan yang dilalui dalam pengerjaan skripsi ini.

Semoga skripsi ini bermanfaat bagi pembaca maupun penulis. Penulis telah mengerahkan segala kemampuan dalam proses penyusunan skripsi ini hingga selesai.

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>SARI BACAAN .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
I.1 Latar Belakang .....	1
I.2 Ruang Lingkup .....	3
I.3 Rumusan Masalah .....	4
I.4 Tujuan Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
II.1 Transmisi Aerosol SARS-CoV-2 .....	8
II.2 Faktor-Faktor Lingkungan .....	8
II.2.1 Faktor Meteorologi .....	8
II.2.2 Ventilasi .....	12
II.2.3 Masker .....	17
II.2.4 <i>Physical Distancing</i> .....	21
II.2.5 Prevalensi .....	23

II.3 Persamaan <i>Wells-Riley</i> .....	24
II.4 <i>Multiple Regression</i> .....	26
II.4.1 <i>Stepwise Regression</i> .....	29
II.5 Verifikasi Prediksi .....	29
II.2.4 Korelasi <i>Pearson</i> .....	30
II.2.5 <i>Root Mean Square Error (RMSE)</i> .....	31
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>32</b>
III.1 Alat dan Bahan Penelitian .....	32
III.2.1 Alat Penelitian.....	32
III.2.2 Bahan Penelitian.....	32
III.2 Prosedur Penelitian .....	32
III.2.1 Tahap Persiapan dan Pengumpulan Data.....	32
III.2.2 Tahap Pengolahan Data.....	33
III.3 Bagan Alir Penelitian.....	34
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>35</b>
IV.1 Hasil.....	35
IV.1.1 Grafik Pengaruh Faktor-Faktor Lingkungan terhadap Risiko Terinfeksi Aerosol SARS-CoV-2.....	35
IV.1.2 Prediktor Signifikan terhadap Prediksi Kemungkinan Infeksi Aerosol SARS-CoV-2 di dalam Bus.....	40
IV.1.2.1 Prediktor Signifikan terhadap Prediksi Risiko terinfeksi Aerosol SARS-CoV-2 di dalam bus untuk 100 Eksperimen....	40
IV.1.2.2 Prediktor Signifikan terhadap Prediksi Risiko terinfeksi Aerosol SARS-CoV-2 di dalam bus untuk 500 Eksperimen....	42
IV.1.2.3 Prediktor Signifikan terhadap Prediksi Risiko terinfeksi Aerosol SARS-CoV-2 di dalam bus untuk 1000 Eksperimen..	43

IV.1.3 Model Prediktor Signifikan terhadap Prediksi Risiko Terinfeksi Infeksi Aerosol SARS-CoV-2 di dalam Bus.....	45
IV.1.3.1 Model <i>Multiple Regression</i> Risiko Terinfeksi Aerosol SARS-CoV-2 di dalam Bus .....	45
IV.1.3.2 Diagram Tebar Data Risiko Terinfeksi Aerosol SARS-CoV-2 di dalam Bus .....	46
IV.2 Pembahasan .....	49
IV.2.1 Pengaruh Faktor-Faktor Lingkungan terhadap Risiko Terinfeksi Aerosol SARS-CoV-2 di dalam Bus .....	49
IV.2.2 Verifikasi Model.....	51
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>53</b>
V.1 Kesimpulan .....	53
V.2 Saran .....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Plot sebaran kasus terkonfirmasi dan Indeks UV .....	12
<b>Gambar 2.2</b> Skema <i>mixing ventilation</i> dan <i>displacement ventilation</i> .....	13
<b>Gambar 2.3</b> Ilustrasi tentang bagaimana orang yang terinfeksi (wanita yang berbicara di sebelah kanan) menyebabkan paparan aerosol (lonjakan merah) di zona pernapasan orang lain (pria di sebelah kiri) .....	14
<b>Gambar 2.4</b> Masker Bedah .....	18
<b>Gambar 2.5</b> N95 Respirator .....	19
<b>Gambar 2.6</b> Masker Kain .....	19
<b>Gambar 2.7</b> <i>Face Shield</i> .....	20
<b>Gambar 4.1</b> Pengaruh Faktor-Faktor Lingkungan terhadap Risiko Terinfeksi Aerosol SARS-CoV-2 di dalam bus sedang (a) suhu, (b) <i>relative humidity</i> (RH), (c) Indeks UV, (d) jarak, (e) ventilasi, (f) prevalensi, (g) <i>exhalation mask</i> dan (h) <i>inhalation mask</i> .....	38
<b>Gambar 4.2</b> Model <i>Multiple Regression</i> Risiko Terinfeksi Aerosol SARS-CoV-2 untuk 100 Ekperimen .....	45
<b>Gambar 4.3</b> Model <i>Multiple Regression</i> Risiko Terinfeksi Aerosol SARS-CoV-2 untuk 500 Ekperimen .....	45
<b>Gambar 4.4</b> Model <i>Multiple Regression</i> Risiko Terinfeksi Aerosol SARS-CoV-2 untuk 1000 Ekperimen .....	46
<b>Gambar 4.5</b> Diagram Tebar Data dan Data Prediksi untuk 100 Ekperimen .....	47
<b>Gambar 4.6</b> Diagram Tebar Data dan Data Prediksi untuk 500 Ekperimen .....	47
<b>Gambar 4.7</b> Diagram Tebar Data dan Data Prediksi untuk 1000 Ekperimen .....	48

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Effisiensi masker bedah dan masker kain dari berbagai literatur.....	21
<b>Tabel 2.2</b> SARS-CoV-2 <i>quanta emission rate</i> untuk kegiatan yang berbeda-beda .....	26
<b>Tabel 2.3</b> <i>Volumetric breathing rate</i> .....	26
<b>Tabel 2.4</b> Interpretasi dari Nilai R positif (hubungan searah) .....	30
<b>Tabel 2.5</b> Interpretasi dari Nilai R negatif (hubungan berlawanan) .....	30
<b>Tabel 3.1</b> Data Simulasi Acak untuk Menghitung Risiko Terinfeksi Aerosol SARS- CoV-2.....	32
<b>Tabel 4.1</b> Nilai Koefisien dan Signifikan Prediktor terhadap Risiko Terinfeksi Aerosol SARS-CoV-2 untuk 100 Ekperimen .....	40
<b>Tabel 4.2</b> Nilai Koefisien dan Signifikan Prediktor terhadap Risiko Terinfeksi Aerosol SARS-CoV-2 untuk 500 Ekperimen .....	40
<b>Tabel 4.3</b> Nilai Koefisien dan Signifikan Prediktor terhadap Risiko Terinfeksi Aerosol SARS-CoV-2 untuk 1000 Ekperimen .....	40

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

Menurut Ye Shen dkk (2020) penyakit menular Covid-19 yang disebabkan oleh *syndrome coronavirus 2* (SARS-CoV-2) pertama kali dilaporkan pada akhir tahun 2019 di kota Wuhan, Provinsi Hubei Cina. *World Health Organization* (WHO) menyatakan bahwa wabah penyakit virus corona (Covid-19) sebagai keadaan darurat yang menjadi perhatian Internasional pada tanggal 30 Januari 2020. Epidemio yang terjadi sedang berlangsung sejak itu telah mempengaruhi lebih dari 150 negara dan angka kasus yang telah terkonfirmasi terus meningkat.

Menurut Dobricic dkk. (2020) virus Covid-19 memiliki kemiripan dengan virus korona lain dan virus influenza. Semua virus dapat menghasilkan gejala serupa yang sering menyerang sistem pernapasan. Mereka terutama ditularkan dari orang ke orang melalui air liur di udara atau di permukaan. Kesamaan dalam penularan virus memungkinkan beberapa tingkat perbandingan dan studi tentang kondisi meteorologi yang mempengaruhi virus influenza atau beberapa virus korona lainnya dapat juga digunakan sebagai proxy untuk memperkirakan pengaruh kondisi meteorologi pada epidemi Covid-19.

