



Literature Review: Model Matematika Dinamika Penyebaran Penyakit Monkeypox

Alvioni Bani^{1*}

¹ Jurusan Matematika, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Makassar, Makassar 90224, Indonesia

* Penulis Korespondensi. Email: alvioni.bani@unm.ac.id

ABSTRAK

Penyakit Monkeypox merupakan penyakit menular yang dapat menginfeksi individu rentan melalui interaksi langsung ataupun tidak langsung dengan individu terinfeksi dan hewan terinfeksi virus Monkeypox. Pemodelan matematika merupakan salah satu penelitian yang dapat digunakan dalam pengendalian penyebaran penyakit menular, dengan memodelkan dinamika penyebaran penyakit tersebut. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk membangun model matematika yang menginterpretasikan dinamika penyebaran penyakit Monkeypox, berdasarkan asumsi dari masing-masing model. Pada penelitian ini, dipilih lima penelitian berdasarkan kriteria inklusi yang mencakup pertanyaan penelitian, jenis desain, metode, hasil, dan kendala dalam setiap penelitian. Selanjutnya, penelitian ini merupakan penelitian *literature review* yang dilakukan untuk melihat sejauh mana model-model matematika tersebut memberikan solusi dalam hal pengendalian penyakit Monkeypox agar tidak menjadi endemik di masa mendatang. Dari hasil diketahui bahwa dengan memberikan perlakuan pada parameter interaksi (β) dapat mengendalikan penyebaran penyakit ini.

Kata Kunci:

Literature Review; Pemodelan Matematika; Monkeypox

ABSTRACT

Monkeypox disease is an infectious disease that can infect susceptible individuals through direct or indirect interaction with infected individuals and animals infected with the Monkeypox virus. mathematical modeling is a research approach that can be used in the control of infectious disease spread by modeling the disease's transmission dynamics. Several studies have been conducted to develop mathematical models that interpret the spread dynamics of Monkeypox disease, based on the assumptions of each respective model. In this study, five research papers were selected based on inclusion criteria that cover the research question, design type, methods, results, and constraints in each study. Furthermore, this study is a literature review conducted to observe the extent to which these mathematical models provide solutions for controlling Monkeypox disease so that it does not become endemic in the future. The results indicate that controlling the spread of the disease can be achieved by applying treatment to the interaction parameters (β).

Keywords:

Literature Review; Mathematical Modeling; Monkeypox

1. Pendahuluan

Monkeypox (cacar monyet) adalah penyakit zoonosis menular yang disebabkan oleh virus Orthopoxvirus. Infeksi ini awalnya menyebar dari hewan yang terinfeksi (khususnya primata dan hewan pengerat seperti monyet, tikus, atau tupai) ke manusia melalui kontak langsung dengan cairan tubuh mereka. Virus Monkeypox (MPXV) juga

memiliki kemampuan penularan antarmanusia, yang dapat terjadi melalui percikan liur (yang masuk melalui mata, hidung, mulut, atau luka terbuka di kulit) atau melalui kontak dengan benda-benda yang telah terkontaminasi, misalnya pakaian penderita [1]. Virus ini pertama kali ditemukan pada tahun 1958. Penyakit *Monkeypox* pertama kali teridentifikasi pada tahun 1958, ketika dua kasus wabah yang menyerupai cacar menyerang koloni monyet di penangkaran penelitian, sehingga inilah alasan penyakit ini dinamakan *Monkeypox*. Kasus infeksi pertama pada manusia baru dilaporkan pada tahun 1970 di Republik Demokratik Kongo [2]. Sejak saat itu, monkeypox telah menjadi penyakit endemik di berbagai negara di Afrika Tengah dan Barat. Hal ini sering terjadi di wilayah yang memiliki tingkat interaksi tinggi antara manusia dan hewan liar, terutama hewan pengerat yang merupakan reservoir alami utama bagi virus ini [3].

