

ARTIKEL PENELITIAN

# Pendekatan Matematika untuk Menganalisis Pengaruh Korupsi terhadap Dinamika Penyebaran Malaria

Julietta B.A. Radja<sup>1</sup>, Ariyanto<sup>1</sup>, Ganesha L. Putra<sup>1</sup>, Meksianis Z. Ndi<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Matematika, Universitas Nusa Cendana, Kupang-NTT, Indonesia

\*Penulis korespondensi: [meksianis.ndii@staf.undana.ac.id](mailto:meksianis.ndii@staf.undana.ac.id)

Diterima: 23 April 2023; Direvisi: 29 April 2023; Disetujui: 29 April 2023; Dipublikasi:30 April 2023.

---

**Abstrak:** Salah satu permasalahan atau tantangan dalam penanganan penyebaran penyakit menular adalah korupsi. Hal tersebut mengakibatkan jumlah kasus penyakit menular tidak mengalami penurunan sekalipun strategi pencegahan sudah dilaksanakan. Dalam artikel ini, pengaruh korupsi terhadap dinamika penyebaran penyakit malaria dianalisis menggunakan pendekatan matematika. Model deterministik dalam bentuk sistem persamaan diferensial diformulasi dan dianalisis. Analisis sensitivitas dan simulasi numerik juga dilakukan untuk mengetahui pengaruh parameter terhadap angka reproduksi dasar. Hasil analisis menunjukkan bahwa pengaruh negatif korupsi sangat besar terhadap upaya penurunan jumlah kasus malaria.

**Kata Kunci:** Model Matematika, Malaria, Korupsi, Simulasi Numerik

---

**Abstract:** One of the challenges for eradication of infectious diseases is corruption. This may result in an increase in the number of infectious disease cases. In this article, the effect of corruption on the transmission dynamics of malaria is analyzed using a mathematical model. A deterministic model in the form of a system of differential equations is formulated and analyzed. Sensitivity analysis and numerical simulations are also conducted to determine the effect of parameters on the basic reproductive number. The results show that corruption has negative effects on the efforts for reducing the number of malaria cases.

**Keywords:** Mathematical Model, Malaria, Corruption, and Numerical Simulations

---

## 1. Pendahuluan

Korupsi merupakan salah satu permasalahan yang dihadapi oleh kebanyakan negara berkembang diberbagai sektor kehidupan termasuk sektor kesehatan. Pada sektor kesehatan, korupsi dapat berdampak pada keefektifan penanganan permasalahan kesehatan. Malaria merupakan salah satu penyakit menular yang endemik di wilayah tropis. Meskipun berbagai upaya penanganannya telah dilakukan dan jumlah kasus malaria telah menurun, namun masih terdapat wilayah-wilayah yang jumlah kasus malaria belum mengalami penurunan [1].

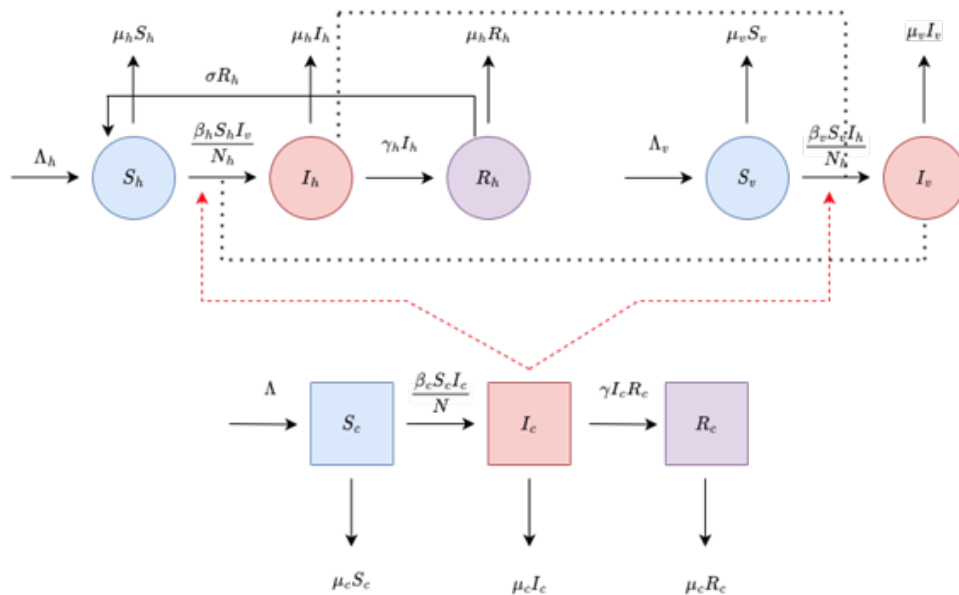
Upaya pemahaman terhadap dinamika penyebaran penyakit telah banyak dilakukan termasuk dengan pendekatan matematika [2, 3]. Penelitian-penelitian tersebut menganalisis dinamika penyebaran penyakit malaria untuk menganalisis pengaruh intervensi/strategi pencegahan seperti

