

Analisis Kestabilan Model Seir Pada Penyebaran Penyakit Malaria Dengan 2 Tingkat Penyebaran Infeksi Yang Berbeda

Rizka Rizqi Robby

Program Studi Matematika, Universitas Nahdlatul Ulama Blitar

Corresponding Author: Rizka Rizqi Robby, e-mail: rizka.ertiga@gmail.com

Published: August, 2025

ABSTRAK

Malaria merupakan penyakit menular yang dapat bersifat akut maupun kronis, yang disebabkan oleh protozoa dari genus *Plasmodium*. Para ahli menyatakan bahwa penyakit ini menyerang sel darah merah (eritrosit) dan dapat menimbulkan kondisi serius yang berlangsung lama. Infeksi malaria dapat diidentifikasi melalui keberadaan parasit *Plasmodium* dalam darah. Berdasarkan World Malaria Report 2018 yang dirilis Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), tercatat sekitar 212 juta kasus malaria di dunia, dengan jumlah kematian mencapai ratusan ribu jiwa (Sriporo, K., dkk., 2020). Penularan terjadi melalui gigitan nyamuk *Anopheles* betina yang membawa parasit tersebut, dan infeksi ini berpotensi mematikan (Talapko, J., dkk., 2019). Di Indonesia, data Kemenkes tahun 2022 menunjukkan adanya 415.140 kasus malaria. Untuk memahami dinamika penyebarannya, berbagai model matematika telah digunakan, di antaranya model epidemi SIR (Susceptible-Infected-Recovered) dan SEIR (Susceptible-Exposed-Infected-Recovered) (Roni, 2011). Penelitian ini memfokuskan pada penerapan model SEIR dalam memodelkan penularan malaria, karena penyakit ini dapat menginfeksi kelompok rentan (susceptible) hingga memasuki fase laten tanpa gejala sebelum berkembang menjadi fase infeksi aktif.

Kata Kunci: Malaria, *Plasmodium*, Nyamuk *Anopheles*, Model Matematika, Model SEIR, Analisis Kestabilan, Simulasi Numerik.

ABSTRACT

Malaria is an acute or chronic disease caused by protozoa of the genus *Plasmodium*. According to many experts now, malaria is a serious or chronic disease caused by *Plasmodium*, a parasite that kills red blood cells, and a small amount of malaria is present in the blood. According to population data from the World Malaria Report 2018 provided by the World Health Organization (WHO), 212 million people died of malaria worldwide (Sriporo, K., et al., 2020). When humans are bitten by female *Anopheles* mosquitoes carrying the *Plasmodium* parasite, they become infected with malaria, an infectious disease that can be fatal (Talapko, J., et al., 2019). According to the Ministry of Health (Kemenkes), 415,140 people will die of malaria in 2022. Roni (2011) believes that the mathematical models to analyze the spread of the disease are the epidemic models SIR (susceptible- infected-recovered), SEIR (susceptible-exposed-infected-recovered), etc. This study discusses the application of the SEIR method for mathematical modeling of malaria transmission. This sample was chosen because malaria infects vulnerable populations. Sometimes malaria spreads without symptoms.

Keyword: Malaria, *Plasmodium*, *Anopheles* Mosquito, Mathematical Model, SEIR Model, Stability Analysis, Numerical Simulation.

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

PENDAHULUAN

Malaria merupakan penyakit menular yang disebabkan oleh protozoa dari genus *Plasmodium* dan dapat berlangsung dalam bentuk akut maupun kronis. Penyakit ini sering memunculkan gejala seperti demam, anemia, dan pembesaran limpa. Menurut pendapat para ahli, malaria adalah infeksi pada sel darah merah (eritrosit) yang ditandai dengan keberadaan bentuk aseksual *Plasmodium* di dalam darah, disertai gejala seperti demam, menggigil, anemia, dan hepatosplenomegali (Fitriany & Sabiq, 2018). Berdasarkan World Malaria Report 2018 yang diterbitkan Organisasi Kesehatan Dunia (WHO),

diperkirakan terdapat sekitar 212 juta kasus malaria di seluruh dunia, dengan 435.000 kematian akibat penyakit ini (Sriporo, K., et al., 2020). Penularan terjadi melalui gigitan nyamuk *Anopheles* betina yang telah terinfeksi *Plasmodium*, dan penyakit ini berpotensi menyebabkan kematian (Talapko, J., et al., 2019). Nyamuk *Anopheles* lebih menyukai daerah tropis dan subtropis, termasuk Indonesia. Menurut data Kementerian Kesehatan, pada tahun 2022 tercatat 415.140 kasus malaria, meningkat 36,29% dibandingkan tahun sebelumnya (Widi, 2023).

