

**MODEL PENGENDALIAN LIMBAH INFEKSIUS RUMAH SAKIT
DI KOTA PADANG BERBASIS SISTEM DINAMIK
(KASUS PANDEMI COVID-19)**

DISERTASI

Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan Mencapai Derajat Doktor
Program Studi Ilmu Lingkungan



Oleh:

ELSA YUNIARTI
NIM.19327004

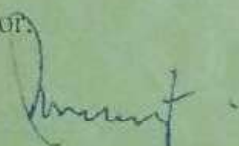
**PROGRAM STUDI ILMU LINGKUNGAN
PROGRAM DOKTOR
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2022**

PERSETUJUAN AKHIR DISERTASI

Mahasiswa : Elsa Yuniarti
NIM. : 19327004
Program Studi : Ilmu Lingkungan

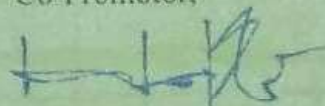
Menyetujui:

Promotor,



Prof. Dr. Indang Dewata, M.Si.
NIP. 19651118 199102 1 003

Co-Promotor,



Ir. Drs. Heldi, M.Si., Ph.D.
NIP. 19610722 199103 1 001

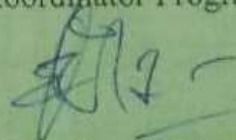
Mengesahkan:

Direktur,



Prof. Yenni Rozimela, M.Ed., Ph.D.
NIP. 19620919 198703 2 002

Koordinator Program Studi,


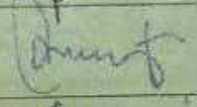

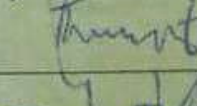
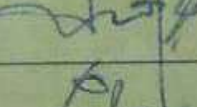






Prof. Dr. Eri Barlian, M.S.
NIP. 19610724 198703 1 001

PERSETUJUAN KOMISI UJIAN DISERTASI

Mahasiswa : Elsa Yuniarti
NIM. : 19327004

Dipertahankan di depan Penguji Disertasi
Program Studi Ilmu Lingkungan, Program Doktor Sekolah Pascasarjana
Universitas Negeri Padang
Hari: Senin, Tanggal: 15 Agustus 2022

No	Nama	Tanda Tangan
1.	Prof. Ganefri, Ph.D. Ketua (Rektor)	
2.	Prof. Yenni Rozimela, M.Ed., Ph.D. Sekretaris (Direktur)	
3.	Prof. Dr. Indang Dewata, M.Si. Anggota (Wakil Direktur I)	
4.	Prof. Dr. Eri Barlian, M.S. Anggota (Koordinator Program Studi)	
5.	Prof. Dr. Indang Dewata, M.Si. Anggota (Promotor/Penguji)	
6.	Ir. Drs. Heldi, M.Si., Ph.D. Anggota (Co-Promotor/Penguji)	
7.	Prof. Dr. Eri Barlian, M.Si. Anggota (Pembahas/Penguji)	
8.	Dr. Iswandi U., M.Si. Anggota (Pembahas/Penguji)	
9.	Prof. dr. Hardisman, M.HID., Dr.PH., FRSPH. Anggota (Penguji Eksternal Institusi)	

Koordinator Program Studi,


Prof. Dr. Eri Barlian, M.S.
NIP. 19610724 198703 1 001

Pernyataan Keaslian Karya Tulis Disertasi

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi saya yang berjudul:

MODEL PENGENDALIAN LIMBAH INFEKSIUS RUMAH SAKIT DI KOTA PADANG BERBASIS SISTEM DINAMIK (KASUS PANDEMI COVID-19)

Tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi lain dan tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan orang lain yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri tanpa memberikan pengakuan pada penulis aslinya. Apabila di kemudian hari saya terbukti melakukan tindakan menyalin atau meniru tulisan orang lain seolah-olah hasil pemikiran saya sendiri, gelar dan ijazah yang telah diberikan oleh universitas batal saya terima.

Padang , Agustus 2022
Yang memberikan pernyataan



Elsa Yuniarti

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Puji dan syukur peneliti panjatkan kehadiran Allah SWT yang selalu memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada umat-Nya. Shalawat teriring salam tak lupa panjatkan pula kepada Nabi Besar Muhammad SAW sehingga saya dapat menyelesaikan disertasi ini sebagai salah satu syarat dalam memperoleh gelar Doktor Ilmu Lingkungan pada Program Pascasarjana Ilmu Lingkungan, dengan judul **Model Pengendalian Limbah Infeksius Rumah Sakit Di Kota Padang Berbasis Sistem Dinamik (Kapsus Pandemi COVID-19)**.

Saya menyadari tanpa adanya bantuan baik moril dan materi dari berbagai pihak maka disertasi ini tidak akan terwujud, karena itu pada kesempatan ini saya mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Prof. Dr. Indang Dewata, M.Si selaku promotor merangkap sebagai Sekretaris dan Wakil Direktur I Sekolah Pascasarjana Universitas Negeri Padang dan Ir. Drs. Heldi., M.Si., Ph.D sebagai co-promotor telah bersedia memberikan bimbingan, masukan, saran-saran dan koreksi serta ketelitian dan kesabaran sehingga dapat menyelesaikan disertasi ini. Penulisan disertasi ini dapat diselesaikan berkat bimbingan dan arahan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Eri Barlian, M.S. selaku Ketua Program Studi Pascasarjana Ilmu Lingkungan Universitas Negeri Padang dan juga sebagai Pembahas yang telah menyumbangkan pikiran saran, dan masukan untuk kesempurnaan disertasi ini.