Menurut Dai dan Zhao (2020) pandemi virus Corona 2019 (Covid-19) menunjukkan bahwa resiko terinfeksi dalam ruang tertutup tidak dapat diabaikan. Meskipun penularan Covid-19 pada umumnya terjadi melalui *droplet* selama kontak jarak dekat atau melalui permukaan yang terkontaminasi, akan tetapi penelitian yang dilakukan oleh Doremalen dkk. menunjukkan bahwa *syndrome*

*coronavirus 2* (SARS-CoV-2) tetap bertahan dalam aerosol selama beberapa jam. Semakin banyak kasus epidemiologis membuktikan kemungkinan penularan penyakit *coronavirus 2019* (Covid-19) melalui udara. Studi pengambilan sampel lapangan menunjukkan bahwa SARS-CoV-2 tersebar luas di udara dan jarak transmisi di udara mungkin mencapai 4 meter. Ada banyak penelitian yang menunjukkan bahwa ventilasi yang tidak memadai meningkatkan penularan penyakit. Oleh karena itu, memastikan keamanan ventilasi untuk kantor, ruang kelas, dan transportasi umum sangat penting untuk mengurangi risiko di ruangan tertutup. Menurut Shen dkk. (2020) penelitian yang dilakukan di Provinsi Zhejiang, China Timur menunjukkan bahwa penularan melalui udara berkontribusi terhadap wabah Covid-19. Kesimpulan kasus wabah Covid-19 di Zhejiang menunjukkan bahwa penumpang yang naik bus ke acara ibadah bersama dengan pasien yang terinfeksi Covid-19 memiliki risiko lebih tinggi daripada penumpang yang naik bus lain ke acara yang sama. Penyebaran SARS-CoV-2 di udara tampaknya menambah risiko terinfeksi di dalam bus. Upaya pencegahan kedepannya harus mempertimbangkan potensi penyebaran virus melalui udara.

Menurut Lelieveld (2020) Zhang dan rekannya berpendapat bahwa penularan melalui udara sangat mematikan dan merupakan jalur yang dominan dalam penyebaran Covid-19. Mereka menemukan bahwa memakai masker telah menjadi aspek penting dalam hasil tren analisis Covid-19 di tiga area utama yang terkena pandemi (Wuhan, Italia dan New York). Tindakan lain, seperti physical distancing tampaknya tidak cukup, menunjukkan peran penting aerosol karena masih dapat menyebar dalam jarak yang relatif jauh.

Menurut Loomans dkk. (2020) untuk jalur penularan Covid-19 di lingkungan dalam ruangan, transmisi udara adalah sesuatu yang dapat dipengaruhi oleh sistem penanganan udara yang ada di dalam ruangan. Ada satu model yang sering digunakan untuk memperkirakan risiko infeksi untuk lingkungan dalam ruangan, yaitu Persamaan *Wells-Riley*. Memodelkan risiko terinfeksi menggunakan persamaan *Wells-Riley* dapat menganalisis dan meminimalkan risiko melalui transmisi udara.

Oleh karena itu dilakukan penelitian terkait pemodelan persentase risiko terinfeksi virus SARS-CoV-2 melalui aerosol di dalam bus menggunakan persamaan *Wells-Riley* dengan memperhatikan pengaruh faktor-faktor lingkungan berupa penggunaan masker, penerapan physical distancing, kondisi ventilasi ruang, kondisi meteorologi dan prevalensi untuk mengetahui faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap penularan aerosol SARS-CoV-2 di dalam bus.

## **I.2 Ruang Lingkup**

Penelitian ini dibatasi oleh pengaruh antara faktor-faktor lingkungan berupa suhu, RH, indeks UV, jarak, ventilasi, durasi, *exhalation mask*, *inhalation mask* dan prevalensi dengan persentase risiko terinfeksi virus SARS-CoV-2 melalui aerosol di dalam bus yang berukuran sedang serta memodelkan faktor-faktor lingkungan yang paling berpengaruh terhadap kemungkinan infeksi menggunakan analisis *Multiple Regression* metode *Stepwise Regression Linier*.

### **I.3 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana pemodelan pengaruh lingkungan terhadap risiko terinfeksi virus SARS-CoV-2?
2. Bagaimana mengidentifikasi prediktor signifikan terhadap risiko terinfeksi virus SARS-CoV-2 di dalam bus?
3. Bagaimana hasil verifikasi model terhadap pengaruh lingkungan yang signifikan terhadap prediksi risiko terinfeksi virus SARS-CoV-2 di dalam bus?

### **I.4 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Model pengaruh lingkungan terhadap risiko terinfeksi virus SARS-CoV-2 di dalam bus.
2. Mengidentifikasi prediktor signifikan terhadap risiko terinfeksi virus SARS-CoV-2 di dalam bus.
3. Verifikasi model pengaruh lingkungan yang signifikan terhadap risiko terinfeksi virus SARS-CoV-2 di dalam bus.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **II.1 Tranmisi Aerosol SARS-CoV-2**

Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2) adalah  $\beta$ -coronavirus baru yang berasal dari hewan dan bertanggungjawab atas penyakit pernapasan pada manusia seperti halnya Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus (MERS-CoV) dan Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus (SARS - CoV). Kasus pertama muncul di Wuhan, Provinsi Hubei, China pada akhir Tahun 2019, kemudian menyebar dengan cepat ke seluruh dunia sehingga WHO menyatakan penyakit ini bernama Covid-19 pada 11 Februari 2020. Sama halnya dengan SARS-CoV dan MERS-CoV, jalur utama penularan SARS-CoV-2 adalah melalui kontak dengan orang yang terinfeksi (kontak langsung) atau dengan permukaan yang terkontaminasi (kontak tidak langsung/transmisi fomit) dan penularan pernapasan melalui tetesan (*droplet*), di dalam jarak 1 m dari orang yang terinfeksi (Carducci dkk., 2020).

Virus berada di udara jika penularannya terjadi melalui *droplet* kecil yaitu di bawah 10  $\mu\text{m}$  dengan diameter (1  $\mu\text{m}$  = 1 mikro meter =  $10^{-6}$  meter) karena secara umum telah diakui bahwa *droplet* ini dapat terhirup dan mampu menembus di bawah glotis dan di bagian bawah saluran pernapasan bila lebih kecil dari 5  $\mu\text{m}$ . Rute penularan semacam ini juga disebut “transmisi aerosol” untuk menggambarkan virus dan umumnya patogen yang menyebabkan penyakit melalui *droplet nuclei* (aerosol) yang tetap menular saat melayang di udara dalam jarak dan waktu yang jauh. Untuk ukuran *droplet* yang lebih besar dari 20  $\mu\text{m}$ , virus tidak terbawa udara karena t

*droplet* dengan cepat jatuh dari udara, terutama karena pengaruh gravitasi. *Droplet* yang berdiameter antara 10-20  $\mu\text{m}$  dapat memiliki sifat *droplet* kecil dan besar (Dobricic dkk., 2020).

World Health Organization (WHO) mendefinisikan “*droplet*” merupakan partikel cair yang lebih dari 5  $\mu\text{m}$ , dan “aerosol” adalah partikel yang lebih kecil. Penularan SARS-CoV-2 melalui aerosol (*airborne*) telah dianggap masuk akal oleh WHO hanya dalam kasus perawatan kesehatan sebagai akibat dari prosedur medis, ventilasi, atau pemberian obat melalui nebulizer. Meskipun demikian, penularan melalui udara juga dihipotesiskan dalam keadaan lain, baik di rumah sakit maupun di lingkungan komunitas. Faktanya, aktivitas ekspirasi manusia (batuk, bersin, berbicara dan bernyanyi, tetapi juga hanya bernapas) melepaskan partikel dalam berbagai ukuran, dari 1 hingga 2000  $\mu\text{m}$  dengan ukuran mayoritas antara 2 hingga 100  $\mu\text{m}$  (Carducci dkk., 2020).