vaksinasi, fumigasi dan pengobatan [1, 4–9]. Sejauh ini, belum ada model matematika yang diformulasi untuk menganalisis pengaruh korupsi terhadap dinamika penyebaran penyakit malaria. Radja dan Ndi [10] membangun model matematika untuk menganalisis relasi antara korupsi dan dinamika penyebaran penyakit. Kedua peneliti tersebut menggunakan model sederhana SIR dan melakukan simulasi numerik untuk memperoleh informasi ilmiah terkait relasi antara korupsi dan dinamika penyebaran penyakit. Penelitian ini menggunakan pendekatan numerik di mana peneliti melakukan simulasi relasi antara korupsi dan dinamika penyebaran penyakit. Namun, efek korupsi terhadap dinamika penyebaran malaria belum dianalisis. Oleh karena itu, dalam artikel ini, pengaruh korupsi terhadap dinamika penyebaran malaria dianalisis dengan menggunakan model matematika. Model ini merupakan perluasan dari model matematika dinamika penyebaran penyakit yang diformulasi oleh Radja dan Ndi [10] untuk konteks penyebaran malaria. Korupsi yang dimaksudkan pada artikel ini adalah penyalahgunaan wewenang terkait dengan upaya pemberantasan penyakit menular termasuk malaria. Analisis pada artikel ini difokuskan pada formulasi model matematika, analisis sensitivitas, dan simulasi numerik.

## 2. Formulasi Model Matematika

### 2.1. Model Matematika

Model matematika diformulasi untuk menganalisis relasi antara korupsi dan malaria dan ilustrasi dari model tersebut diberikan pada Gambar 2.1. Pada model matematika terdapat dua model yakni model penyebaran malaria yang terdiri dari populasi manusia dan populasi nyamuk, dan model penyebaran korupsi yang diformulasi berdasarkan model *SIR*. Dalam model penyebaran malaria, populasi manusia dibagi kedalam kelompok rentan ( $S_h$  dan  $S_c$ ), infected ( $I_h$ , dan  $I_c$ ) dan sembuh ( $R_h$  dan  $R_c$ ) dimana subscript  $h$  dan  $c$  secara berturut-turut menyatakan manusia untuk model penyebaran malaria dan korupsi. Populasi nyamuk dibagi kedalam kelompok susceptible ( $S_v$ ) dan terinfeksi ( $I_v$ ).



Gambar 2.1: Diagram alir dari Model Matematika Malaria dan Korupsi. Garis putus-putus adalah garis pengaruh yakni kompartemen tersebut memberi pengaruh pada kompartemen yang dituju. Garis solid adalah hubungan antara kompartemen.

Gambar 2.1 merupakan diagram alir dari model matematika penyebaran malaria dan korupsi. Individu rentan malaria berpotensi terinfeksi malaria apabila berinteraksi dengan individu terinfeksi malaria dengan laju  $\beta_h$ . Individu tersebut kemudian sembuh dari malaria. Nyamuk rentan berpotensi terinfeksi apabila menggigit individu terinfeksi malaria dengan laju  $\beta_v$ . Dinamika yang serupa untuk penyebaran korupsi. Model matematika relasi antara korupsi dan dinamika penyebaran malaria dapat ditulis dalam bentuk sistem persamaan diferensial sebagaimana pada Persamaan (2.1).