Dalam beberapa tahun terakhir, *Monkeypox* telah menarik perhatian dunia karena peningkatan kasus yang dilaporkan di luar benua Afrika [4]. Khususnya pada Mei 2022, penyebaran penyakit ini melonjak pesat dan meluas ke berbagai negara di seluruh dunia, menjangkau benua Eropa, Amerika, dan Asia [5]. Saat ini, sudah ada lebih dari 15.000 kasus yang tercatat, dengan transmisi yang semakin meningkat di luar wilayah Afrika [6]. Penularan virus ini tidak hanya terjadi melalui kontak langsung antara manusia dengan hewan yang terinfeksi, tetapi juga melalui kontak erat antarsesama manusia [7]. Meskipun gejala klinis monkeypox menyerupai cacar namun umumnya lebih ringan, penyakit ini tetap menjadi ancaman serius. Hal ini mengingat tingkat fatalitas (kematian) yang mencapai 1–10% di wilayah endemik, terutama di tempat yang memiliki keterbatasan akses terhadap fasilitas kesehatan [8].

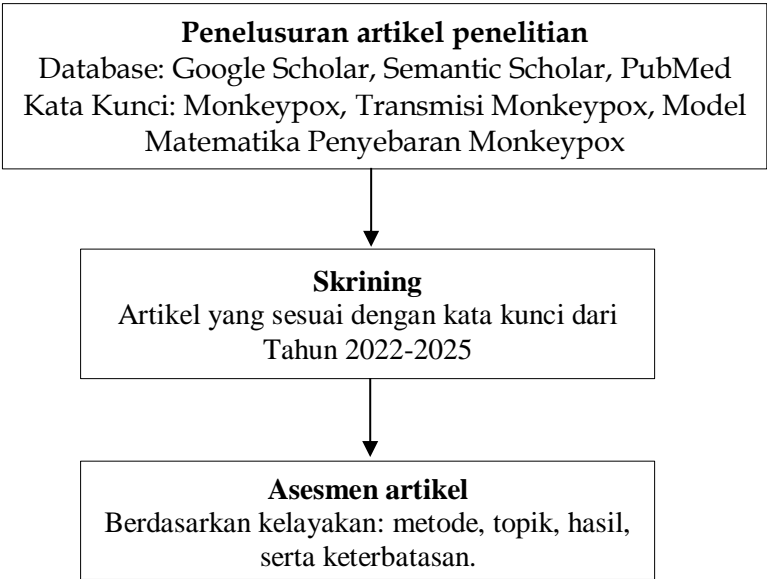
Pemodelan matematika epidemiologi memiliki peran penting dalam memahami dinamika dalam beberapa permasalahan. Model matematika yang dibangun adalah representasi dari kondisi sebenarnya [9]. Salah satu permasalahan yang dapat dimodelkan dengan model matematika adalah penyebaran penyakit termasuk *Monkeypox*, model matematika digunakan untuk memprediksi penyebaran dari penyakit tersebut. Selanjutnya, pada penelitian ini akan dilakukan *Literature Review* tentang pemodelan matematika penyebaran penyakit *Monkeypox* sebagai tujuan menambah pemahaman pembaca tentang dinamika transmisi penyakit ini jika ditinjau dari model matematika, yang dibangun untuk merepresentasikan dinamika tersebut.

2. Metode

Literature Review dilakukan melalui beberapa tahapan penelusuran (Lihat Gambar 1). Tahapan awal pada penelitian ini yaitu tahapan pencarian artikel yang dilakukan dengan memasukkan kata kunci Transmisi Monkeypox, Model Matematika Penyebaran Monkeypox. Dari penelusuran, diketahui bahwa telah banyak penelitian tentang penyakit ini oleh peneliti di bidang kesehatan, sedangkan untuk model matematika, penelitian tentang penyakit ini masih sangat terbatas. Pada pencarian awal, terdapat 10 penelitian tentang model matematika transmisi Monkeypox. Tahapan kedua yaitu skrining asesmen. Karena penelitian tentang model matematika penyakit Monkeypox masih sangat terbatas, maka dipilih 5 artikel dari keseluruhan artikel yang diperoleh. Pemilihan ini berdasarkan pada kesesuaian topik, kebaharuan, metode penelitian yang

digunakan, hasil, serta keterbatasan yang diperoleh. Berikut alur pencarian literatur yang disajikan pada Gambar 1.