Dispersi *droplet* telah banyak dipelajari, sehingga gambar dispersi aerosol mulut telah ditangkap terlebih dahulu melalui foto dengan cahaya insiden dan kemudian dengan sistem pemrosesan grafik perekaman baru yang canggih, dan banyak percobaan telah dilakukan dalam mempelajari dinamika partikel di udara. *Droplet* dengan ukuran terbesar hingga 5  $\mu\text{m}$  dapat jatuh disebelah sumber dalam jarak 1-2 m sebagai akibat gaya gravitasi. Di sisi lain, *droplet* yang lebih kecil (aerosol) dapat tetap tersuspensi dan menyebar pada jarak yang lebih jauh. *Droplet* yang tersuspensi dapat menyusut dan berubah menjadi “*droplet nuclei/aerosol*” (Carducci dkk., 2020).

Pemahaman akan fisika embusan udara dan fisika aliran udara telah menghasilkan hipotesis-hipotesis tentang kemungkinan mekanisme transmisi SARS-CoV-2 melalui aerosol. Hipotesis-hipotesis ini mengindikasikan bahwa 1) sejumlah droplet saluran napas menghasilkan aerosol ( $<5 \mu\text{m}$ ) melalui penguapan dan 2) proses normal bernapas dan berbicara menghasilkan aerosol yang diembuskan. Karena itu, orang yang rentan dapat menghirup aerosol dan dapat menjadi terinfeksi jika aerosol tersebut mengandung virus dalam jumlah yang cukup untuk menyebabkan infeksi pada orang yang menghirupnya. Namun, proporsi droplet nuclei yang diembuskan atau proporsi droplet saluran napas yang menguap dan menghasilkan aerosol, serta dosis SARS-CoV-2 hidup yang diperlukan untuk menyebabkan infeksi pada orang lain tidak diketahui, sedangkan untuk kasus virus-virus saluran pernapasan lain proporsi dan dosis ini telah diteliti (WHO, 2020).

Suatu penelitian eksperimen mengukur jumlah droplet berbagai ukuran yang tetap melayang di udara (*airborne*) selama kegiatan berbicara biasa. Namun, para penulisnya mengakui bahwa pengukuran ini merupakan hipotesis aksi independen (*independent action hypothesis*), yang belum divalidasi untuk manusia dan SARS-CoV-2. Sebuah model eksperimen lain menemukan bahwa orang yang sehat dapat menghasilkan aerosol dengan cara batuk dan berbicara, dan sebuah model lain mengindikasikan angka emisi partikel oleh setiap orang saat berbicara dapat sangat berbeda-beda, di mana terdapat korelasi antara tingkat emisi yang semakin tinggi dengan semakin tingginya amplitudo dalam menghasilkan suara. Sampai sekarang, transmisi SARS-CoV-2 melalui rute aerosol jenis ini belum didemonstrasikan dan

perlu lebih diteliti karena kemungkinan implikasi-implikasi dari rute transmisi ini (WHO, 2020).

Di luar fasilitas medis, beberapa laporan kejadian luar biasa (KLB) terkait tempat dalam ruangan yang padat mengindikasikan kemungkinan transmisi aerosol, yang disertai transmisi droplet, misalnya pada saat latihan paduan suara, di restoran, atau kelas kebugaran. Dalam kejadian-kejadian ini, kemungkinan terjadinya transmisi aerosol dalam jarak dekat, terutama di lokasi-lokasi dalam ruangan tertentu seperti ruang yang padat dan tidak berventilasi cukup di mana orang yang terinfeksi berada dalam waktu yang lama, tidak dapat dikesampingkan. Namun, penelitian yang lebih terperinci terhadap klaster-klaster ini mengindikasikan bahwa transmisi droplet dan fomit juga dapat menjadi penyebab transmisi orang ke orang di dalam klaster-klaster tersebut. Lebih lanjut lagi, lingkungan kontak erat dalam klaster-klaster ini dapat memfasilitasi transmisi dari sejumlah kecil kasus kepada orang lain (kejadian penyebaran super), terutama jika kebersihan tangan tidak dijaga, masker tidak digunakan, dan penjagaan jarak fisik tidak dilakukan (WHO, 2020).

## **II.2 Faktor-Faktor Lingkungan**

### **II.2.1. Faktor Meteorologi**

Secara umum, faktor lingkungan dapat memengaruhi penularan penyakit pernapasan melalui pengaruh infektivitas patogen dan penyebaran *droplet* pernapasan. Hipotesis untuk penularan Covid-19 yang tinggi bahkan di musim panas adalah bahwa SARS-CoV-2 lebih persisten pada suhu tinggi dibandingkan dengan influenza dan SARS. Sejumlah penelitian telah menyelidiki ketahanan SARS-CoV-2 yang diinkubasi dan dierosolkan terhadap panas dan kelembaban.

Sejumlah penelitian telah menyelidiki ketahanan SARS-CoV-2 di lingkungan yang berbeda, virus umumnya dapat tetap menular dari beberapa menit hingga lebih dari sehari di berbagai lingkungan, jauh lebih lama daripada waktu perjalanan *droplet* pernapasan untuk mencapai orang lain melalui ucapan atau bersin. Oleh karena itu, memahami bagaimana kondisi lingkungan mempengaruhi penyebaran *droplet* pernapasan menjadi semakin penting (Zhao dkk., 2020).

Selain jalur penularan, faktor lingkungan mungkin berperan dalam modulasi intensitas penyebaran, masa hidup partikel virus di udara, risiko infeksi dan dampak atau hasil bagi individu yang terinfeksi (Dobricic dkk., 2020). Sejumlah penelitian telah meneliti berapa lama virus corona tetap menular di aerosol dalam lingkungan berbeda. Studi terbaru menunjukkan bahwa SARS-CoV-2 relatif stabil di aerosol dalam kondisi yang mirip dengan yang diharapkan untuk lingkungan dalam ruangan yang dikendalikan iklim (Dabisc dkk., 2020).

Dampak kondisi meteorologi pada penyebaran virus yang mempengaruhi sistem pernapasan manusia sistem pernapasan manusia telah diamati di masa lalu. *Cohort study* telah menunjukkan bahwa influenza dan virus corona menunjukkan variabilitas musiman yang kuat dengan penurunan yang nyata di musim panas. Kondisi meteorologi dapat secara langsung memengaruhi epidemi baik dengan mengubah respons pribadi atau dengan mempengaruhi siklus hidup virus di lingkungan. Studi laboratorium sebelumnya dan pengamatan in-situ telah memberikan beberapa bukti bahwa perubahan kondisi atmosfer dapat memengaruhi siklus hidup dan penularan berbagai virus yang memengaruhi sistem pernapasan di lingkungan dalam dan luar

ruangan dan ini sebagian dapat menjelaskan korelasi antara Covid-19 dan kondisi cuaca (Dobricic dkk., 2020).

Evaluasi kondisi in-situ menunjukkan peran penting dalam kondisi tertentu, kontak dengan permukaan yang terkontaminasi penularan influenza dan coronavirus dan diperkirakan dapat bertahan lama di permukaan. Umur virus korona di permukaan dapat sangat bervariasi tergantung pada kondisi lingkungan. Eksperimen laboratorium menunjukkan bahwa simulasi radiasi matahari dengan cepat mengurangi konsentrasi virus Covid-19 aktif di permukaan dan prosesnya sangat cepat dengan radiasi matahari yang kuat khas untuk daerah tropis dan subtropis dan garis lintang tengah di musim panas. Eksperimen lainnya menunjukkan bahwa virus Covid-19 bertahan lebih lama di permukaan dalam ruangan dan suhu yang lebih rendah dalam kelembaban yang lebih rendah. Pada saat nilai suhu sama, waktu paruh (*half-life time*) dua kali lebih lama pada kelembaban relatif 20% daripada 60% dan pada kelembaban relatif yang sama, waktu paruh dua kali lebih lama pada 24°C dibandingkan 32°C (Dobricic dkk., 2020).