Mengingat tingginya angka penyebaran malaria, diperlukan langkah pencegahan yang efektif agar penyakit ini tidak semakin meluas. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah vaksinasi. Vaksinasi adalah proses pemberian antigen ke dalam tubuh untuk merangsang terbentuknya kekebalan aktif terhadap penyakit tertentu. Parera dkk. (2012) mengemukakan bahwa metode vaksinasi terbaik adalah membuat seseorang yang belum pernah terpapar *Plasmodium* menjadi kebal melalui pemberian parasit yang telah dilemahkan. Bentuk sporozoit dipilih karena menyerupai tahap parasit yang secara alami menginfeksi tubuh manusia. Selain vaksinasi, kemajuan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang matematika, juga memiliki kontribusi dalam upaya pengendalian malaria.

Model matematika dapat digunakan untuk memahami pola dan dinamika penyebaran malaria di suatu populasi. Model ini menggambarkan hubungan antar komponen masalah dalam bentuk persamaan matematis yang melibatkan berbagai variabel relevan (Side & Rangkuti, 2015). Roni (2011) menyatakan bahwa beberapa model yang sering digunakan untuk menganalisis penyebaran penyakit adalah model epidemi SIR (*Susceptible-Infected-Recovered*) dan SEIR (*Susceptible-Exposed-Infected-Recovered*) (Side, Zaki, & Sari, 2018). Model SEIR dibangun dengan asumsi tertentu yang kemudian dianalisis untuk mendapatkan gambaran yang sesuai dengan kondisi nyata. Pendekatan ini tidak hanya terbatas pada masalah kesehatan, tetapi juga digunakan pada berbagai bidang seperti kimia, biologi, dan ilmu terapan lainnya (Ulfa, 2013).

Penelitian ini membahas pemodelan matematika penyebaran malaria dengan menggunakan pendekatan model SEIR. Model ini mempertimbangkan adanya proses kelahiran dan kematian alami dalam populasi, dengan asumsi bahwa laju kelahiran setara dengan laju kematian alami. Formulasi model dibangun untuk membagi populasi menjadi empat kelompok, yaitu *Susceptible* (S), *Exposed* (E), *Infected* (I), dan *Recovered* (R). Pemilihan model SEIR didasarkan pada kemampuan malaria untuk menginfeksi individu yang rentan (*Susceptible*) menjadi *Exposed*. Pada fase *Exposed*, individu telah terinfeksi namun belum menunjukkan gejala atau berada dalam masa laten, kemudian berkembang menjadi *Infected*. Selanjutnya, individu yang terinfeksi dan mampu pulih akan masuk ke kelompok *Recovered*. Dalam penelitian ini, analisis dilakukan untuk menentukan titik ekuilibrium bebas penyakit, menghitung nilai bilangan reproduksi dasar (*basic reproduction number*), serta mengkaji kestabilan sistem di sekitar titik ekuilibrium tersebut. Melalui analisis ini, dapat diketahui perbedaan pola penyebaran malaria pada kasus dengan penularan cepat (sukses) dan penularan yang berlangsung lambat (terinkubasi). Tahap akhir penelitian mencakup simulasi guna menentukan rasio kesembuhan yang diperlukan agar

malaria dapat dieliminasi dari populasi.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian dalam studi ini diawali dengan kajian literatur mengenai model SEIR, yang menjadi acuan utama dalam pengembangan model yang digunakan. Secara umum, tahapan metodologi penelitian ini terdiri atas:

1. Menyusun asumsi dasar dan membangun model matematika dengan merujuk pada penelitian-penelitian terdahulu.
2. Mengkonstruksi model epidemi SEIR yang relevan dengan studi kasus yang diangkat, serta melakukan pengembangan dari model yang telah ada sebelumnya.
3. Menentukan solusi dari model yang dikembangkan, termasuk melakukan analisis kestabilan sistem.
4. Melakukan simulasi numerik untuk mengamati perilaku model.