2. Dr. Iswandi U, S.Pd., M.Si selaku Pembahas yang telah menyumbangkan pikiran saran, dan masukan untuk kesempurnaan proposal disertasi ini
3. Prof. Dra. Yenni Rozimela, M.Ed., Ph.D. selaku Direktur Sekolah Pascaarjana Universitas Negeri Padang.
4. Prof. Ganefri, M.Pd., Ph.D. selaku Rektor Universitas Negeri Padang.
5. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat LPMP Universitas Negeri Padang atas dukungan dana dalam membantu disertasi saya masuk dalam skema Penelitian Disertasi Doktor PDD tahun 2022.
6. Seluruh dosen penanggung jawab mata kuliah dan dosen pengajar yang telah membimbing dan memberikan ilmunya kepada saya.
7. Papa Drs. Julius Machmud.,Apt dan Mama Aswany Nawawi orang tua yang telah merawat dan membesarkan tanpa balas jasa, semoga dapat memberikan kebanggaan dan kebahagiaan kepada orang tua yang paling saya hormati.
8. Suami tercinta Ns.H.Alfitri.,M.Kep.,Sp.MB dan yang saya banggakan pasukan kecil kakak Zahira Khairani Alysa, Abang Daffa Aulya Fitra dan Adek Jihan Athifa Alysa.
9. Keluarga Besar Mardif Buya H. Diflaizar yang selalu mendoakan agar terus untuk menuntut ilmu.
10. Ketua Departemen, seluruh Staf Pengajar dan Tendik Departemen Biologi Universitas Negeri Padang yang selalu mendukung agar cepat menyelesaikan disertasi ini tepat waktu.
11. Keluarga Besar Poliklinik Pratama Universitas Negeri Padang atas doa dan dukungan morilnya.

12. Tim Taskforce Kedokteran Universitas Negeri Padang yang selalu menyemangati.
13. Dr. dr. Andani Eka Putra, M. Sc. Tenaga Ahli Kementerian Kesehatan RI dan kepala Laboratorium Pusat Diagnostik dan Riset Penyakit Infeksi Fakultas Kedokteran Universitas Andalas.
14. Teman Sejawat yang bertugas di Dinas Kesehatan Kota Padang, RSUD Dr. Rasyidin, RS Universitas Andalas, RS Semen Padang, RS Reksodiwirjo, dan RSUP Dr. M. Djamil yang telah banyak membantu dalam pengumpulan data disertasi.
15. Teman-teman seangkatan Program doktoral Ilmu Lingkungan Angkatan 2019
16. Mahasiswa PA saya Syafira Defni., S.Pd, Sari Ramadhani S.Si, Ikmanisa Khairati dan semua pihak yang tidak mungkin saya sebutkan satu persatu yang telah membantu dalam penulisan disertasi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga disertasi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan. Terima Kasih.

Padang, 15 Agustus 2022

Wassalam,

Elsa Yuniarti
NIM 19327004

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR LAMPIRAN.....	ix
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	11
1.3 Batasan Masalah.....	11
1.4 Rumusan Masalah	12
1.5 Tujuan Penelitian	12
1.6 Manfaat Penelitian	13
1.7 Novelty.....	13
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	15
2.1 Kajian Teori	15
2.2 Penelitian Relevan.....	40
2.3 Kerangka Konseptual	46
2.4 State of The Art.....	48
BAB III METODE PENELITIAN	49
3.1 Jenis Penelitian.....	49
3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian	49
3.3 Populasi dan Sampel Penelitian	51
3.4 Definisi Operasional.....	52
3.5 Teknik Pengumpulan Data.....	54
3.6 Teknik Analisis Data.....	54

3.7 Alur Penelitian	65
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	66
4.1 Hasil Penelitian	66
4.1.1 Analisis Lingkungan Iklim COVID-19 di Kota Padang	66
4.1.2 Kerentanan Wilayah Kota Padang terhadap Kasus COVID-19.....	72
4.1.3 Model pengendalian limbah infeksius rumah sakit di Kota Padang berbasis sistem dinamik	79
4.1.4 Skenario dan Rekomendasi Kebijakan Model Pengendalian Limbah Infeksius Rumah Sakit Kota Padang Berbasis Sistem Dinamik (Kasus COVID-19)	92
4.2 Pembahasan.....	94
4.2.1 Analisis Lingkungan Iklim Kasus COVID-19 di Kota Padang.....	94
4.2.2 Kerentanan Wilayah terhadap Kasus COVID-19 Kota Padang	96
4.2.3 Model Pengendalian Limbah Infeksius Rumah Sakit di Kota Padang Berbasis Sistem Dinamik Kasus Pandemi COVID-19	98
4.2.4 Skenario dan Rekomendasi Kebijakan Model Pengendalian Limbah Infeksius Rumah Sakit di Kota Padang Berbasis Sistem Dinamik (Kasus Pandemi COVID-19)	104
BAB V PENUTUP.....	108
5.1 Kesimpulan	108
5.2 Saran.....	109
5.3 Implikasi.....	110
DAFTAR PUSTAKA	111
LAMPRIRAN.....	120

DAFTAR TABEL

1. Persistensi berbagai jenis coronavirus pada berbagai permukaan benda mati.....	26
2. Identifikasi limbah medis padat selama COVID-19	30
3. Penelitian Relevan.....	40
4. Populasi Penelitian	51
5. Definisi Operasional Penelitian.....	52
6. Interpretasi Nilai r	55
7. Kriteria Penentuan Variabel Kerentanan Kasus COVID-19.....	56
8. Interval Kerentanan Kasus COVID-19	57
9. Tingkatan Kasus COVID-19 Kota Padang	67
10. Interval Tingkat Kasus COVID-19	68
11. Kesimpulan Hasil Analisis Korelasi Pearson Iklim dengan COVID-19	70
12. Tingkatan Kerentanan Wilayah Terhadap Kasus COVID-19.....	72
13. Interval Kelas Tingkat Kerentanan Kasus COVID-19.....	73
14. Hasil Statistik Regresi Kerentanan Wilayah terhadap Kasus COVID-19 Kota Padang.....	76
15. Hasil Uji Pengaruh Kerentanan Wilayah terhadap Kasus COVID-19	76
16. Hasil Uji ANOVA Kerentanan Wilayah Kota Padang terhadap Kasus COVID-19.	77
17. Hasil Analisis Korelasi Tingkatan Kerentanan Wilayah terhadap kasus COVID-19 di Kota Padang.....	78