Artikel yang telah lolos seleksi dipilih berdasarkan kriteria inklusi yang mencakup adanya pertanyaan penelitian, jenis desain, metode, hasil, dan kesimpulan yang relevan dengan tujuan penelitian. Selanjutnya, jurnal-jurnal terpilih diringkas dan disusun dalam bentuk tabel. Ringkasan ini mencakup data penting seperti nama peneliti, tahun terbit, negara penelitian, judul penelitian, metode yang digunakan, serta ringkasan temuan atau hasil utamanya. Setelah tabel ringkasan jurnal selesai disusun sesuai format tersebut, data yang ada akan diinterpretasikan kembali dan disajikan dalam bentuk narasi atau paragraf yang koheren.



Gambar 1. Alur penelusuran artikel

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Penelitian tentang Pemodelan Matematika Penyebaran Penyakit Monkeypox

Pada bagian ini akan ditunjukkan 5 artikel yang dipilih menjadi sampel dalam penelitian ini. Hasil tersebut disajikan dalam Tabel 1 yang isinya memuat judul artikel, nama peneliti, metode penelitian, tujuan penelitian, serta hasil yang diperoleh. Tabel 1 ditunjukkan sebagai berikut:

No.	Judul Artikel	Peneliti	Metode penelitian	Tujuan	Hasil
1.	Penerapan Metode Runge-Kutta Orde 4 pada Pemodelan Penularan Penyakit	Ludji & Buan (2022) [10]	Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah pemodelan matematika dan simulasi numerik	Mengetahui pola penyebaran cacar monyet melalui model matematika yang dibangun dan pemilihan parameter	Dari simulasi yang dilakukan dengan memvariasikan nilai parameter β_h (laju terinfeksi manusia dari

	Cacar Monyet		dengan metode Runge-Kutta Orde 4 (RK4).	berpengaruh dalam mengendalikan penyakit ini.	hewan), diketahui bahwa penyakit dapat dikendalikan dengan memperkecil laju infeksi rata-rata dari hewan ke manusia (β_h).
2.	Pengaruh Laju Penularan Penyakit dan Rata-Rata Kontak Individu pada Model Ko-infeksi HIV/AIDS dan Cacar Monyet (<i>Monkeypox</i>)	Luthfiani, dkk. (2022) [11]	Metode yang digunakan pemodelan matematika dan simulasi numerik menggunakan metode Runge-Kutta Orde 4	Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola penyebaran ko-infeksi HIV/AIDS dan cacar monyet. Tujuan lain yaitu untuk mengetahui hasil analisis sensitivitas parameter dalam hal pengendalian penyebaran penyakit ini.	Dari penelitian diperoleh hasil bahwa dengan mengendalikan nilai laju infeksi dari hewan ke manusia (β_h) dapat juga mengendalikan penyebaran penyakit ko-infeksi HIV/AIDS dan Cacar Monyet
3.	<i>Stability Analysis of Monkeypox Transmission Model by Administering Vaccine</i>	Arromadhani & Prawoto, (2023) [12]	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pemodelan matematika dengan simulasi numerik dengan metode Runge-Kutta Orde 4	Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis transmisi dari penyakit Monkeypox melalui pemodelan matematika yang dibangun. Selanjutnya, dilakukan simulasi numerik untuk mencari cara terbaik dalam mengontrol	Dari simulasi numerik yang dilakukan pada model matematika yang dibangun pada penelitian ini, diperoleh hasil bahwa semakin besar laju vaksinasi dan semakin rendah laju transmisi pada hewan dapat mengendalikan penyebaran