Empat tahapan tersebut dimulai dengan pembuatan asumsi sebagai dasar pembentukan maupun pengembangan model, dengan tetap memperhatikan kesesuaian terhadap model dari penelitian sebelumnya. Tahap berikutnya adalah merancang model SEIR yang disesuaikan dengan kasus penelitian, sekaligus melakukan modifikasi agar lebih sesuai dengan kondisi yang diteliti. Terakhir, simulasi numerik dijalankan untuk menganalisis dinamika populasi yang dihasilkan oleh model yang telah dikembangkan.

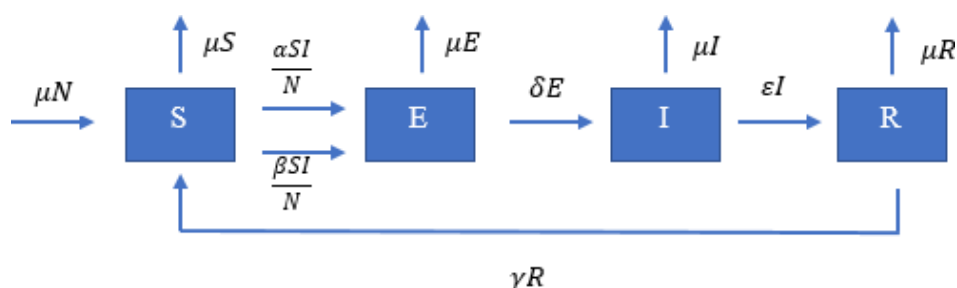
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini membahas model matematika pada penyebaran penyakit Malaria dengan 2 tingkat penyebaran infeksi yang berbeda. Kelas populasi dibagi menjadi 4 kelompok yaitu Susceptible (S) yang merupakan kelompok individu yang rentan terinfeksi penyakit Malaria, Exposed (E) merupakan kelompok individu yang terinkubasi penyakit Malaria (biasa disebut periode laten) akan tetapi belum memiliki gejala yang menunjukkan bahwa mereka terkena penyakit Malaria, Infected (I) merupakan kelompok individu yang terinkubasi penyakit Malaria dan telah menunjukkan gejala-gejala bahwa mereka sudah terinfeksi atau tertular penyakit Malaria, dan Recovery (R) merupakan kelompok individu yang sudah sembuh dari penyakit Malaria. Berikut adalah asumsi-asumsi yang digunakan dalam membuat model SEIR.

1. Jumlah populasi konstan.
2. Laju kelahiran sama dengan laju kematian
3. Perubahan individu susceptible, Exposed, Infected, dan receptible proporsional terhadap jumlah populasi

4. Populasi kelas individu Susceptible rentan terpapar penyakit Malaria.
5. Setiap individu rentan memiliki sistem kekebalan yang berbeda-beda sehingga proses penularan penyakit Malaria juga dapat dipengaruhi.
6. Penularan penyakit Malaria hanya terjadi melalui kontak langsung antara Individu rentan dengan Individu yang terinfeksi penyakit Malaria.
7. Individu kelas *Exposed* adalah individu rentan yang telah mendapat paparan atau penularan penyakit Malaria dengan 2 jenis ppenularan yang berbeda.
8. Penularan penyakit Malaria ada 2 jenis, yakni penularan sukses dan penularan terinkubasi.
9. Penularan sukses adalah proses penularan penyakit Malaria yang nantinya hanya memerlukan sedikit waktu untuk penularan penyakitnya.
10. Penularan terinkubasi adalah proses penularan penyakit Malaria yang membutuhkan waktu cukup lama untuk penularan penyakitnya. Dimana individu tertular tidak menimbulkan gejala-gejala terinfeksi dan individu tersebut masih dapat beraktivitas layaknya individu sehat atau tidak terjangkit penyakit Malaria.
11. Hanya ada 1 penyakit yang menyebar dalam populasi yaitu penyakit Malaria.
12. Kematian yang terjadi pada masing-masing kelas kelas (susceptible, *Exposed*, *Infected*, dan rececptible) hanya kematian alami.
13. Setiap individu yang sembuh tidak memiliki kekebalan permanen, sehingga dapat menjadi individu rentan kembali.