Jalur transportasi virus pernapasan melalui *droplet* dan aerosol yang berasal dari orang yang terinfeksi di dekat orang yang tidak terinfeksi mungkin merupakan mekanisme penularan yang paling penting. Eksperimen laboratorium menunjukkan bahwa radiasi matahari dapat secara signifikan mengurangi stabilitas virus Covid-19 dalam *droplet* dan aerosol dengan menggandakan *decay rate* dengan menggandakan sinar matahari yang disimulasikan. Hasil awal eksperimen laboratorium yang dilakukan oleh U.S. Department for Homeland Security

menunjukkan bahwa virus Covid-19 bertahan lebih lama di atmosfer pada suhu dan kelembaban yang lebih rendah (Dobricic dkk., 2020).

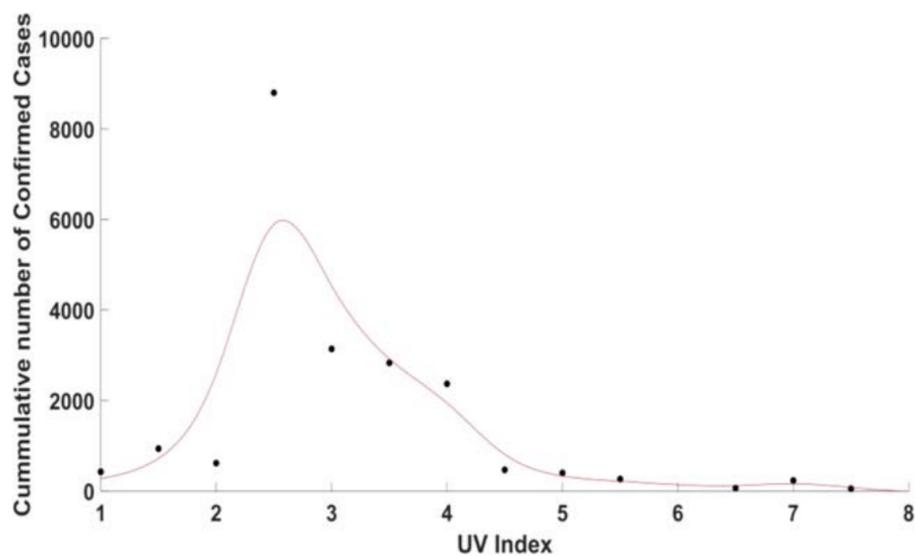
Sejumlah penelitian telah meneliti berapa lama virus korona dapat tetap menular di aerosol dalam kondisi lingkungan yang berbeda. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa SARS-CoV-2 relatif stabil di aerosol dalam kondisi yang mirip dengan lingkungan dalam ruangan yang dikendalikan iklim, dengan tingkat peluruhan (*decay rate*) dilaporkan kurang dari 3% per menit atau lebih dari 75 menit untuk 90%, hilangnya virus menular. Dengan menggunakan metode Analisis Regresi Stepwise, sebuah penelitian menunjukkan bahwa kelembaban, suhu, dan sinar matahari merupakan faktor yang signifikan mempengaruhi  $k_{infectivity}$  (konstanta peluruhan) (Dabisch P. dkk., 2020).

$$\begin{aligned}
 k_{infectivity} = & 7.569 + 1.411 \left( \frac{(T - 20.54)}{10.66} \right) \\
 & + 0.022 \left( \frac{(RH - 45.235)}{28.665} \right) + 7.553 \left( \frac{(S - 50)}{50} \right) \\
 & + 1.397 \left( \frac{(T - 20.54)}{10.66} \right) \left( \frac{(S - 50)}{50} \right) \quad (2.1)
 \end{aligned}$$

Dimana  $k_{infectivity}$  = konstanta peluruhan untuk infektivitas virus ( $m^{-1}$ ), T = suhu ( $^{\circ}C$ ), RH = kelembaban relatif (%) dan S = radiasi UVB ( $W/m^2$ ) (Dabisch P. dkk., 2020).

Sejak tahun 1800, radiasi UV telah banyak digunakan untuk membunuh kuman. Radiasi UV yang dipancarkan oleh matahari, tidak sepenuhnya sampai ke permukaan bumi karena terhalang oleh lapisan ozon di stratosfer. Radiasi UV-A dan UV-B dapat mencapai permukaan bumi bergantung beberapa faktor seperti

musim, garis lintang, dan kondisi cuaca. Sedangkan radiasi UV-C tidak dapat sampai ke permukaan bumi akibat atmosfer. Setelah dianalisis mengenai efek radiasi UV ini, didapatkan bahwa virus yang ditemukan dalam dahak pasien Covid-19 dapat sepenuhnya dinonaktifkan oleh radiasi UV-A dan UV-B (Biasin dkk., 2021). Indeks UV (indeks yang menunjukkan kekuatan radiasi UV) memiliki hubungan kuat dengan jumlah yang dikonfirmasi. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1, terbukti bahwa jumlah kasus tertinggi untuk kasus indeks UV 2.5 dan secara bertahap menurun di indeks UV 3.5. Untuk area dimana indeks UV lebih tinggi dari 5, jumlah kasus terinfeksi yang dikonfirmasi semakin menurun. Telah didokumentasikan bahwa suhu yang lebih tinggi atau paparan radiasi UVC yang lama menurunkan infektivitas virus (Gunthe dkk., 2020).



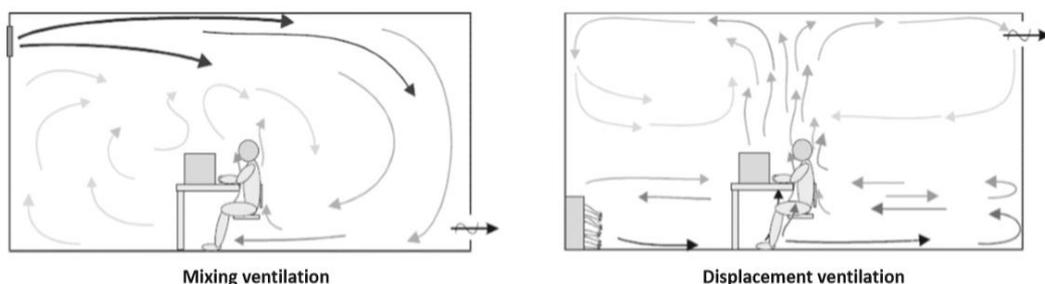
**Gambar 2.1** Plot sebaran kasus terkonfirmasi dan indeks UV (Gunthe dkk., 2020)

## II.2.2. Ventilasi

Pada tingkat ruangan, berbagai sistem resirkulasi digunakan untuk membawa udara ke dalam ruangan dan mengatur kondisi udara. Ventilasi adalah salah satu

komponen terpenting dalam strategi untuk mengurangi risiko penularan udara. Semakin banyak ventilasi dengan udara udara luar yang segar, semakin baik. Selain itu, banyaknya *fan-coil unit* pada kipas akan memberikan komponen udara segar (ventilasi). Pada dasarnya, dianjurkan menjaga sistem ini tetap berjalan. Jika sistem tidak berkontribusi pada ventilasi, mengurangi risiko penularan udara akan menjadi sulit (Lommans dkk., 2020).

Ada dua prinsip utama efisiensi ventilasi untuk solusi ventilasi ruangan yaitu *mixing ventilation* dan *displacement ventilation*. Pada Gambar 2.2 Keduanya divisualisasikan secara skematis. Pada dasarnya, *displacement ventilation* adalah bentuk ventilasi yang lebih efisien. Artinya dengan jumlah yang sama pencemar udara dihilangkan dengan lebih efisien, sehingga konsentrasinya di dalam ruangan lebih rendah (Lommans dkk., 2020).