DAFTAR GAMBAR

1. ABC <i>Environment</i>	16
2. Lingkungan Hidup dengan Komponen-komponennya	17
3. Rantai Penularan Virus COVID-19	21
4. Kerangka Konseptual Penelitian	47
5. State of The Art Penelitian	48
6. Lokasi Penelitian.....	50
7. <i>Black Box Model</i> Pengendalian Limbah Infeksius RS Pandemi COVID-19.....	61
8. Causal Loop Diagram Pengendalian Limbah Infeksius COVID-19.....	62
9. Alur Penelitian	65
10. Kasus COVID-19 Maret 2020 - Mei 2022.....	66
11. Peta Tingkat Penyebaran Kasus COVID-19 Kota Padang	69
12. Peta Kerentanan Kasus COVID-19 Kota Padang	75
13. Model Regresi Linear Sederhana dari Hubungan Kerentanan Wilayah terhadap Kasus COVID-19 Kota Padang	77
14. Causal Loop Diagram Penduduk dengan Penduduk Terpapar Positif COVID-19 Di Kota Padang Periode Maret 2020 sampai Mei 2022.....	79
15. Diagram Alir 1 (<i>Level, Rate dan Auxiliary</i>).....	80
16. Simulasi Perbandingan Penduduk dengan Penduduk Terpapar Positif COVID-19 Di Kota Padang Periode Maret 2020 sampai Mei 2022.....	80
17. Causal Loop Diagram Perbandingan Penduduk Positif COVID-19, Sembuh, dan Meninggal	81
18. Diagram Alir 2 (<i>Level, Rate dan Auxiliary</i>).....	82
19. Grafik Perbandingan Penduduk Positif COVID-19 yang Sembuh dan Meninggal Periode Maret 2020 sampai Mei 2022.....	82

20. Causal Loop diagram Perbandingan Jumlah Warga se Kota Padang yang Telah Melakukan Vaksinasi Baik Vaksinasi 1, Vaksinasi 2 dan Vaksinasi Booster	83
21. Diagram Alir 3 (<i>Level, Rate dan Auxiliary</i>).....	84
22. Diagram Alir 4 (<i>Level, Rate dan Auxiliary</i>).....	85
23. Grafik Perbandingan Jumlah Warga se Kota Padang yang Telah Melakukan Vaksinasi Baik Vaksinasi 1, Vaksinasi 2 dan Vaksinasi Booster Periode 2020 sampai Mei 2022.....	85
24. Causal Loop Diagram Perbandingan Jumlah Penduduk Positif COVID-19 yang Dirawat dengan yang Isolasi Mandiri	86
25. Diagram Alir 5 (<i>Level, Rate dan Auxiliary</i>)	87
26. Grafik Perbandingan Jumlah Penduduk Positif COVID-19 yang Dirawat dengan yang Isolasi Mandiri Periode Maret 2020 sampai Mei 2022	87
27. Causal Loop Perbandingan Jumlah Limbah Infeksius Sebelum Pandemi dan Setelah Pandemi.....	88
28. Diagram Alir 6 (<i>Level, Rate dan Auxiliary</i>)	89
29. Perbandingan Jumlah Limbah Infeksius Sebelum Pandemi dan Setelah Pandemi.	89
30. <i>Stock Flow Dinamic</i> (SFD) Model Pengendalian Limbah Infeksius Rumah Sakit Kota Padang Berbasis Sistem Dinamik (Kasus COVID-19).....	90
31. Grafik Hubungan Antara COVID-19, Jumlah Rawat, Rawat Sembuh, Rawat Meninggal dan Jumlah Limbah Infeksius Saat Pandemi	91
32. Rekomendasi Kebijakan Pengendalian Limbah Infeksius Rumah Sakit Kota Padang Berbasis Sistem Dinamik (Kasus COVID-19) dengan skenario vaksinasi, protokol kesehatan, dan PSBB yang optimis	93

DAFTAR LAMPIRAN

1. Data COVID-19 Harian Kota Padang Maret 2020-Mei 2022
2. Data COVID-19 Bulanan Kota Padang Maret 2020-Mei 2022 Sumber: Dinas Kesehatan dan Satgas COVID-19 Kota Padang
3. Data COVID-19 Kota Padang per Kecamatan 2021
4. Data Iklim Harian Kota Padang Maret 2020-Mei 2022
5. Kepadatan penduduk Kota Padang 2021
6. Jumlah Lansia Komorbid Kota Padang 2021 Sumber: BPS dan Dinas Kesehatan Kota Padang 2022
7. Data Vaksinasi Kota Padang Maret 2020-Mei 2022
8. Data Rawatan, Kematian dan Sembuh di Rumah Sakit Rujukan Kota Padang Maret 2020-Mei 2022
9. Data Simulasi Powersim Studio 10
10. Validasi Data Simulasi Powersim Studio 10
11. Angket Dan Validasi Angket
12. Analisis Hasil Angket Kepatuhan Masyarakat
13. Distribusi COVID-19 Kota Padang
14. Tabel dan Peta KerentananWilayah Kota Padang terhadap COVID-19
15. Analisis KerentananWilayah Kota Padang terhadap COVID-19
16. Analisis Data Iklim dan kasus COVID-19
17. Surat Izin Penelitian
18. Rekomendasi Penelitian

ABSTRAK

Elsa Yuniarti 2022. *Model Pengendalian Limbah Infeksius Rumah Sakit Di Kota Padang Berbasis Sistem Dinamik (Kasus Pandemi COVID-19)*. Disertasi, Sekolah Pascasarjana Universitas Negeri Padang.