Berdasarkan asumsi-asumsi yang telah diberikan, maka diperoleh diagram model matematika penyebaran penyakit Malaria sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram Kompartment Model SEIR Penyakit Malaria

Berdasarkan diagram diatas diperoleh sistem persamaan differensial sebagi berikut.

$$\begin{aligned}
\frac{dS}{dt} &= \mu N + \gamma R - \left(\left(\frac{\alpha + \beta}{N} \right) I + \mu \right) S \\
\frac{dE}{dt} &= \left(\frac{\alpha + \beta}{N} \right) IS - (\delta + \mu) E \\
\frac{dI}{dt} &= \delta E - (\epsilon + \mu) I \\
\frac{dR}{dt} &= \epsilon I - (\mu + \gamma) R
\end{aligned}
\tag{1}$$

Berikut merupakan tabel yang berisi parameter dan variabel yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 1 Parameter dalam Model SEIR

No.	Parameter	Keterangan
1.	α	Tingkat penularan sukses dari Infected terhadap Susceptible
2.	β	Tingkat penularan terinkubasi dari Infected terhadap Susceptible
3.	δ	Laju perubahan kondisi terinkubasi menjadi terinfeksi
4.	ϵ	Laju perubahan kondisi terinfeksi menjadi sembuh
5.	γ	Laju perubahan kondisi sembuh menjadi rentan
6.	μ	Laju kelahiran atau kematian alami yang tidak disebabkan oleh penyakit Malaria
7.	S	Jumlah individu rentan terhadap penyakit Malaria
8.	E	Individu terinkubasi penyakit Malaria
9.	I	Individu yang terinfeksi penyakit Malaria
10.	R	Individu yang sembuh dari penyakit Malaria
11.	N	Jumlah populasi manusia

Diperoleh dua titik kesetimbangan pada persamaan (1) yang disimbolkan P_0 dan P_1 . Titik kesetimbangan P_0 merupakan titik kesetimbangan bebas penyakit yang diperoleh sebagai berikut,

$$P_0 = (S, E, I, R) = (N, 0, 0, 0) \tag{2}$$

Sementara itu, titik kesetimbangan endemik P_1 adalah S^*, E^*, I^* , dan R^* yang memenuhi persamaan berikut,

$$\begin{aligned}
S^* &= \frac{(\delta + \mu)(s + \mu)N}{\delta(\alpha + \beta)} \\
E^* &= \frac{\mu(s + \mu)(\mu + \gamma)((\delta + \mu)(s + \mu) - \delta(\alpha + \beta))N}{\delta(\alpha + \beta)(\delta s - (\mu + \gamma)(\delta + \mu)(s + \mu))} \\
I^* &= \frac{\mu(\mu + \gamma)((\delta + \mu)(s + \mu) - \delta(\alpha + \beta))N}{(\alpha + \beta)(s\delta - (\mu + \gamma)(\delta + \mu)(s + \mu))}
\end{aligned}
\tag{3}$$

$$R^* = \frac{s\mu((\delta + \mu)(s + \mu) - \delta(\alpha + \beta))N}{(\alpha + \beta)(s\delta - (\mu + \gamma)(\delta + \mu)(s + \mu))}$$

Analisis kestabilan titik kesetimbangan P_0 dan P_1 akan dilakukan dengan mencari matriks jacobi, sehingga diperoleh matriks Jacobian untuk persamaan (1) adalah sebagai berikut,

$$J = \begin{bmatrix} -\left(\left(\frac{\alpha + \beta}{N}\right)I + \mu\right) & 0 & -\left(\frac{\alpha + \beta}{N}\right)S & \gamma \\ \left(\frac{\alpha + \beta}{N}\right)I & -(\delta + \mu) & \left(\frac{\alpha + \beta}{N}\right)S & 0 \\ 0 & \delta & -(\varepsilon + \mu) & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon & -(\mu + \gamma) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Substitusi titik kesetimbangan P_0 pada matriks jacobian pada persamaan (4), sehingga diperoleh $J(P_0)$ sebagai berikut,

$$J(P_0) = \begin{bmatrix} \lambda + \mu & 0 & -(\alpha + \beta) & \gamma \\ 0 & \lambda + (\delta + \mu) & (\alpha + \beta) & 0 \\ 0 & \delta & \lambda + (\varepsilon + \mu) & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon & \lambda + (\mu + \gamma) \end{bmatrix} \quad (5)$$