				penyebaran penyakit ini.	penyakit <i>Monkeypox</i> ini.
4.	Strategi Kontrol Optimal pada Model Dinamika Penyebaran Cacar Monyet (<i>Monkeypox</i>)	Suhika (2025) [13]	Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah pemodelan matematika model SEIR. Selanjutnya dilakukan simulasi numerik dengan metode RK4 dengan kontrol optimal prinsip Maksimum Pontryagin	Penelitian ini bertujuan dalam menggambarkan proses transmisi penyakit <i>Monkeypox</i> dengan menggunakan pemodelan matematika model SEIR. Selain itu, dengan menggunakan kontrol optimal ditentukan skenario terbaik dalam memperkecil individu yang terinfeksi penyakit ini.	Dari hasil diketahui bahwa skenario terbaik dalam mengontrol penyebaran penyakit ini dengan diterapkannya karantina dan kampanye, dengan menggunakan pendekatan prinsip maksimum Pontryagin.
5.	Stability analysis of Monkeypox virus transmission dynamics using the SEIVR approach	Setyowisnu, dkk. (2025) [14]	Metode yang dilakukan adalah pemodelan matematika model SEIVR dengan simulasi numerik menggunakan metode RK4	Penelitian ini bertujuan untuk memahami transmisi penyakit <i>Monkeypox</i> dengan pendekatan model matematika dan bilangan reproduksi dasar. Tujuan lain yaitu untuk mengetahui pengaruh variabel vaksinasi dalam mengontrol penyebaran penyakit tersebut.	Dari hasil simulasi numerik pada penelitian ini, diketahui bahwa vaksinasi tidak memberikan pengaruh yang signifikan dalam pengendalian penyakit <i>Monkeypox</i> .

3.2 Tahapan Penelitian pada Pemodelan Matematika Penyebaran Penyakit Monkeypox

Pada 5 artikel yang dipilih, memiliki tahapan penelitian yang relatif sama. Pertama-tama akan diformulasikan model matematika yang menginterpretasikan penyebaran penyakit *Monkeypox*. Dari setiap model matematika yang dibangun ditentukan titik kesetimbangan dengan mengasumsikan $N(t) = 0$. Selanjutnya diperoleh dua titik kesetimbangan yaitu titik kesetimbangan bebas penyakit atau ketika $I = 0$ dan/atau $E = 0$, selanjutnya titik kesetimbangan endemik atau kondisi ketika $I \neq 0$ dan/atau $E \neq 0$. Langkah selanjutnya, ditentukan bilangan reproduksi dasar (R_0) untuk mengukur peluang penyebaran penyakit *Monkeypox* di masa yang akan datang. Diketahui bahwa ketika $R_0 > 1$ maknanya setiap individu yang terinfeksi dapat menularkan penyakit *Monkeypox* ke lebih dari 1 individu lain, sehingga penyebaran penyakit ini akan semakin meluas (kondisi epidemik). Di sisi lain, ketika $R_0 < 1$ maknanya setiap individu yang terinfeksi dapat menginfeksi kurang dari 1 individu setiap harinya, maknanya pada masa yang akan datang penyakit *Monkeypox* akan hilang dari populasi (kondisi bebas penyakit). Kemudian akan dilakukan pengujian kestabilan dari setiap titik kesetimbangan yang diperoleh dan keterkaitannya dengan bilangan reproduksi dasar. Selanjutnya, pada setiap penelitian yang dipilih menggunakan metode Runge-Kutta 4 dalam simulasi numerik, dengan penentuan nilai parameter berasal dari asumsi peneliti atau berasal dari referensi pada penelitian sebelumnya. Selanjutnya, beberapa penelitian melakukan kontrol optimal untuk mengetahui skenario terbaik dalam mengendalikan penyebaran penyakit ini. Dari simulasi numerik, penentuan bilangan reproduksi dasar, dan kontrol optimal yang dilakukan maka akan diperoleh regulasi terbaik untuk menurunkan kelompok populasi terinfeksi penyakit *Monkeypox*.