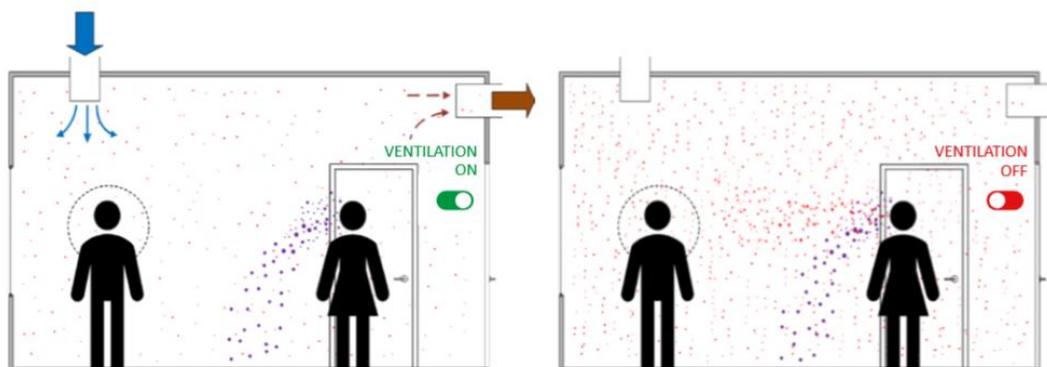


**Gambar 2.2** Skema *mixing ventilation* dan *displacement ventilation* (Lommans dkk., 2020).

Studi terbaru menunjukkan bahwa transmisi aerosol yang dikombinasikan dengan kondisi ventilasi yang buruk dapat menyebabkan penularan SARS-CoV-2. Mengingat data yang tersedia hingga saat ini, para ilmuwan secara tegas memperingatkan bahaya yang ditimbulkan oleh transmisi aerosol dengan SARS-CoV-2. Tindakan yang mungkin dilakukan untuk menahan transmisi aerosol di

dalam ruangan adalah tindakan ventilasi yang menghasilkan nilai tukar udara luar ruangan yang tinggi, sirkulasi udara yang rendah dan pembuangan udara agar dapat bernapas dengan cepat. Untuk mengukur efektivitas langkah-langkah ini dengan lebih tepat, efek ventilasi pada kontaminasi udara dalam ruangan dengan virus harus diselidiki secara lebih rinci (Miller dkk., 2020).

Efek ventilasi udara luar ruangan pada konsentrasi virus di udara diilustrasikan pada Gambar 2.3 *Mixing ventilation* mengurangi konsentrasi yang sangat tinggi di dekat sumber ke tingkat konstan di dalam ruangan dari jarak sekitar 1,5 m dari sumber. Pengurangan konsentrasi virus dengan ventilasi yang efektif memungkinkan untuk mengontrol paparan, yaitu dosis yang terkait erat dengan kemungkinan infeksi dan tergantung pada kecepatan pernapasan, konsentrasi dan waktu (Kurnitsky J., 2020).



**Gambar 2.3** Ilustrasi tentang bagaimana orang yang terinfeksi (wanita yang berbicara di sebelah kanan) menyebabkan paparan aerosol (lonjakan merah) di zona pernapasan orang lain (pria di sebelah kiri) (Kurnitsky J., 2020).

Pada prinsipnya ada dua cara utama untuk mengurangi dosis dan risiko infeksi yaitu meningkatkan ventilasi dan mengurangi waktu hunian. Dalam sistem ventilasi yang ada, biasanya tidak mungkin meningkatkan kipas secara signifikan, sehingga sistem dapat memberikan kinerja yang sesuai dengan ukurannya (Kurnitsky J., 2020). Jika

emisi dan penyebaran virus di udara dianggap penting, ada beberapa rancangan dan ukuran operasional yang dapat dilakukan untuk mengurangi risiko infeksi yang ditularkan melalui udara di ruang tertutup bangunan yaitu (Mazzarrela L., 2020):

1. Tingkat ventilasi harus ditingkatkan sesuai dengan kenyamanan dan masalah energi.
2. Udara dalam ruangan dan udara yang diekstraksi tidak boleh disirkulasi ulang.
3. Individu harus menghindari langsung aliran udara dari orang lain
4. Jumlah orang yang berbagi dalam ruangan yang sama harus diminimalkan
5. Orang yang bekerja, belajar dll. di ruang bersama harus memakai masker dengan benar.

Penelitian dapat menunjukkan peran relatif yang dimainkan oleh berbagai jalur penularan penyakit dan mengevaluasi efektivitas tindakan pengendalian. Untuk mencapai hal ini, insinyur dan ilmuwan kesehatan bekerja sama untuk mengumpulkan faktor (yaitu ventilasi, pola aliran udara, filtrasi, kepadatan penghuni dan jarak) untuk menentukan hubungan mereka dengan lokasi dan waktu kasus. Jika investigasi wabah, pelacakan kontak dan evaluasi pengujian luas dapat mencakup pengumpulan informasi lingkungan, temuan akan membantu mendukung pemilihan tindakan respons HVAC (Bailey dkk., 2020).

*Heating, ventilation, and air conditioner* (HVAC) digunakan untuk memberikan kondisi lingkungan yang nyaman (suhu dan kelembapan) dan udara bersih di dalam ruangan seperti gedung dan kendaraan. Sistem HVAC dapat dibentuk dalam berbagai cara, tergantung pada aplikasi dan fungsinya pada gedung/kendaraan.

Sistem ventilasi menyediakan udara bersih dengan menukar udara dalam ruangan dan luar ruangan (ECDC, 2020).

Ventilasi yang buruk di dalam ruangan tertutup dikaitkan dengan peningkatan transmisi infeksi pernapasan. Ada banyak penularan Covid-19 yang terkait dengan ruangan tertutup. Peran ventilasi dalam mencegah penularan Covid-19 tidak didefinisikan dengan baik (yaitu dengan mencegah penyebaran partikel infeksius untuk meminimalkan risiko penularan, atau mencegah transfer dosis infeksius ke individu yang rentan). Covid-19 utamanya ditularkan melalui *droplet*, namun semakin banyak laporan kasus yang melibatkan peran aerosol dalam wabah Covid-19. Beberapa laporan telah menunjukkan bahwa penularan Covid-19 bisa sangat efektif di ruang tertutup yang padat seperti tempat kerja (kantor, pabrik) dan selama kegiatan yang ada di dalam ruangan seperti tempat ibadah, restoran, resor ski, pesta, pusat perbelanjaan, asrama pekerja, kelas dansa, kapal pesiar dan kendaraan (ECDC, 2020).

Salah satu penelitian menunjukkan peran ventilasi di dalam bus yang sedang dalam perjalanan menuju ke kuil, kasus ini terjadi di Tiongkok. Salah satu penumpang bus sebelumnya telah mengunjungi Wuhan telah menunjukkan gejala sebelum kejadian. Tingkat serangan wabah tertinggi di antara mereka terjadi pada bus yang berbagi perjalanan dengan pasien (23 dari 67 penumpang; 34%). Penumpang yang duduk lebih dekat dengan pasien secara statistik memiliki risiko lebih tinggi daripada mereka yang duduk lebih jauh. Namun, semua penumpang yang duduk di dekat jendela tetap sehat, kecuali penumpang yang duduk di sebelah pasien. Ini mendukung hipotesis bahwa aliran udara di sepanjang bus memfasilitasi

penyebaran virus. Sebaliknya, ada tujuh kasus Covid-19 di antara 172 orang lainnya yang menghadiri kuil memiliki kontak dengan pasien (Ye Shen dkk., 2020).