Berdasarkan matriks Jacobi pada persamaan (5), akan dilakukan pencarian nilai eigen dari dengan menyelesaikan $|J(P_0) - \lambda I| = 0$, sehingga diperoleh nilai eigen sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= -\mu \\ \lambda_2 &= -(\delta + \mu) \\ \lambda_3 &= -(\varepsilon + \mu) \\ \lambda_4 &= -(\mu + \gamma) \end{aligned} \quad (6)$$

Berdasarkan nilai eigen yang pada persamaan (6) dapat diamati bahwa nilai eigen tersebut bernilai negatif karena $\mu, \delta, \varepsilon, \gamma > 0$ dan dengan syarat $\alpha > \beta$ (akibat adanya penularan sukses dan penularan terinkubasi) sedemikian hingga berlaku $\lambda_{1,2,3,4} < 0$. Jadi, kestabilan titik kesetimbangan bebas penyakit P_0 stabil.

Selanjutnya, Substitusi titik kesetimbangan P_1 pada matriks jacobian (4) sehingga diperoleh nilai $J(P_1)$ sebagai berikut,

$$J(P_1) = \begin{bmatrix} \lambda + (A + \mu) & 0 & -\frac{(\delta + \mu)(\varepsilon + \mu)}{\delta} & \gamma \\ A & \lambda + (\delta + \mu) & \frac{(\delta + \mu)(\varepsilon + \mu)}{\delta} & 0 \\ 0 & \delta & \lambda + (\varepsilon + \mu) & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon & \lambda + (\mu + \gamma) \end{bmatrix} \quad (7)$$

dengan $A > 0$ didefinisikan sebagai berikut,

$$A = \frac{\mu(\mu + \gamma)((\delta + \mu)(\varepsilon + \mu) - \delta(\alpha + \beta))}{(\varepsilon\delta - (\mu + \gamma)(\delta + \mu)(\varepsilon + \mu))} \quad (8)$$

dengan menggunakan ekspansi kofaktor determinan pada persamaan (8) diperoleh polinomial

karakteristik sebagai berikut,

$$\alpha_0\lambda^4 + \alpha_1\lambda^3 + \alpha_2\lambda^2 + \alpha_3\lambda + \alpha_4 = 0 \quad (9)$$

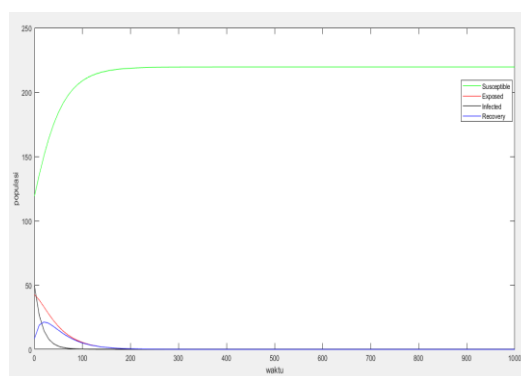
Berdasarkan kriteria Routh-Hurwit dimana akar-akar persamaan karakteristik bagian riil negatif jika memenuhi beberapa kriteria antara lain $a_1, a_2, a_3, a_4 > 0$, $a_1a_2 - a_3 > 0$, $a_1a_2a_3 - a_1^2a_4 - a_3^2 > 0$, dan $a_1a_2a_3a_4 > 0$. Maka sistem penyebaran penyakit malaria pada titik endemik akan bersifat stabil.