3.3 Formulasi Model Matematika Penyebaran Penyakit Monkeypox

Ludji & Buan pada tahun 2022 memformulasikan model matematika penyebaran penyakit *Monkeypox* menjadi 4 kelompok subpopulasi manusia dan 2 kelompok subpopulasi vektor. Untuk manusia, kompartemen pertama yaitu untuk kelompok individu yang rentan terhadap penyakit *Monkeypox* (S_h), selanjutnya kelompok individu yang terpapar atau telah terinfeksi namun belum dapat menularkan penyakit (E_h), kelompok individu yang terinfeksi dan dapat menularkan penyakit *Monkeypox* ke individu lain (I_h), dan kelompok individu yang sembuh dari penyakit (R_h). Sedangkan pada vektor, pertama populasi vektor yang rentan (S_v) dan populasi vektor yang mengandung virus *Monkeypox* dan dapat menularkan virus ini kepada manusia (I_v).

Luthfiani, dkk. pada tahun 2022 mengembangkan model transmisi penyakit *Monkeypox* dengan mempertimbangkan ko-infeksi HIV/AIDS pada model, karena pada penelitian ini dijelaskan bahwa kedua penyakit tersebut memiliki keterkaitan satu sama lain. Pada penelitian ini, populasi hewan dibagi menjadi 3 populasi yaitu kelompok rentan (S_n), kelompok yang sedang terinfeksi (I_n), dan kelompok yang sembuh (R_n). Sementara itu, populasi manusia terbagi menjadi 9 kelompok yaitu kelompok individu rentan (S), penderita *Monkeypox* (I_m), sembuh dari *Monkeypox* (R_m), individu yang terinfeksi HIV namun belum memasuki fase AIDS (I_h), individu dengan HIV yang sudah berkembang menjadi AIDS (A_h), penderita *Monkeypox* sekaligus HIV tanpa gejala AIDS (I_{hm}), penderita *Monkeypox* dan HIV yang telah memasuki tahap AIDS (A_{hm}), orang yang sembuh dari *Monkeypox* tetapi tetap positif HIV tanpa gejala AIDS (R_{hm}), serta mereka yang sembuh dari *Monkeypox* namun hidup dengan HIV pada fase AIDS (R_{am}). Model matematika yang digunakan mengadopsi kerangka SIR (*Susceptible, Infected, Recovered*) untuk menggambarkan dinamika infeksi pada populasi hewan dan manusia.

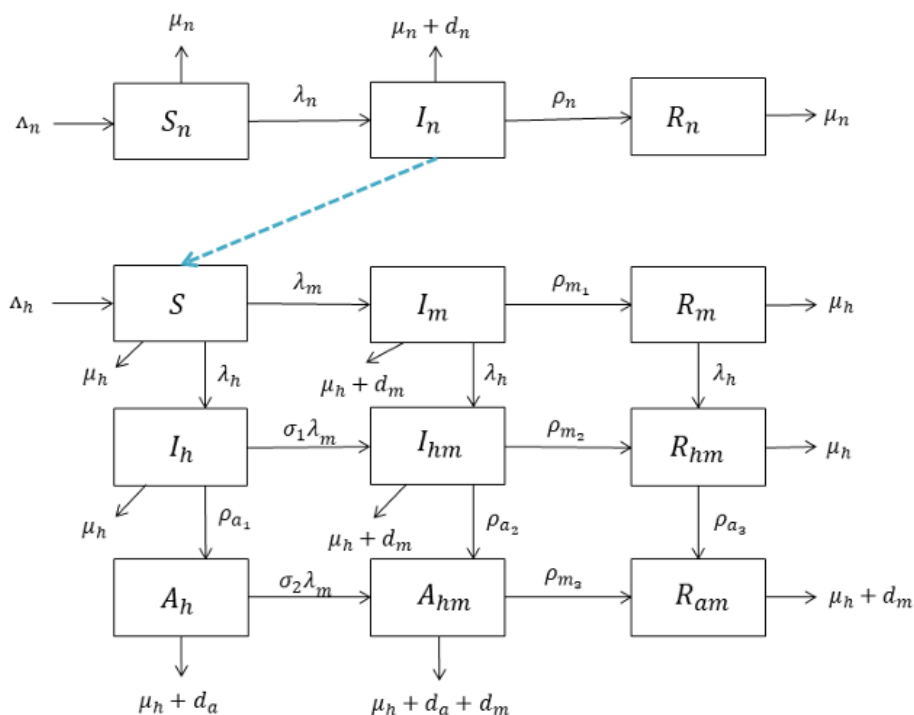
Arromadhani & Prawoto pada tahun 2023 mengembangkan model matematika VSIR untuk penyebaran penyakit *Mongkeypox*. Model dibagi menjadi dua populasi yaitu manusia dan hewan dengan 6 subpopulasi (kompartemen). Subpopulasi manusia yaitu, kelompok individu yang telah memperoleh vaksin (V_m), individu rentan (S_m), individu terinfeksi (I_m), dan individu sembuh (R_m). Sedangkan untuk kompartemen hewan dibagi menjadi 2, Hewan yang rentan (S_h) dan hewan yang terinfeksi dan dapat menularkan penyakit *Monkeypox* (I_h), di mana $N_m = S_m + V_m + I_m + R_m$ adalah total populasi manusia dan $N_h = S_h + I_h$ adalah total populasi hewan.