Berdasarkan penyelidikan numerik dan lapangan pada lingkungan bus, ada kebutuhan untuk mempelajari lebih lanjut strategi ventilasi dan metode distribusi udara alternatif untuk meningkatkan efisiensi ventilasi di lingkungan ini. Ditemukannya peningkatan kadar CO<sub>2</sub> menunjukkan bahwa ventilasi bus tidak cukup untuk mengurangi polutan udara di dalam bus terutama dalam kondisi padat penduduk. Kurangnya ventilasi ini menunjukkan peningkatan risiko penyakit menular melalui udara. Selain itu, karena jarak yang sangat dekat dengan orang-orang di lingkungan bus, metode penyaringan udara tambahan dan disinfeksi udara seperti penyinaran UV ruang atas mungkin perlu dieksplorasi sebagai cara untuk meminimalkan risiko penyakit infeksi yang ditularkan melalui udara (Zhu dkk., 2020).

### **II.2.3. Masker**

Penularan penyakit pernapasan menular melalui udara melibatkan emisi aerosol dan droplet yang mengandung mikroorganisme selama kegiatan ekspirasi (misalnya bernapas, berbicara, batuk, dan bersin). Masih ada ketidakpastian mengenai peran dan skala spasial dari mode penularan ini (kontak, droplet, atau penghirupan aerosol). Akibatnya, pemakaian masker telah digunakan untuk mengurangi penularan penyakit, terutama di tempat perawatan kesehatan. Banyak penelitian yang telah menunjukkan bahwa masker dapat memberikan perlindungan yang signifikan bagi pemakainya, meskipun penggunaan masker yang tepat sangat penting untuk mewujudkan manfaat tersebut. Oleh karena itu, penting untuk

memahami manfaat masker dari jenis berbeda dalam mengurangi transmisi aerosol dan tetesan keluar dari aktivitas ekspirasi (Asadi dkk. 2020).

Masker dapat dibagi menjadi dua kelompok utama: masker medis dan respirator N95 (dirancang selama pandemi terutama untuk personel medis berisiko tinggi). Kekurangan masker medis secara global adalah masalah yang nyata dan terus berkembang. Sebagai gantinya, terjadi peningkatan ketersediaan masker kain di pasar, yang berhasil digunakan oleh ahli bedah selama operasi sebelum masker sekali pakai tersedia (Szarpak dkk., 2020).



**Gambar 2.4** Masker Bedah (Tcharkhtchi dkk., 2020).

Masker bedah awalnya dirancang untuk melindungi pemakainya dari *droplet* di lingkungan klinis, tetapi tidak banyak membantu melindungi dari penyebaran penyakit pernapasan. Meskipun bukan merupakan metode perlindungan mutlak, masker bedah memiliki perisai yang dapat melindungi pemakai dari kegiatan yang dapat menularkan tetesan menular seperti bersin, dan dapat menangkap bakteri dari mulut dan hidung pemakainya dalam bentuk droplet dan aerosol. Masker bedah biasanya memiliki struktur tiga lapis. Lapisan tengah adalah media filter, sedangkan lapisan dalam untuk menyerap kelembaban dan lapisan luar untuk menahan air (Tcharkhtchi dkk., 2020).





**Gambar 2.6** Masker Kain (Tcharkhtchi dkk., 2020).

*Face shield* merupakan salah satu pilihan untuk melindungi wajah dari *droplet* yang mengandung patogen. Meskipun lebih besar daripada *goggle* atau kaca mata pengaman, *face shield* memberikan keuntungan melindungi seluruh wajah dari kontaminasi. Beberapa penelitian telah memeriksa *face shield* setelah digunakan selama operasi atau prosedur medis yang menghasilkan aerosol lainnya sebagai cara untuk menunjukkan bahwa ada risiko paparan dan bahwa *face shield* memberikan perlindungan. Studi ini menunjukkan bahwa *face shield* mengurangi inhalasi aerosol hanya sebesar 23% dimana aerosol telah menyebar ke seluruh ruangan serta meningkatkan jarak antara pasien dan pekerja hingga 183 cm (172 inci) mengurangi paparan influenza yang terjadi segera setelah batuk sebesar 92% (Lindsley dkk., 2014).



**Gambar 2.7** *Face Shield* (Tcharkhtchi dkk., 2020).

Infeksi virus membutuhkan dosis dan viabilitas virus yang cukup serta status kekebalan individu orang terpajan. Untuk perlindungan pribadi baik untuk meminimalkan dosis paparan secara efektif terutama saat memasuki atau tinggal di lingkungan tertutup dengan pasien di dalam atau tempat tinggal mereka sebelumnya dimana aerosol SARS-CoV-2 dapat menumpuk seiring waktu. Namun, masker yang berbeda memiliki efisiensi perlindungan berbeda dan kemampuan bernapas yang berbeda (Yao dkk., 2020).

**Tabel 2.1** Efisiensi masker bedah dan masker kain dari berbagai literatur (Riediker M. dan Monn C., 2020)

Tipe Masker	<i>Exhalation retention</i>	<i>Inhalation retention</i>	Kondisi Pengujian
Masker Bedah	Tidak dinilai	65% - 90%	Kepala manikin, beberapa tingkat pernapasan
Masker Bedah	Tidak dinilai	60% - 85%	Kepala manikin
Masker Bedah	70% - 74%	Tidak dinilai	Virus berasal dari pasien influenza
Masker dengan lapisan dan jenis kain berbeda	20% - 32%	20% - 32%	Efisiensi filtrasi

Masker dengan jenis kain berbeda	10% - 60%	10% - 60%	Efisiensi filtrasi
Masker buatan sendiri ( <i>homemade</i> )	78%	50% - 60%	Pernapasan manusia dengan uji mikroba
Masker Bedah	85%	60% - 89%	Kepala manikin
Masker Bedah	Tidak dinilai	85% - 86%	Kepala manikin Manusia
Masker Bedah	Tidak dinilai	15% - 80%	terkena aerosol KCl

#### II.2.4. *Physical Distancing*

Jarak sosial juga disebut “*Physical Distancing*” yang berarti menjaga jarak antara siapa pun dan orang lain di luar rumah. Jarak sosial menghindari kontak langsung antar manusia dan juga mengurangi potensi penularan melalui *droplet* pembawa virus dari pernapasan manusia. Banyak negara seperti Australia, Italia, Inggris dan Amerika telah menerapkan pembatasan pada kegiatan sosial. Para peneliti juga menyarankan peningkatan jarak sosial untuk meringankan penyebaran Covid-19 (Sun dan Zhai, 2020).

Kebijakan *physical distancing* minimal 1 m pada saat ini mungkin terkait dengan pengurangan infeksi yang besar dan bahwa *physical distancing* 2 m mungkin lebih efektif, seperti yang diterapkan di beberapa negara. Manfaat utama dari tindakan menjaga *physical distancing* adalah untuk mencegah penularan selanjutnya dan dengan demikian mengurangi hasil buruk dari infeksi SARS-CoV-2. Oleh karena itu, kebijakan *physical distancing* minimal 1 m layak diterapkan dan jika memungkinkan untuk 2 m atau lebih (Chu dkk., 2020).

Sebuah studi baru-baru ini menunjukkan bahwa virus SARS-CoV-2 tetap hidup dan menular dalam aerosol selama berjam-jam. Meskipun temuan ini berasal dari

eksperimen laboratorium, namun cukup untuk mendukung penularan SARS-CoV-2 melalui udara karena keberadaannya yang terus-menerus menjadi tetesan aerosol dalam bentuk yang aktif dan menular. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa partikel kecil dengan kandungan virus dapat menyebar di dalam ruangan menempuh jarak hingga 10 meter dari sumber emisi, sehingga mengaktifkan transmisi aerosol. Adapun studi lain yang menunjukkan bahwa tetesan kecil yang dikeluarkan saat bersin dapat mencapai jarak 7-8 meter. Informasi yang tersedia tentang penyebaran SARS-CoV-2 mendukung hipotesis difusi udara dari tetesan yang terinfeksi dari orang ke orang pada jarak lebih dua meter (6 feet). *Physical distancing* 2 m dapat dikatakan sebagai perlindungan yang efektif hanya jika setiap orang menggunakan masker dalam aktivitas sehari-hari (Setti dkk., 2020).