$$\begin{aligned}
 \frac{dS_h}{dt} &= \Lambda_h - \frac{\beta_h S_h I_v}{N_h} - \mu_h S_h + \sigma R_h, \\
 \frac{dI_h}{dt} &= \frac{\beta_h S_h I_v}{N_h} - \gamma_h I_h - \mu_h I_h, \\
 \frac{dR_h}{dt} &= \gamma_h I_h - \mu_h I_h - \sigma R_h, \\
 \frac{dS_v}{dt} &= \Lambda_v - \frac{\beta_v S_v I_h}{N_h} - \mu_v S_v, \\
 \frac{dI_v}{dt} &= \frac{\beta_v S_v I_h}{N_h} - \mu_v I_v, \\
 \frac{dS_c}{dt} &= \Lambda - \frac{\beta_c S_c I_c}{N} - \mu_c S_c, \\
 \frac{dI_c}{dt} &= \frac{\beta_c S_c I_c}{N} - \gamma_c I_c - \mu_c I_c, \\
 \frac{dR_c}{dt} &= \gamma_c I_c - \mu_c R_c,
 \end{aligned} \tag{2.1}$$

dengan,

$$\beta_h = k_h \exp\left(\frac{aI_c}{N}\right), \tag{2.2}$$

$$\beta_v = k_v \exp\left(\frac{aI_c}{N}\right). \tag{2.3}$$

Perhatikan bahwa ekspresi pada Persamaan (2.2) dan (2.3) merupakan fungsi yang merupakan relasi antara korupsi dan laju penularan malaria dari manusia ke nyamuk (Persamaan (2.2)) dan nyamuk ke manusia ((2.3)). Parameter  $k_h$  dan  $k_v$  secara berturut-turut merupakan laju penularan malaria dari nyamuk ke manusia dan manusia ke nyamuk apabila tidak ada pengaruh korupsi yakni  $I_c = 0$ . Apabila individu pelaku korupsi meningkat maka laju penularan diasumsikan meningkat secara eksponensial. Jika tidak ada korupsi dalam populasi maka model penyebaran malaria dan model penyebaran korupsi saling bebas atau dengan kata lain model tersebut menjadi dua model yang terpisah.

## 2.2. Angka Reproduksi Dasar

Angka reproduksi dasar akan ditentukan dengan mengonstruksi *the next generation matrix* dan dicari nilai eigen terbesar. Pertama kita menentukan matriks transmisi dan matriks transisi kemudian dicari *the next generation matrix*. Pada kondisi bebas penyakit, model korupsi dan model penyebaran malaria adalah dua model yang terpisah sehingga diperoleh angka reproduksi dasar adalah untuk masing-masing yakni

- Angka reproduksi dasar untuk penyebaran malaria:

$$R_0 = \sqrt{\frac{\beta_h \beta_v N_v}{N_h \mu_v (\gamma_h + \mu_h)}} \quad (2.4)$$

dimana  $\beta_h = k_h$  adalah konstanta

- Angka reproduksi dasar untuk model penyebaran korupsi yakni :

$$R_0 = \frac{\beta_c}{(\mu_c + \gamma_c)} \quad (2.5)$$

### 2.3. Analisis Sensitivitas

Pada bagian ini akan dilakukan analisis sensitivitas terhadap *basic reproduction number* untuk melihat perubahan nilai dari parameternya. Jika indeks sensitivitasnya semakin besar, maka parameter tersebut merupakan parameter yang paling berpengaruh. Dalam artikel ini akan dilakukan analisis sensitivitas terhadap angka reproduksi dasar dari model malaria dan korupsi.

Analisis sensitivitas lokal digunakan untuk mencari parameter yang berpengaruh pada angka reproduksi dasar [11].

**Definisi 2.1.** Normalized Sensitivity Indeks diperoleh dengan indeks sensitivitas normalisasi dari variabel  $V$ , terdiferensialkan pada parameter  $p$ , yang didefinisikan sebagai berikut :

$$C_p^v = \frac{\partial V}{\partial p} \times \frac{p}{V}$$

dimana  $V$  adalah variabel yang akan dianalisis dan  $p$  adalah parameter.