Simulasi numerik dilakukan untuk mengilustrasikan hasil analisis sistem. Simulasi numerik dilakukan dengan menggunakan Rungekutta orde 4 dan dilakukan secara maju berdasarkan waktu untuk menyelesaikan persamaan state. Parameter yang digunakan dalam simulasi penyebaran penyakit Malaria pada penelitian ini berdasarkan pada penelitian yang telah dilakukan oleh Hisyam dkk,2021 dan juga asumsi peneliti berdasarkan kondisi yang disimulasikan. Nilai awal yang digunakan yaitu, $N = 219.501$, $S(0) = 118.983$, $E(0) = 42.653$, $I(0) = 49.503$, $R(0) = 8.362$ dengan parameter pada Tabel 2. Sebagai berikut:

Tabel 2. Parameter Simulasi Numerik

Parameter	Stabil	Tak Stabil
α	0.4	0.4
β	0.02	0.02
δ	0.09	0.9
ε	0.025	0.025
γ	0.1	0.1
μ	0.14	0.14

Hasil simulasi numerik dapat disajikan pada grafik kestabilan titik tetap pada kondisi stabil berdasarkan pada gambar 2 berikut:



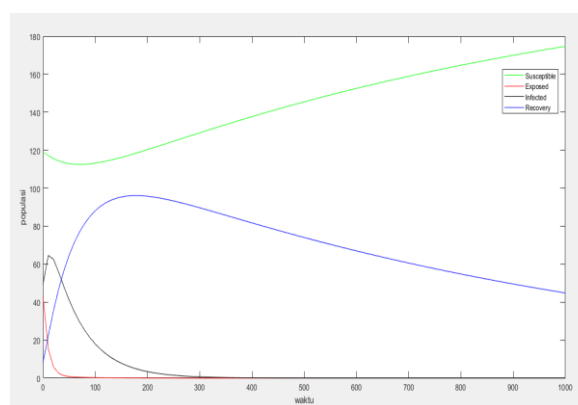
Gambar 2. Simulasi Numerik Keadaan Stabil

Pada bagian ini parameter yang diambil merupakan nilai-nilai yang diinginkan agar sistem stabil. Pada gambar diatas dapat dilihat bahwa grafik Susceptible, Exposed, Infected, dan Recovery menunjukkan ke arah setimbang dan sudah stabil. Laju Susceptible mengalami peningkatan yang terjadi mulai hari

pertama atau saat $t = 0$ dan sampai kurang lebih 200 hari atau $t = \pm 200$, setelah 200 hari sejak peningkatan dimulai maka grafik *Susceptible* tidak mengalami perubahan nilai atau sudah stabil. Sedangkan Laju *Exposed* mengalami penurunan seiring dengan berjalannya waktu. Laju *Infected* mengalami penurunan seiring dengan berjalannya waktu. Sedangkan laju *Recovery* hanya mengalami peningkatan di awal waktu dan setelah itu mengalami penurunan seiring berjalannya waktu. Laju *Exposed*, *Infected* dan *Recovery* grafiknya memiliki kesamaan yakni mengalami penurunan dan grafik-grafiknya tidak berubah nilai ketika waktu sekitar pertengahan hari ke 100 sampai 200 hari. Sehingga penyebaran penyakit Malaria pada 1000 hari kedepan akan semakin sedikit dan lama-lama akan menghilang dari populasi.

Sementara itu, hasil simulasi numerik dalam keadaan tak stabil disajikan pada gambar 3 berikut:

Gambar 3. Simulasi Numerik Keadaan tak stabil



Berdasarkan nilai parameter yang diperoleh jelas bahwa model penyebaran penyakit Malaria ini bersifat tidak stabil. Seperti terlihat pada Gambar 3 diatas bahwa banyaknya individu *Recovery* mengalami penurunan secara terus menerus. Hal tersebut menyebabkan jumlah individu *Susceptible* meningkat sejak kondisi awal. Selain itu individu yang masuk dalam kelas *Infected* juga mengalami penurunan hingga tidak ada lagi kasus *Exposed* dan *Infected*. Pada Gambar 3. juga nampak bahwa *Exposed*, *Infected*, dan *Recovery* tidak menyinggung grafik *Susceptible* sama sekali. Oleh karena itu, pada kondisi tidak stabil titik kesetimbangan tidak dapat mencerminkan kondisi yang terjadi sebenarnya.