### **II.2.5 Prevalensi**

Prevalensi mewakili kasus penyakit yang ada dan dapat dilihat sebagai ukuran status penyakit. Prevalensi seringkali berguna karena mencerminkan beban suatu penyakit pada populasi tertentu. Ini tidak terbatas pada beban dalam hal biaya moneter tetapi mencerminkan beban dalam hal harapan hidup, morbiditas, kualitas hidup atau indikator lainnya. Persamaan di bawah ini adalah proporsi orang dalam suatu populasi yang menderita suatu penyakit (Noordzij dkk., 2020).

$$\begin{aligned} & \textit{Prevalensi} \\ & = \frac{\textit{jumlah subjek yang mengidap penyakit pada suatu waktu}}{\textit{jumlah total subjek dalam populasi}} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Di Indonesia, pada 13 April 2020, Presiden mengumumkan bahwa pandemi Covid-19 merupakan bencana nasional non alam dan perlu segera ditanggapi. Kasus

terkonfirmasi dan dugaan telah dilaporkan dari seluruh wilayah di Indonesia, mulai dari hari pertama kali teridentifikasi kasus Covid-19 hingga saat ini. Situasi Covid-19 diperbarui setiap hari oleh otoritas Indonesia. Hingga saat ini, terdapat tren kasus Covid-19 yang berfluktuasi di Indonesia namun sebagian besar kasus Covid-19 menunjukkan tren peningkatan. Tren Kasus Covid-19 ini berakibat pada peningkatan jumlah kematian (Karyono dan Wicaksana, 2020).

Kasus Covid-19 yang terkonfirmasi pada 3 Juni 2020 dilaporkan sebagai 28.233 kasus positif. Jumlah penduduk di Indonesia adalah 255.182.144 jiwa sehingga prevalensi Covid-19 di Indonesia saat ini adalah 0,11%. Kasus Covid-19 tersebar di seluruh 34 provinsi di Indonesia. Data di Kementerian Kesehatan Indonesia diperbarui setiap hari dan ditampilkan melalui situs resmi. Di antara informasi dalam dataset, terdapat 93.7% (n = 26.454) dan 98.1% (n = 27.696) data masing-masing menurut usia dan jenis kelamin. Hanya 6% (n = 1.694) dan 2.3% (n = 649) dari data yang tersedia disajikan dalam database Covid-19 masing-masing berdasarkan gejala dan komorbiditas (Karyono dan Wicaksana, 2020).

### **II.3 Persamaan Well-Riley**

Dalam hal jalur penularan, diasumsikan tiga jalur utama dalam penularan patogen yang dapat menyebabkan infeksi saluran pernapasan seperti Covid-19: jalur langsung melalui *droplet*, jalur tidak langsung melalui permukaan kontak dan jalur udara melalui aerosol. Rute transmisi langsung dan kontak penting untuk dikenali dalam penularan Covid-19. Tetapi untuk lingkungan dalam ruangan, rute transmisi udara adalah sesuatu yang dapat dipengaruhi oleh sistem penanganan udara yang ada di gedung. Ventilasi dan aliran udara di dalam ruangan dapat mencegah patogen

menginfeksi seseorang atau membatasi risikonya. Oleh karena itu, dibutuhkan model untuk memperkirakan risiko infeksi. Ada satu model yang telah digunakan terutama untuk memperkirakan risiko infeksi selama beberapa dekade, yaitu Persamaan *Wells-Riley* (Loomans dkk., 2020).

Risiko infeksi dapat dihitung untuk berbagai aktivitas dan ruangan menggunakan standar model *Wells-Riley*, yang dikalibrasi ke Covid-19 dengan kekuatan sumber yang benar yaitu tingkat emisi kuantum. Dalam model ini, viral load yang dipancarkan dinyatakan dalam tingkat emisi kuantum ( $E$ , *quanta/h*). Kuantum didefinisikan sebagai dosis inti *airborne droplet* yang diperlukan untuk menyebabkan infeksi pada 63% orang yang rentan. Dengan model *Wells-Riley*, probabilitas infeksi ( $p$ ) berhubungan dengan jumlah kuantum yang dihirup ( $n$ ) menurut persamaan (Kurnitski J., 2020):

$$p = 1 - e^{-n} \quad (2.3)$$

Kuantum yang dihirup ( $n$ , *quanta*) tergantung pada konsentrasi *quanta* rata-rata ( $C_{avg}$ , *quanta/m<sup>3</sup>*), *volumetric breathing rate* penduduk ( $Q_b$ , *m<sup>3</sup>/jam*) dan durasi ( $D$ , *h*) (Kurnitski J., 2020):

$$n = C_{avg} Q_b D \quad (2.4)$$

Dengan asumsi konsentrasi kuantum adalah 0 pada awal kegiatan, konsentrasi rata-rata ditentukan sebagai berikut (Kurnitski J., 2020):

$$C(t) = \frac{E}{\lambda V} (1 - e^{-\lambda t}) \quad (2.6)$$

$$C_{avg} = \frac{1}{D} \int_0^D C(t) dt = \frac{E}{\lambda V} \left[ 1 - \frac{1}{\lambda D} (1 - e^{-\lambda D}) \right] \quad (2.7)$$

Dimana:

$t$  = time (h)

$E$  = *quanta emission rate* (*quanta/h*)

$V$  = volume ruangan ( $m^3$ )

$\lambda$  = *first-order loss rate coefficient* untuk *quanta/h* karena efek ventilasi yang dijumlahkan ( $\lambda_v$ , 1/h), *deposition onto surfaces* ( $\lambda_{dep}$ , 1/h), dan *virus decay* ( $k_{infectivity}$ , 1/h)

$C$  = konsentrasi *quanta* menular di udara yang bergantung pada waktu

*Quanta emission rate* bervariasi dalam rentang besar 3-300 *quanta/h* dan sangat bergantung pada aktivitas sehingga nilai yang lebih tinggi berlaku untuk berbicara keras, berteriak dan bernyanyi. Sedangkan *volumetric breathing rate* bergantung pada aktivitas yang sedang dilakukan seperti yang ditunjukkan pada atabel di bawah ini (Kurnitski J., 2020).

**Tabel 2.2** SARS-CoV-2 *quanta emission rate* untuk kegiatan yang berbeda-beda (Kurnitski J., 2020).

Aktivitas	<i>Quanta emission rate, quanta/h</i>
Istirahat, <i>oral breathing</i>	3.1
Aktivitas berat, <i>oral breathing</i>	21
Aktivitas ringan, berbicara	42
Aktivitas ringan, bernyanyi	270

**Tabel 2.3** *Volumetric breathing rate* (Kurnitski J., 2020).

Aktivitas	Breathing rate, $m^3/h$
Istirahat, <i>oral breathing</i>	0.54
Aktivitas berat, <i>oral breathing</i>	1.1
Aktivitas ringan, berbicara	1.38
Aktivitas ringan, bernyanyi	3.3

Sebuah studi memperkenalkan dua indeks baru ke dalam model *Wells-Riley* untuk memprediksi kemungkinan infeksi terkait virus di udara yang mendasari untuk menjaga *physical distancing* dan ventilasi udara yang memadai. Indeks jarak  $P_d$  dapat diperoleh dengan analisis teoritis tentang distribusi dan transmisi tetesan dari aktivitas pernapasan manusia. Adapun indeks *physical distancing*  $P_d$  dinyatakan sebagai fungsi jarak seperti pada persamaan dibawah ini, dimana  $d$  adalah jarak dalam satuan meter (Sun dan Zhai, 2020).

$$P_d = (-18.19 \ln(d) + 43.276)/100 \quad (2.8)$$

#### **II.4 Multiple Regression**

Persamaan regresi merupakan persamaan matematis yang dapat digunakan untuk memprediksi suatu variabel terikat (*dependent* atau prediktan) yang berasal dari satu atau lebih variabel bebas (*independent* atau prediktor). Persamaan regresi juga mendeskripsikan hubungan antar variabel yang ada dikandungnya. Nilai variabel terikat dinyatakan dalam Y dan nilai variabel bebas dinyatakan dalam X. Regresi dikatakan linier, jika hubungan antara variabel bebas dan variabel terikatnya adalah linier. Regresi dikatakan non linier, apabila hubungan antara variabel bebas dan variabel terikatnya nonlinier (Kutner *et al.*, 2004).