Kota Padang merupakan episentrum penyebaran COVID-19 di Sumatera Barat dengan kasus COVID-19 tertinggi akibatnya limbah infeksius di rumah sakit meningkat. Penelitian ini bertujuan: (1) Menganalisis lingkungan iklim COVID-19 di Kota Padang, (2) Menganalisis kerentanan wilayah terhadap kasus COVID-19 di Kota Padang, (3) Membangun model pengendalian limbah infeksius rumah sakit di Kota Padang berbasis sistem dinamik, dan (4) Merumuskan skenario dan rekomendasi kebijakan pengendalian limbah infeksius rumah sakit di Kota Padang berbasis sistem dinamik.

Jenis penelitian ini adalah kuantitatif dengan pendekatan sistem dinamik. Lokasi penelitian di Kota Padang dari Maret 2020 – Juli 2022. Populasi penelitian ini adalah timbulan limbah infeksius rumah sakit rujukan COVID-19 dan penduduk Kota Padang. Sampel penelitian diambil menggunakan teknik *total sampling*. Data deskriptif disajikan bentuk tabel, grafik, peta, analisis *overlay* dengan GIS, analisis korelasi dan regresi menggunakan R Studio. Pemodelan sistem dinamik dengan menggunakan Powersim Studio 10.

Hasil penelitian menunjukkan: (1) Analisis lingkungan iklim kasus COVID-19 di Kota Padang yang berhubungan signifikan adalah suhu minimum dan kelembaban udara. Wilayah Kota Padang dengan tingkat kasus COVID-19 tinggi terdapat di Kecamatan Koto Tangah, Kuranji, dan Padang Barat. (2) Tingkat kerentanan wilayah Kota Padang terhadap COVID-19 yang tertinggi terdapat di Kecamatan Nanggalo, Lubuk Begalung, Padang Utara, Koto Tangah, dan Kuranji. (3) Model pengendalian limbah infeksius rumah sakit di Kota Padang berbasis sistem dinamik pandemi kasus COVID-19 didapatkan hasil simulasi dari jumlah penduduk Kota Padang sebanyak 909.040 jiwa, terdapat 57,38% penduduk terpapar, 10,06% positif COVID-19, 71,9% isolasi mandiri, 28,1% dirawat di rumah sakit, dan 1,27% kematian. Simulasi vaksinasi didapatkan 85% vaksinasi 1, 69,69% vaksinasi 2, dan 11,73 % vaksinasi booster. Dari simulasi limbah infeksius rumah sakit terjadi peningkatan timbulan limbah infeksius sebanyak 100% dari sebelum masa pandemi. Uji validitas model didapatkan AME dinyatakan valid ($< 10\%$) (4) Rekomendasi kebijakan terhadap pengendalian limbah infeksius rumah sakit Kota Padang berbasis sistem dinamik kasus Pandemi COVID-19 adalah dengan skenario vaksinasi, protokol kesehatan, dan PSBB secara optimis akan menurunkan kasus COVID-19 positif, rawatan serta timbulan limbah infeksius rumah sakit Kota Padang.

ABSTRACT

Elsa Yuniarti 2022. *Hospital Infectious Waste Control Model in Padang City Based on Dynamic Systems (Case of the COVID-19 Pandemic)*. Dissertation, Post-Graduate Program of Universitas Negeri Padang

Padang City is the epicenter of the spread of COVID-19 in West Sumatra with the highest number of COVID-19 cases causing an increase in infectious waste in hospitals. This study aims to: (1) Analyze the COVID-19 climate environment in Padang City, (2) Analyze the vulnerability of the region to COVID-19 cases in Padang City, (3) Build a model for controlling infectious waste in hospitals in Padang City based on a dynamic system, and (4) Formulate scenarios and policy recommendations for infectious waste control in hospitals in Padang City based on dynamic systems.

This type of research is quantitative with a dynamic system approach. The research location is in Padang City with a time range from March 2020 – July 2022. The population of this study is the infectious waste generation of the COVID-19 referral hospital and the residents of Padang City. The sample of this research was taken using total sampling technique. Descriptive data is presented in the form of tables, graphs, and maps, overlay analysis with GIS, correlation analysis and regression analysis using R Studio. Dynamic system modeling used Powersim Studio 10.

The results showed: (1) Analysis of the climate environment for COVID-19 cases in Padang City which significantly correlated is the minimum temperature and humidity. The areas of Padang City with a high rate of COVID-19 cases are in Koto Tengah, Kuranji, and West Padang Districts. (2) The level of vulnerability of the Padang City areas to COVID-19 with a high level of vulnerability was found in the Districts of Nanggalo, Lubuk Begalung, North Padang, Koto Tengah, and Kuranji. (3) The hospital infectious waste control model in Padang City based on the dynamic system of the COVID-19 pandemic case, obtained simulation results from the total population of Padang City as many as 909,040 people, there were 57.38% exposed population, 10.06% positive for COVID-19, 71.9% self-isolation, 28.1% hospitalized, and 1.27% death. Vaccination simulation obtained 85% vaccination 1, 69.69% vaccination 2, and 11.73% booster vaccination. From the simulation of hospital infectious waste, there was an increase in infectious waste generation by 100% since before the pandemic period. Model validity test obtained AME less than 10% was declared valid (<10%). (4) Policy recommendations for infectious waste control of hospitals in Padang City based on the dynamic system of the COVID-19 pandemic case were with vaccination scenarios, health protocols, and PSBB optimistically to reduce positive COVID-19 cases, inpatients and the generation of infectious waste at the Padang City hospitals.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Limah infeksius menurut PERMENLHK.56/Menlhk-Setjen/2015, adalah limbah yang terkontaminasi organisme patogen yang tidak secara rutin ada di lingkungan dan organisme tersebut dalam jumlah dan virulensi yang cukup untuk menularkan penyakit pada manusia rentan. Secara umum, limbah medis infeksius ini termasuk kriteria limbah Berbahaya dan Beracun (limbah B3). Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2019 tentang kesehatan lingkungan rumah sakit yang menyatakan bahwa limbah B3 (Bahan berbahaya dan beracun) dihasilkan dari rumah sakit.