Berdasarkan perhitungan simulasi dapat disimpulkan bahwa saat kondisi stabil jika laju SEIR bergerak menuju nol dalam kurun waktu tertentu. Kemudian mengalami ketidakstabilan jika laju SEIR tidak mengalami penurunan dalam kurun waktu yang lama. Sehingga saat kondisi stabil semua individu yang beresiko terpapar penyakit baik ditularkan secara sukses maupun terinkubasi, dan juga terinfeksi akan sembuh dalam kurun waktu yang cepat. Sedangkan saat kondisi tidak stabil, semua individu yang beresiko terpapar penyakit Malaria baik secara sukses maupun terinkubasi akan sembuh dalam kurun waktu yang jauh lebih lama. Upaya pencegahan yang dapat dilakukan agar dapat menekan penyebaran penyakit Malaria adalah dengan menerapkan kondisi pola hidup sehat. Kemudian untuk pemberi kebijakan dapat mengupayakan pemberian vaksin, melakukan fogging, dan memeberikan edukasi kepada masyarakat untuk menjaga kebersihan lingkungan.

KE Simpulan

Konstruksi model penyakit malaria yang diperoleh berdasarkan sumber-sumber terkait. Pengamatan pada model menghasilkan dua titik tetap yaitu titik tetap bebas penyakit yang akan terjadi dengan berlakunya $\lambda_1 = -\mu, \lambda_2 = -(\delta + \mu), \lambda_3 = -(\varepsilon + \mu)$, dan $\lambda_4 = -(\mu + \gamma)$ dan untuk yang endemiknya yaitu $a_1, a_2, a_3, a_4 > 0, a_1 a_2 a_3 a_4 > 0$ dimana $a_1 a_2 > a_3$ dan $a_1 a_2 a_3 > a_1^2 a_4 + a_3^2$. Berdasarkan hasil simulasi numerik menunjukkan bahwa laju penyebaran penyakit Malaria berpengaruh dalam menentukan titik kestabilan penyakit, adanya penularan sukses dalam model penyakit Malaria mengakibatkan meningkatnya penyebaran penyakit Malaria dalam populasi. Semakin tinggi laju penularan penyakit maka penyakit Malaria akan semakin menyebar dalam populasi. Sehingga, diperlukan kebijakan yang berupa vaksinansi, fogging dan pemeliharaan lingkungan agar penyebaran penyakit Malaria dapat dikendalikan sedemikian sehingga penyebarannya dalam populasi dapat teratasi secepat mungkin.

Daftar Pustaka

- Fitriany, J & Sabiq, A. (2018). MALARIA. Jurnal Averrous, 4(2).
- Hisyam, dkk (2021) Pemodelan Matematika SEIRS Pada Penyebaran Penyakit Malaria di Kabupaten Mimika, Journal of Mathematics, Computations, and Statistics, vd 4(1), 21 – 29
- Parera, M. & Tiala, M. E. (2012). Potensi Vaksin Plasmodium Falciparum Fase Pra-Eritrositer RTS,S Sebagai Imunoprofilaksis Pada Pelancong. Institute for Supply Management, V(1):31
- Retna S.P, & Mardijah (2019). Analisis Kestabilan dan Kontrol Optimal pada Model Dinamik Penyebaran Penyakit Malaria, JURNAL SAINS DAN SENI ITS Vd. 8, No 1. hal: 2337-3520
- Susila B, Sri A.N, & Narwen (2023). Kestabilan model penularan penyakit malaria di Indonesia, Jurnal Matematika dan Pendidikan Matematika, vd 12(2)
- Side, S., Zaki, A., & Sari, N. (2018). Analisis Model Matematika Penyebaran Demam Berdarah Dengue dengan Fungsi Lyapunov. Journal of Mathematics, Computations, and Statistics, 1(2). 125-141.
- Side & Rangkuti. (2015). Pemodelan Matematika dan Solusi Numerik untuk Penularan demam Berdarah. Medan: Perdana Publishing.
- Talapko, J., Skrlec, I., Alebi, T., Juki, M., & Vev, A. (2019). Malaria: The Past and the Present. Microorganisms, 7(6), 179.
- Ulfa, M. (2013). MODEL matematika untuk kontrol campak menggunakan vaksinasi (Skripsi). UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
- Widi, Shilvina. 2023. Kasus Malaria Indonesia Melonjak pada 2022 <https://dataindonesia.id/kesehatan/detail/kasus-malaria-indonesia-melonjak-3629-pada-2022>