Regresi linier adalah metode statistik yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara variabel terikat dengan satu atau lebih variabel bebas. Ketika hanya ada satu variabel bebas, maka regresi linier disebut sebagai regresi linier sederhana. Sedangkan jika jumlah variabel bebas lebih dari satu, maka regresi linier disebut sebagai regresi linier berganda atau *Multiple Regression* (MR). *Multiple Regression*

adalah salah satu yang paling banyak digunakan dari semua metode statistik. *Multiple Regression* juga sangat berguna dalam situasi eksperimental dimana pelaku eksperimen dapat mengontrol variabel prediktor. Seorang pelaku eksperimen biasanya ingin menyelidiki sejumlah variabel prediktor secara bersamaan karena hampir selalu lebih dari satu variabel prediktor utama memengaruhi respon (Kutner *et al.*, 2004).

Berikut merupakan persamaan *Multiple Regression* (MR) (Kutner *et al.*, 2004):

$$Y_i = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \quad (2.9)$$

Persamaan (2.9) merupakan persamaan *Multiple Regression* (MR) dimana terdapat dua variabel prediktor  $X_1$  dan  $X_2$ .  $Y$  menunjukkan variabel terikat,  $X_1$  dan  $X_2$  adalah nilai variabel prediktor,  $a$  merupakan konstanta, serta  $b_1$  dan  $b_2$  merupakan parameter. Sedangkan  $n$  menunjukkan banyaknya variabel bebas  $X$  yang berpengaruh terhadap variabel terikat  $Y$ . Nilai  $a$ ,  $b_1$  dan  $b_2$  ditentukan dengan menggunakan metode kuadrat terkecil (*Least Square*) yang dirumuskan sebagai berikut (Kutner *et al.*, 2004).

$$\bar{X}_1 = \frac{\sum X_1}{n} \quad (2.10)$$

$$\bar{X}_2 = \frac{\sum X_2}{n} \quad (2.11)$$

$$\sum X_1^2 = \sum X_1^2 \frac{(\sum X_1)^2}{n} \quad (2.12)$$

$$\sum X_2^2 = \sum X_2^2 \frac{(\sum X_2)^2}{n} \quad (2.13)$$

$$\sum y^2 = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \quad (2.14)$$

$$\sum x_1y = \sum X_1Y \frac{\sum X_1 \sum Y}{n} \quad (2.15)$$

$$\sum x_2y = \sum X_2Y \frac{\sum X_2 \sum Y}{n} \quad (2.16)$$

$$\sum x_1x_2 = \sum X_1X_2 \frac{\sum X_1 \sum X_2}{n} \quad (2.17)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} \quad (2.18)$$

$$b_1 = \frac{(\sum X_2^2)(\sum X_1Y) - (\sum X_1X_2)(\sum X_2Y)}{(\sum X_1^2)(\sum X_2^2) - (\sum X_1X_2)^2} \quad (2.19)$$

$$b_2 = \frac{(\sum X_1^2)(\sum X_2Y) - (\sum X_1X_2)(\sum X_1Y)}{(\sum X_1^2)(\sum X_2^2) - (\sum X_1X_2)^2} \quad (2.20)$$

$$a = \bar{Y} - b_1\bar{X}_1 - b_2\bar{X}_2 \quad (2.21)$$

#### II.4.1 Stepwise Regression

*Stepwise Regression* merupakan salah satu metode untuk mendapatkan model terbaik dari sebuah analisis regresi. Menurut definisi, *Stepwise Regression* adalah kombinasi antara *forward selection* (seleksi maju) dan *backward elimination* (eliminasi mundur), variabel yang harus dimasukkan terlebih dahulu adalah variabel yang memiliki korelasi tertinggi dan signifikan dengan variabel terikat, variabel yang kedua adalah variabel yang korelasi parsialnya tertinggi dan masih signifikan, setelah variabel tertentu dimasukkan ke dalam model, variabel lain yang ada di dalam model akan dievaluasi. Jika ada variabel yang tidak signifikan, maka variabel tersebut akan dikeluarkan. Metode stepwise memilih peubah berdasarkan

korelasi parsial terbesar dengan peubah yang sudah masuk dalam model. Peubah yang sudah masuk ke dalam model dapat saja dikeluarkan lagi (Hanum, 2011).

## II.5 Verifikasi Prediksi

Verifikasi adalah proses evaluasi kualitas suatu prediksi (*forecast*). Dalam memverifikasi, hasil yang diprediksi dibandingkan dengan nilai yang diamati. Ada 3 (tiga) alasan utama mengapa sebuah verifikasi dilakukan. Pertama, untuk memonitor (memantau) keakuratan prediksi dan apakah prediksi itu semakin lama semakin baik. Kedua, untuk meningkatkan (*improve*) kualitas prediksi. Hal ini bisa dimulai dengan menyelidiki kesalahan apapun yang telah dilakukan dalam memprediksi. Ketiga, membandingkan (*compare*) hasil-hasil prediksi beberapa model untuk memprediksi besaran/fenomena yang sama. Dari hasil perbandingan ini, kita akan menemukan satu model yang unggul dibanding model-model lainnya dan mengetahui alasan keunggulan model tersebut (Halide, 2009).

### II.5.1 Korelasi pearson

Korelasi pearson adalah suatu bentuk rumus yang digunakan untuk mencari dan mengukur hubungan linear antara dua variabel yaitu variabel bebas (*independent* atau prediktor) dan variabel terikat (*dependent* atau prediktan). Koefisien korelasi dinyatakan dengan (Halide, 2009) :

$$R = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{\{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2\} \{n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2\}}} \quad (2.22)$$

Dengan:

n = jumlah data

R = koefisien korelasi antara data observasi dan data prediksi

$x_i$  = data observasi

$y_i$  = data prediksi

**Tabel 2.4** Interpretasi dari Nilai R positif (hubungan searah) (Wilks, 2006).

R	Interpretasi
0	Tidak berkorelasi
0,01 s/d 0,20	Sangat rendah
0,21 s/d 0,40	Rendah
0,41 s/d 0,60	Agak rendah
0,61 s/d 0,80	Cukup
0,81 s/d 0,99	Tinggi
1	Sangat tinggi

**Tabel 2.5** Interpretasi dari Nilai R negatif (hubungan berlawanan) (Wilks, 2006)

R	Interpretasi
0	Tidak berkorelasi
-0,01 s/d -0,20	Sangat rendah
-0,21 s/d -0,40	Rendah
-0,41 s/d -0,60	Agak rendah
-0,61 s/d -0,80	Cukup
-0,81 s/d -0,99	Tinggi
-1	Sangat tinggi

### II.5.1 Root Mean Square Error (RMSE)

Nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) diperoleh dengan menghitung nilai akar dari rata – rata kuadrat dari nilai kesalahan yang menggambarkan perbedaan antara data observasi dengan nilai hasil prediksi. Dapat di hitung dengan persamaan (Halide, 2009) :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (2.23)$$

Dengan:

$X_i$  = Data observasi

$Y_i$  = Data prediksi

$n_i$  = Jumlah data