Limah infeksius pada masa pandemi COVID-19 dihasilkan dari limbah pasien COVID-19 yang penatalaksanaannya sama seperti limbah infeksius lainnya. Mengacu pada Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia (2020), Limbah Bahan Berbahaya dan Beracun (B3) Medis Padat adalah barang atau bahan sisa hasil kegiatan yang tidak digunakan kembali yang berpotensi terkontaminasi oleh zat yang bersifat infeksius atau kontak dengan pasien dan/atau petugas di fasilitas pelayanan kesehatan yang menangani pasien COVID-19, meliputi: masker bekas, sarung tangan bekas, perban bekas, tisu bekas, plastik bekas minuman dan makanan, kertas bekas makanan dan minuman, alat suntik bekas, set infus bekas, Alat Pelindung Diri bekas, sisa makanan pasien dan lain-lain, berasal dari kegiatan pelayanan di UGD, ruang isolasi, ruang ICU, ruang perawatan, dan ruang pelayanan lainnya.

Pandemi COVID-19 menimbulkan dinamika limbah global yang perlu mendapatkan perhatian khusus. Kenaikan jumlah limbah medis terjadi di seluruh negara di dunia selama masa pandemi COVID-19. Selama wabah COVID-19 berlangsung di Provinsi Hubei, Tiongkok, tercatat kenaikan 6 kali timbulan normal limbah medis, dari 40 ton/hari menjadi 240 ton/hari (Shi J dan W. Zheng, 2020). Pada bulan Maret 2020, limbah medis di Malaysia meningkat sebesar 10 % dari bulan sebelumnya (Hakim, 2020), di Jakarta terjadi peningkatan timbulan limbah medis sebesar 30 % (Rikin, 2020). Berdasarkan data limbah medis yang didata pada lima rumah sakit di Iran, didapatkan informasi peningkatan timbulan sampah rata-rata 102,2% baik rumah sakit umum maupun swasta. Limbah infeksius di rumah sakit yang diteliti di Iran meningkat rata-rata 9% pada komposisi limbah medis, 121% dibandingkan sebelum pandemi COVID-19 (Maalouf dan Maalouf, 2021).

Peningkatan limbah medis selama pandemi COVID-19 dikarenakan kasus COVID-19 yang terus meningkat dan tidak didukung oleh penanganan limbah medis yang tepat. Berbeda dengan Taiwan, dampak pandemi COVID-19 terhadap limbah medis di Taiwan tidak signifikan pada paruh pertama tahun 2020 dibandingkan dengan data selama tahun 2016-2019. Hal ini dikarenakan pengendalian wabah COVID-19 yang efektif pada pelayanan rumah sakit di Taiwan diikuti dengan optimalisasi pengurangan limbah medis yang dihasilkan (Tsai, 2021).

Berdasarkan sumber dari PSLB3 KLHT, tercatat adanya peningkatan volume limbah medis sudah mencapai 30 – 50% per harinya (Kementerian

Lingkungan Hidup dan Kehutanan., 2020). *Asian Development Bank* (ADB) senada dengan PSLB3 KLHT, mencatat DKI Jakarta menghasilkan limbah medis 212 ton/hari. Keadaan Sumatera Barat selama pandemi COVID-19, juga mengalami peningkatan limbah medis infeksius. Penelitian Yolarita dan Kusuma (2020) yang dilakukan di 17 rumah sakit jejaring selama pandemi COVID-19 menunjukkan bahwa pada bulan Januari 2020, terdapat limbah medis sebanyak 23.776 kg/bulan, hingga bulan Juni 2020, 41.760 kg/bulan. Hasil penelitian tersebut menunjukkan jumlah limbah medis infeksius rata-rata meningkat 2 kali lipat.

COVID-19 bukanlah pandemi pertama yang terjadi sepanjang sejarah dunia. Bubonic plague (*Black Death*) diketahui sebagai pandemi pertama kali yang terjadi pada tahun 1347. Pandemi yang melanda Eurasia ini menyebabkan kematian dengan rentang 30-50% populasi masyarakat Eropa. Dampak sosial, ekonomi, dan politik dari pandemi ini mempercepat berakhirnya sistem feodal di Eropa. Setelah tahun 1347, pandemi lainnya mulai bermunculan dengan skala geografi dan angka kematian yang berbeda-beda seperti pandemi Spanish flu, Asian flu, pandemi SARS, hingga pandemi terbaru yang terjadi sebelum COVID-19 yaitu pandemi Zika Virus yang terjadi di tahun 2015 yang menjangkit 76 negara dengan dampak sosial, ekonomi, dan politik yang ditimbulkan yaitu kerugian di Negara Amerika Latin dan Kepulauan Karibia sebesar 7-18 juta dolar Amerika (Madhav dkk., 2020). Berdasarkan paparan di atas, dapat diketahui pandemi bukanlah hal baru dalam sejarah dunia, tetapi telah terjadi beberapa kali dengan tingkatan dampak yang berbeda-beda.

Virus SARS-CoV-2 yang disebut juga virus COVID-19 pertama kali ditemukan pada Desember 2019 di Wuhan, Provinsi Hubei, Tiongkok (Ghebreyesus, 2020a) dan telah ditetapkan sebagai pandemi oleh Organisasi Kesehatan Dunia pada 11 Maret 2020. Wabah ini menyebar dan menular dalam waktu singkat ke seluruh dunia sehingga menimbulkan banyak korban (Ghebreyesus, 2020a). Tercatat hingga tanggal 8 April 2022 494.587.638 terkonfirmasi COVID-19 dengan 6.170.238 kasus kematian di seluruh dunia. Indonesia sendiri kasus terkonfirmasi positif pertama pada 2 Maret 2020, hingga tanggal 8 April 2022 tercatat 6.030.168 kasus COVID-19 terkonfirmasi dengan total 155.556 kematian (World Health Organization, 2022).