Suhika pada tahun 2025 menggunakan model SEIR dalam menggambarkan dinamika penyebaran penyakit *Monkeypox*. Selanjutnya pada penelitian ini, diasumsikan bahwa setiap individu dalam populasi memiliki risiko yang sama untuk tertular penyakit tersebut. Selain itu, dari penelitian ini diketahui bahwa penyebaran *Monkeypox* hanya melalui kontak langsung antara individu yang rentan (S) dan individu yang terinfeksi (I), tanpa mempertimbangkan sumber penularan hewan. Kemudian diberikan perlakuan berupa kontrol optimal berupa karantina (u_1) dan kampanye kesehatan (u_2) yang diasumsikan mampu mempengaruhi laju transmisi secara langsung berdasarkan nilai optimal kontrol yang diperoleh.

Setyowisnu, dkk pada tahun 2025 memodifikasi model SEIR dengan menambahkan kompartemen individu yang melakukan vaksin (V). Model SEIVR yang dibangun diasumsikan bahwa proses transmisi penyakit hanya melalui manusia sehingga pada penelitian ini, populasi hewan diabaikan, selain itu, asumsi lain ditambahkan yakni individu yang telah memperoleh vaksin, tidak dapat terinfeksi virus *Monkeypox*, dan individu yang telah sembuh dari penyakit ini tidak dapat terinfeksi kembali.

3.4 Dinamika Penyebaran Penyakit *Monkeypox* Berdasarkan Model Matematikanya

Dari model matematika yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa setiap individu yang baru lahir akan langsung masuk pada populasi yang rentan dan terjadi kematian alami ada setiap kompartemen dengan tambahan kematian akibat penyakit *Monkeypox* pada kompartemen individu terinfeksi. Selanjutnya individu rentan dapat terinfeksi penyakit *Monkeypox* apabila melakukan interaksi baik dengan individu terinfeksi ataupun dengan hewan yang terinfeksi virus *Monkeypox*. Diketahui pula bahwa pada hewan, interaksi yang dimaksud bisa berupa interaksi langsung ataupun tidak langsung atau dengan mengonsumsi daging dari hewan yang terinfeksi virus *Monkeypox*. Individu yang terinfeksi dapat menularkan penyakit kepada individu rentan lainnya. Kemudian akan diberikan pengobatan pada individu yang telah terinfeksi dan akan dinyatakan sembuh sehingga berpindah ke kelompok individu yang sembuh dari penyakit *Monkeypox*. Selanjutnya dari kelima model yang dibangun terlihat perilaku yang sama pada individu yang telah sembuh dari penyakit ini, yaitu setiap individu yang sembuh tidak dapat terinfeksi kembali akibat kekebalan tubuh yang muncul terhadap penyakit ini. Selanjutnya, berdasarkan penelitian yang dilakukan Luthfiani, dkk. pada tahun 2022 menunjukkan fakta lain tentang terdapat keterkaitan antara penyakit HIV/AIDS dengan penyakit *Monkeypox*. Sehingga pada Gambar 2 akan ditunjukkan skema ko-infeksi HIV/AIDS dan *Monkeypox*.