Analisis sensitivitas lokal menggunakan rumus yang diberikan pada Persamaan (2.1). Total populasi yang digunakan dalam analisis  $N_h = 4.300.550$  dan  $N = 3 \times N_h$  serta nilai parameter yang digunakan diberikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Deskripsi, nilai dan satuan parameter dari model matematika

Parameter	Deskripsi	Nilai	Satuan
$\beta_h$	Laju penularan malaria dari nyamuk ke manusia	100	Tahun <sup>-1</sup>
$\mu_h$	Laju kematian manusia	1/65	Tahun <sup>-1</sup>
$\gamma_h$	Laju kesembuhan	365/14	Tahun <sup>-1</sup>
$\beta_v$	Laju penularan malaria dari manusia ke nyamuk	50	Tahun <sup>-1</sup>
$\mu_v$	Laju kematian nyamuk	365/14	Tahun <sup>-1</sup>
$\beta_c$	Laju penularan korupsi	1	Tahun <sup>-1</sup>
$\mu_c$	Laju kematian/pensiun dari koruptor	1/30	Tahun <sup>-1</sup>
$\gamma_c$	Laju komitmen tidak melakukan korupsi	365/14	Tahun <sup>-1</sup>

Substitusi nilai-nilai pada Tabel 2.1 ke dalam Persamaan (2.4) dan (2.5) maka diperoleh  $R_0$  untuk malaria adalah 4,6963 dan  $R_0$  untuk penyebaran korupsi adalah 4,2857. Nilai ini kemudian dibandingkan dengan nilai  $R_0$  ketika terjadi perubahan pada nilai parameter.

Tabel 2.2 menunjukkan analisis sensitivitas terhadap angka reproduksi dasar. Nilai  $R_0$  untuk parameter  $\beta_h, \beta_v$  dan  $\gamma_h$  adalah  $R_0$  sebagaimana pada Persamaan (2.4). Nilai  $R_0$  untuk parameter  $\beta_c$  dan  $\gamma_c$  adalah nilai  $R_0$  untuk Persamaan (2.5). Hasil analisis menunjukkan bahwa perubahan semua parameter yang dianalisis berpengaruh terhadap  $R_0$  dengan indeks sensitivitas yang relatif hampir sama untuk  $R_0$  malaria dan  $R_0$  model korupsi. Selain itu, relasi parameter juga tergambar dari hasil analisis. Apabila relasi positif maka ketika nilai parameter ditambahkan 5% maka angka reproduksi dasar juga meningkat. Sebaliknya, apabila relasi negatif, maka ketika nilai parameter ditambahkan 5% maka angka reproduksi dasar menurun.

Tabel 2.2: Perubahan Nilai Parameter dari Indeks Sensivitas pada  $R_0$  dengan  $R_0$  untuk malaria adalah 4,6963 dan  $R_0$  untuk penyebaran korupsi adalah 4,2857 dengan menggunakan nilai yang sebagaimana pada diberikan.  $p$  adalah parameter yang nilainya ditambah 5% atau kurang 5%. Nilai  $R_0$  setelah nilai parameter tersebut ditambah atau dikurang 5%.

Parameter	Indeks Sensivitas	Nilai Indeks Sensivitas	Nilai $R_0$	
			$p + 5\%$	$p - 5\%$
$\beta_h$	$\frac{1}{2}$	+0,5	4,8122	4,5773
$\beta_v$	$\frac{1}{2}$	+0,5	4,8122	4,5773
$\gamma_h$	$-\frac{\gamma_h}{2(\gamma_h + \mu_h)}$	-0,4997	4,5831	4,8181
$\beta_c$	1	+1	4,5000	4,0714
$\gamma_c$	$-\frac{\gamma_c}{(\gamma_c + \mu_c)}$	-0,8571	4,1096	4,4776

### 3. Simulasi Numerik

Solusi dari model disajikan secara numerik. Penyelesaian model matematika dengan menggunakan software MATLAB. Dua kasus yang disajikan yakni solusi dari model tanpa adanya pengaruh korupsi dan solusi dari model dengan adanya pengaruh korupsi. Kondisi awal diberikan pada Tabel 3.3 dan nilai parameter yang digunakan diberikan pada Tabel 2.1 .