Provinsi Sumatera Barat merupakan salah satu provinsi dengan jumlah kasus positif COVID-19 tertinggi di Indonesia. Data penyebaran COVID-19 pada Senin, 11 April 2022, sebanyak 103.653 kasus terkonfirmasi positif COVID-19 dengan kasus kematian di Sumatera Barat sebanyak 2.328 kasus (Website Corona Sumbar, 2022). Kota Padang merupakan episentrum penyebaran COVID-19 di Sumatera Barat karena memiliki jumlah kasus COVID-19 tertinggi dari seluruh kabupaten/kota yang ada di Sumatera Barat. Data penyebaran COVID-19 di Kota Padang per tanggal 3 April 2022 sebanyak 7.305 orang terkonfirmasi positif COVID-19 dengan kasus kematian 42 orang (DKK Kota Padang, 2022).

Indonesia telah menghadapi tiga gelombang lonjakan kasus COVID-19. Pada gelombang satu tercatat kasus tertinggi per tanggal 30 Januari 2021 sebanyak 14.528 kasus dengan jumlah angka kematian 29.728 kasus, gelombang kedua tercatat kasus tertinggi per tanggal 15 Juli 2021 sebanyak 56.757 kasus

akibat varian delta (B.1.617) dengan jumlah angka kematian 70.192 kasus, dan gelombang ketiga tercatat kasus tertinggi per tanggal 17 Februari 2022 sebanyak 63.956 kasus akibat varian omicron (B.1.1529) dengan jumlah angka kematian 145.828 (The Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at JHU, 2022). Berdasarkan data kasus pada ketiga gelombang tersebut dapat diketahui bahwa terdapat kemungkinan kuat peningkatan jumlah pasien di rumah sakit berkolerasi dengan timbulan limbah medis yang juga ikut meningkat.

Berdasarkan jumlah fasilitas pelayanan kesehatan yang teridentifikasi di Indonesia, diperkirakan timbulan limbah B3 medis yang dihasilkan mencapai 294,66 ton per hari (KEMENKES, 2021). Per Desember 2020, terdapat 106 RS yang memiliki izin sebagai penghasil dan pengolah limbah B3 sendiri, dengan menggunakan teknologi termal insinerator (kapasitas total 125 ton per hari) dan 6 RS yang memiliki teknologi thermal penguapan dengan autoklaf (kapasitas 4-5 ton/hari). Selain itu, terdapat 14 perusahaan pengolah limbah B3 (swasta berizin) dengan kapasitas total sekitar 194 ton per hari.

Pada masa pandemi COVID-19 upaya pengelolaan limbah medis di seluruh wilayah Indonesia yang telah dilakukan pemerintah yaitu mengeluarkan surat edaran yang ditujukan kepada pihak-pihak terkait, antara lain: Surat Edaran MENKLHK No. 167/MENLHK/PSLB3/PLB. 3/3/2021 perihal Pengelolaan Limbah Medis pada Fasyankes Darurat COVID-19 kepada Kepala BNPB/Ketua Gugus Tugas Percepatan Penanganan COVID-19; SE.2/MENLH/PSLB3/PLB.3/3/2020 ttg Pengelolaan Limbah Infeksius (LB3) dan Sampah Rumah Tangga dari Penanganan Corona Virus Disease (COVID-19); dan

Surat Dirjen PSLB3 KLHK No. S.156/PSLB3/PKPLB3/PLB.2/3/2020, tgl 30 Maret 2020 perihal PLB3 Masa Darurat Penanganan COVID-19 kepada Perusahaan Pengelola dan Pengangkut Limbah B3 Infeksius. SE Direktur Jenderal PSLB3 Nomor S-194/PSLB3/PLB.2/4/2020, tanggal 20 April 2020 perihal Pelaksanaan Pengelolaan Limbah B3 Medis dari Kegiatan Penanganan COVID-19 kepada Kepala DLH Provinsi seluruh Indonesia.

Pada intinya, surat edaran tersebut merupakan upaya optimalisasi kapasitas pengelolaan limbah medis di Indonesia, baik yang dilakukan oleh fasyankes atau jasa pengelola limbah B3 berizin. Walaupun sistem pengelolaan limbah medis infeksius COVID-19 sudah ada yang terpenting adalah sistem pengendalian limbah infeksius COVID-19 harus dilakukan secara komprehensif. Pengendalian tidak hanya dilakukan di internal rumah sakit saja tapi semua komponen baik *stakeholder* pemangku kebijakan dan masyarakat dengan tujuan akhirnya adalah menurunkan jumlah kasus COVID-19 sehingga limbah infeksius COVID-19 berkurang.

Pencegahan dan pengendalian COVID-19 tidak dapat dilepaskan dari kondisi lingkungan hidup. Kota Padang dengan jumlah penduduk ± 914.969 Jiwa menghasilkan timbulan sampah dan limbah setiap harinya yang harus dikelola. Sampah dan limbah tersebut salah satunya berasal dari rumah sakit. Rata-rata timbulan sampah kota Padang 600 Ton/Hari yang akan menimbulkan masalah lingkungan (DLH Padang, 2022). Berdasarkan SK Gubernur provinsi Sumatera Barat No. 440-300-2020 RSUD Rasidin ditunjuk sebagai rumah sakit khusus COVID-19. Peningkatan limbah medis infeksius COVID-19 di RSUD Rasidin

Kota Padang terjadi 2 kali lipat dari sebelumnya, pada bulan Maret 2.172 kg/bulan, hingga bulan Mei 4.205 kg/bulan.