Gambar 2. Skema ko-infeksi HIV/AIDS dan *Monkeypox* oleh Luthfiani, dkk. [11]

Dari model yang dibangun diketahui bahwa individu yang terinfeksi HIV/AIDS akan memiliki kerentanan yang tinggi terhadap infeksi virus *Monkeypox* dan virus pada individu yang terinfeksi ganda, HIV/AIDS dan *Monkeypox*, akan lebih mudah menular. Selain itu diketahui bahwa individu yang telah masuk pada tahap AIDS akan lebih mudah menularkan penyakit *Monkeypox* jika dibandingkan dengan individu yang terinfeksi HIV namun belum pada tahap AIDS.

3.5 Simulasi Numerik dan Skenario dalam Pengendalian Penyebaran Penyakit *Monkeypox*

Simulasi numerik dilakukan berdasarkan hasil pengujian stabilitas pada titik kesetimbangan yang diperoleh. Simulasi numerik ini dilakukan untuk mengukur pengaruh suatu parameter tertentu terhadap perubahan setiap populasi. Dari hasil simulasi pada setiap penelitian diketahui bahwa, penyakit *Monkeypox* akan tetap ada pada masa yang akan datang, sehingga perlu diberikan perlakuan yang dapat mengendalikan penyebaran penyakit ini. Berdasarkan hasil simulasi numerik, diketahui bahwa interaksi (β) merupakan faktor utama penyebaran penyakit *Monkeypox*. Hal terlihat dari pemberian nilai parameter β yang beragam, diketahui bahwa nilai parameter β memiliki hubungan positif dengan nilai bilangan reproduksi dasar (R_0), maknanya semakin besar nilai parameter β maka semakin besar pula nilai bilangan reproduksi dasarnya. Sehingga parameter β menjadi salah satu parameter yang dipilih untuk dikontrol sebagai upaya pengendalian penyakit ini [10-14]. Kemudian diketahui pula bahwa dengan penambahan kompartemen vaksinasi dapat menjadi solusi tambahan dalam hal pengendalian penyakit ini [11,13]. Sehingga diperlukan skenario yang memungkinkan untuk dilakukan dalam keadaan nyata sehingga dapat menurunkan interaksi dan meningkatkan populasi individu yang melakukan vaksinasi. Salah satu skenario yang bisa dilakukan yaitu dengan kampanye atau pemberian edukasi kepada masyarakat tentang bahaya penyakit *Monkeypox*, proses transmisinya,

gejala individu yang terinfeksi, dan pentingnya melakukan vaksinasi sebagai upaya pencegahan terinfeksi penyakit tersebut.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pada *Literature Review* yang telah peneliti lakukan, diketahui bahwa penyakit Monkeypox merupakan penyakit menular yang memungkinkan menjadi endemik pada masa mendatang. Selain itu, berdasarkan model matematika yang dibangun, diketahui bahwa transmisi penyakit tersebut pada dasarnya melibatkan dua populasi yaitu populasi manusia dan hewan dengan kompartemen utama yaitu kelompok rentan (S), kelompok terinfeksi (I), dan kelompok sembuh (R). Selanjutnya, terdapat dua kondisi pada populasi yaitu kondisi bebas penyakit dan endemik. Beberapa perlakuan dilakukan dalam hal mencapai kondisi bebas penyakit tersebut. Dari simulasi numerik yang dilakukan, diperoleh hasil bahwa dengan mengendalikan parameter interkasi dan jumlah individu yang melakukan vaksinasi dapat mengontrol penyebaran penyakit ini. Sehingga diperoleh kesimpulan bahwa pemerintah perlu melakukan kebijakan berupa kampanye atau memberikan edukasi kepada masyarakat tentang penyakit *Monkeypox*.