Selama pandemi COVID-19 pemerintah di sejumlah negara di dunia dihadapkan pada situasi krisis yang mengharuskan pemerintah mengambil langkah yang tepat untuk menanganinya (Mas'udi dan Winanti, 2020). Sebagai contoh, dalam menghadapi pandemi COVID-19, pemerintah Taiwan telah memiliki panduan *Influenza Pandemic Strategic Plan* pada tahun 2012 yang lalu. Berdasarkan panduan tersebut, terdapat lima langkah yang dipersiapkan yaitu pembatasan perjalanan ke luar negeri, kontrol di daerah perbatasan, kontrol epidemi tingkat komunitas, pemeliharaan fungsi dan sistem kesehatan, serta proteksi individu dan keluarga. Untuk menghadapi virus corona, pemerintah Taiwan juga mengaktivasi *Central Epidemic Command Center* (CECC) dengan tujuan mengintegrasikan sumber daya dan memimpin koordinasi lintas sektor. Selain itu, Negara lain seperti Singapura memiliki sistem mitigasi pandemi yang komprehensif yaitu *Disease Outbreak Response System Condition* (DORSCON). Lain halnya dengan Korea Selatan, pemerintah Korea Selatan membentuk *Korea Centers for Disease Control and Prevention* (KCDCP) untuk menangani COVID-19 (Mas'udi dan Winanti, 2020).

Salah satu bentuk tindakan kekarantina kesehatan yang dikenal dengan upaya pemerintah Indonesia dalam menanggapi COVID-19 adalah Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB) (Burhanuddin dkk., 2020). Kementerian kesehatan (KEMENKES) dan satuan gugus tugas (Satgas) COVID-19 Indonesia menjadi dua instansi yang secara aktif memberikan informasi terkait perkembangan

COVID-19 (Angendari, 2021). Untuk tindakan pencegahan COVID-19 adalah penerapan protokol kesehatan. Masyarakat diharapkan menerapkan dan mematuhi protokol kesehatan 6M berdasarkan Surat Edaran Nomor.16 Tahun 2021, yaitu memakai masker, mencuci tangan dengan sabun di air mengalir, menjaga jarak, menjauhi kerumunan, mengurangi mobilitas, menghindari makan bersama (Satgas Penanganan COVID-19, 2021).

Selain kebijakan mengenai protokol kesehatan, kebijakan lain yang ditetapkan yaitu vaksinasi COVID-19 (Susilo dkk., 2022). Vaksinasi adalah salah satu strategi pengendalian penyebaran dan penularan infeksi COVID-19 untuk membentuk kekebalan kelompok (*herd immunity*). Semakin banyak orang yang kebal terhadap suatu penyakit, semakin sulit bagi penyakit tersebut untuk menyebar karena tidak banyak orang yang dapat terinfeksi (Eyantoer, 2020). Selain upaya pencegahan dan pengendalian COVID-19, terdapat isu lingkungan yang luput dari perhatian seiring dengan lonjakan kasus COVID-19 yaitu peningkatan jumlah limbah medis infeksius yang dibuang selama masa penanganan COVID-19 (Prasetiawan, 2020), sehingga diperlukan pengendalian limbah infeksius terutama di rumah sakit rujukan COVID-19 sebagai upaya untuk menyelamatkan lingkungan.

Pemerintah pusat, Pemerintah daerah, rumah sakit, pusat pelayanan kesehatan lainnya dan para medis dan dokter harus bersiap merespon serangkaian gelombang pandemi COVID-19 yang sedang dan akan menghantam. Lingkungan merupakan faktor utama penyebaran COVID-19. Hal ini didukung oleh penelitian Tosepu dkk., (2020) mengenai korelasi cuaca dengan pandemi COVID-19 di

Jakarta, Indonesia, bahwa hanya suhu rata-rata ($^{\circ}\text{C}$) yang secara signifikan memberi pengaruh terhadap pandemi COVID-19. Sejalan dengan Wang dkk., (2020b) menganalisis dampak suhu pada penyebaran COVID-19, juga mengklaim bahwa suhu secara signifikan mempengaruhi transmisi COVID-19. Chen dkk., (2020) menganalisis hubungan antara parameter meteorologi dan keparahan penyebaran COVID-19 pada skala dunia dan mengklaim bahwa kecepatan angin, suhu, dan kelembaban relatif adalah faktor yang efektif. Ma dkk., (2020) meneliti dampak variasi suhu dan kelembaban pada kematian COVID-19 dan menyatakan bahwa parameter ini mempengaruhi kematian COVID-19.

Peningkatan angka kematian kasus COVID-19 memiliki korelasi dengan komorbiditas pada kelompok beresiko tinggi. Orang dengan penyakit komorbid seperti diabetes, penyakit kardiovaskular, paru-paru, hipertensi, dan kanker memiliki risiko lebih tinggi untuk terinfeksi virus COVID-19 (Fang dkk., 2020; Giannis dkk., 2020, Huang dkk., 2020). Menurut (Wang dkk., 2020), dari 138 kasus COVID-19 46,4% diantaranya memiliki penyakit komorbid. Pasien dengan penyakit komorbid yang dirawat di ICU lebih tinggi (72,2%) dibandingkan yang tidak dirawat di ICU (37,3%). Meningkatnya jumlah pasien COVID-19 yang dirawat di rumah sakit maka meningkat pula limbah medis yang dihasilkan sehingga lingkungan menjadi tercemar (Hesti, 2020). Peningkatan limbah medis juga berpotensi menularkan penyakit, jika limbah yang dihasilkan tersebut tidak dikelola dengan baik maka akan berdampak buruk, baik terhadap penyebaran COVID-19 itu sendiri, mutasi yang menyebabkan variasi virus COVID-19, maupun terhadap lingkungan.

Berdasarkan jumlah penduduk, terdapat peluang kontak sehingga menimbulkan kasus COVID-19 yang konstan di tiap provinsi atau pulau yang berbeda-beda. Melihat proyeksi kondisi ke depan sangatlah penting untuk mengantisipasi peningkatan jumlah limbah medis infeksius dari COVID-19. Sehingga diperlukan strategi untuk menekan laju pertumbuhan dan penyebaran COVID-19 dengan berbagai pilihan skenario kebijakan. Pendekatan sistem dinamik sangat optimal untuk melihat kondisi yang akan datang dari hasil simulasi serta skenario yang dapat dipilih. Kemudahan dalam melihat keterkaitan antar variabel tercermin dari kausalitas yang terbentuk dan perilaku yang akan terjadi dengan penerapan skenario. Penelitian ini bertujuan untuk membangun model pengendalian limbah infeksius pada rumah sakit rujukan COVID-19 dan menghasilkan skenario dan rekomendasi kebijakan untuk mengurangi limbah COVID-19 di kota Padang. Skenario kebijakan terdiri dari skenario optimis, moderat, dan pesimis (Firmansyah dkk., 2020)

Pengalaman dapat dijadikan dasar dalam mengambil keputusan dan membuat kebijakan berdasarkan simulasi model dan perilaku sistem yang dihadapi melalui pendekatan sistem dinamik (Sterman, 2000) Penggunaan sistem dinamik adalah salah satu cara untuk mengidentifikasi interdependensi antar komponen atau variabel yang ada di dalam sistem pengendalian limbah infeksius. Volume dan timbulan limbah infeksius di rumah sakit dalam pemodelan sistem dinamik dapat dinyatakan sebagai stock karena nilainya dinamis sesuai dengan perubahan waktu. Adapun penyediaan fasilitas pengelolaan limbah infeksius, jumlah pasien COVID-19 dan variabel lain yang terlibat dalam sistem dinyatakan

sebagai aliran atau *rate* yang dapat mengubah struktur model. Sehingga hubungan antar variabel yaitu *stock* limbah infeksius dan *rate* dalam model pengendalian limbah infeksius dapat digunakan dalam menentukan solusi alternatif terbaik. Berdasarkan latar belakang masalah tersebut, perlu dikembangkan suatu model pengendalian limbah infeksius rumah sakit di Kota Padang berbasis sistem dinamik pada kasus Pandemi COVID-19.

1.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah berdasarkan latar belakang di atas adalah sebagai berikut.

1. Tingginya kasus COVID-19 sehingga otomatis meningkatkan jumlah timbulan limbah infeksius rumah sakit di Kota Padang.
2. Belum optimalnya analisis lingkungan iklim COVID-19 di Kota Padang.
3. Belum terdapatnya analisis kerentanan wilayah terhadap kasus COVID-19 di Kota Padang.
4. Belum terdapatnya model pengendalian limbah infeksius rumah sakit di Kota Padang berbasis sistem dinamik.
5. Belum diketahui skenario dan rekomendasi kebijakan dari model pengendalian limbah infeksius rumah sakit di Kota Padang berbasis sistem dinamik.

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan penjabaran identifikasi masalah di atas, maka penulis membatasi masalah pada pengendalian limbah infeksius rumah sakit di Kota Padang pada pandemi COVID-19 adalah sebagai berikut:

1. Timbulan limbah infeksius yang terdapat pada rumah sakit rujukan COVID-19 di Kota Padang.

2. Lingkungan iklim COVID-19 di Kota Padang terdiri dari situasi kasus COVID-19 dan parameter iklim yang terdiri dari suhu maksimum, suhu minimum, suhu rata-rata, kelembaban, dan curah hujan.
3. Kerentanan wilayah terhadap kasus COVID-19 di Kota Padang didapatkan dari parameter kepadatan penduduk, lansia, komorbid, dan penerapan protokol kesehatan.
4. Model dan skenario (optimis, moderat, dan pesimis) pengendalian limbah infeksius rumah sakit di Kota Padang berbasis sistem dinamik dengan menggunakan simulasi Powersim Studio 10.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana analisis lingkungan iklim COVID-19 di Kota Padang?
2. Bagaimana kerentanan wilayah terhadap kasus COVID-19 di Kota Padang?
3. Bagaimana model pengendalian limbah infeksius rumah sakit di Kota Padang berbasis sistem dinamik?
4. Bagaimana skenario dan rekomendasi kebijakan dari pengendalian limbah infeksius rumah sakit di Kota Padang berbasis sistem dinamik?

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah.

1. Menganalisis lingkungan iklim COVID-19 di Kota Padang.
2. Menganalisis kerentanan wilayah terhadap kasus COVID-19 di Kota Padang.

3. Mengidentifikasi dan membangun model pengendalian limbah infeksius rumah sakit di Kota Padang berbasis sistem dinamik.
4. Merumuskan skenario dan rekomendasi kebijakan dari pengendalian limbah infeksius rumah sakit di Kota Padang berbasis sistem dinamik.

1.6 Manfaat Penelitian

2. Sebagai khasanah pengembangan ilmu pengetahuan dalam bidang ilmu lingkungan dalam rangka mengidentifikasi dan menyelesaikan permasalahan yang terjadi pada kehidupan masyarakat dalam lingkungan sekitar secara lebih holistik dan struktural.
3. Bagi pemerintah dan para pemangku kepentingan, sebagai bahan panduan dalam melakukan pengkajian dalam menganalisis hubungan sebab akibat dari aspek kesehatan dan sosial dalam pengendalian limbah infeksius rumah sakit untuk menentukan kebijakan dan strategi yang tepat di Kota Padang.
4. Membantu pemerintah Kota Padang dalam mengendalikan limbah infeksius rumah sakit dengan menerapkan model pengendalian limbah infeksius berbasis sistem dinamik pada adaptasi era *new normal*.
5. Bagi masyarakat, sebagai bahan informasi mengenai pengendalian limbah infeksius pada pandemi COVID-19.

1.7 Novelty

Novelty pada penelitian ini adalah model dan rekomendasi kebijakan pengendalian limbah infeksius rumah sakit di Kota Padang berbasis sistem dinamik pada kasus pandemi COVID-19 dengan menggunakan Powersim Studio

10. Model ini dapat digunakan untuk mengurangi timbulan limbah infeksius rumah sakit di Kota Padang secara komprehensif dan berkelanjutan.