Selanjutnya dari studi literatur yang kami lakukan, diketahui bahwa masih sangat kurangnya penelitian khususnya pemodelan matematika tentang penyakit ini, dan berdasarkan dari kriteria penyebaran penyakit *Monkeypox*, masih banyak hal yang dapat diperbaiki dari model yang telah ada. Sehingga masih banyak hal penting yang dapat menjadi kajian lanjutan perihal penyakit *Monkeypox* khususnya dari segi pemodelan matematikanya.

Referensi

- [1] L. Qelina and R. Graharti, "Human Monkeypox virus: Respon kesiapan darurat dunia," *Medula*, vol. 9, no. 03, 2019.
- [2] O. Mitjà *et al.*, "Monkeypox," *The Lancet*, vol. 401, no. 10370, pp. 60–74, 2023.
- [3] D. E. Martínez-Fernández *et al.*, "Human Monkeypox: a comprehensive overview of epidemiology, pathogenesis, diagnosis, treatment, and prevention strategies," *Pathogens*, vol. 12, no. 7, p. 947, 2023.
- [4] Y. H. Luo *et al.*, "Monkeypox: An outbreak of a rare viral disease," *Journal of Microbiology, Immunology and Infection*, vol. 57, no. 1, pp. 1–10, 2024.
- [5] J. Ferdous *et al.*, "A review on monkeypox virus outbreak: new challenge for world," *Health Science Reports*, vol. 6, no. 1, e1007, 2023.
- [6] M. Sari and N. Hairunisa, "A review of the monkeypox outbreak in Indonesia in 2022," *Jurnal Kedokteran Diponegoro*, vol. 11, no. 5, pp. 268–274, 2022.
- [7] E. Alakunle *et al.*, "A comprehensive review of monkeypox virus and mpox characteristics," *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, vol. 14, 1360586, 2024.
- [8] M. Banuet-Martinez *et al.*, "Monkeypox: a review of epidemiological modelling studies and how modelling has led to mechanistic insight," *Epidemiology & Infection*, vol. 151, e121, 2023.

- [9] A. Bani and S. Toaha, "Stability analysis of SCPUR mathematical model for the spread of COVID-19 (corona virus disease-19)," *J. Math. Comput. Sci.*, vol. 11, no. 4, pp. 4082–4103, 2021.
- [10] D. G. Ludji and F. C. H. Buan, "Penerapan metode Runge-Kutta orde 4 pada pemodelan penularan penyakit cacar monyet," *Jurnal Saintek Lahan Kering*, vol. 5, no. 2, pp. 24–26, 2022.
- [11] D. D. Luthfiani *et al.*, "Pengaruh laju penularan penyakit dan rata-rata kontak individu pada model ko-infeksi HIV/AIDS dan cacar monyet (Monkeypox)," *MILANG Journal of Mathematics and Its Applications*, vol. 18, no. 1, pp. 29–39, 2022.
- [12] L. Arromadhani and B. P. Prawoto, "Stability Analysis of Monkeypox Transmission Model by Administering Vaccine," *Numerical: Jurnal Matematika dan Pendidikan Matematika*, vol. 7, no. 1, pp. 195–210, 2023.
- [13] G. E. Setyowisnu *et al.*, "Stability analysis of Monkeypox virus transmission dynamics using the SEIVR approach," *Journal of Evidence-based Nursing and Public Health*, vol. 2, no. 2, pp. 138–154, 2025.
- [14] D. Suhika, "Strategi kontrol optimal pada model dinamika penyebaran cacar monyet (Monkeypox)," *JOSTECH Journal of Science and Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 47–56, 2025.