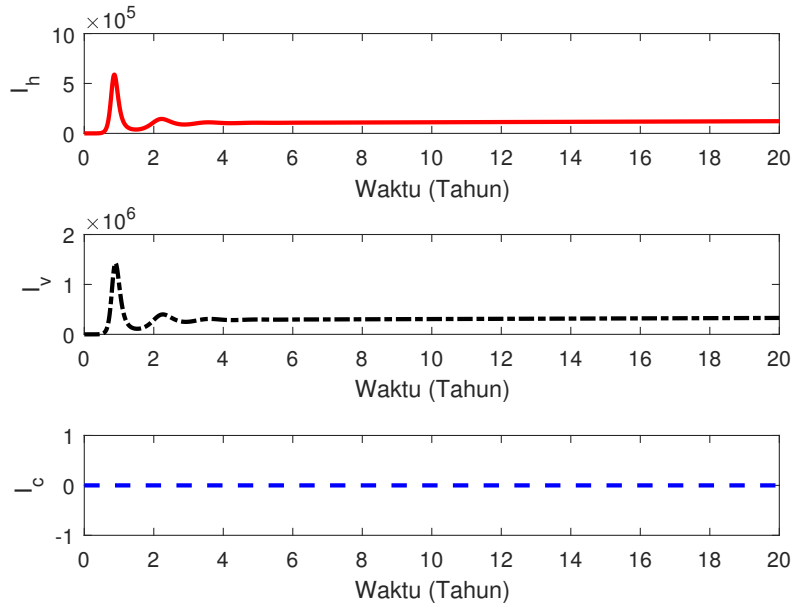
Tabel 3.3: Deskripsi Variabel dan kondisi awal

Variabel	Deskripsi	Kondisi awal
$S_h$	Individu rentan terhadap malaria	4.300.550
$I_h$	Individu terinfeksi malaria	2
$R_h$	Individu sembuh dari malaria	0
$S_v$	Nyamuk rentan	$3 \times 4300550$
$I_v$	Nyamuk terinfeksi	0
$S_c$	Individu rentan korupsi	67.000
$I_c$	Individu/pelaku korupsi	10
$R_c$	Individu yang tidak lagi melakukan korupsi	0

Kondisi awal yang digunakan sebagaimana pada Tabel 3.3. Kondisi awal untuk individu rentan adalah 4.300.550 dan jumlah nyamuk rentan adalah tiga kali jumlah penduduk sebagaimana dapat ditemukan pada literatur-literatur [8].

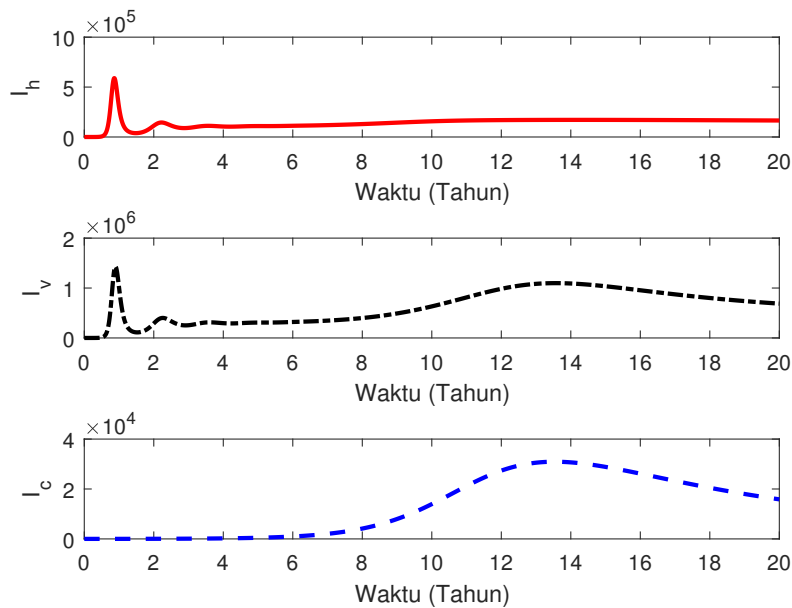
#### 3.1. Simulasi Numerik Penyebaran Penyakit Malaria Tanpa Adanya Korupsi

Pada bagian ini solusi dari model matematika dilakukan secara numerik baik solusi model tanpa adanya penyebaran korupsi dan solusi model dengan adanya penyebaran korupsi. Hal ini dimaksudkan agar dapat membandingkan antara solusi model dengan dan adanya korupsi dan dapat mengidentifikasi pengaruh korupsi terhadap dinamika penyebaran malaria.



Gambar 3.2: Simulasi numerik tanpa adanya korupsi dimana angka reproduksi dasar lebih besar dari satu,  $R_0 = 4,6923$ .

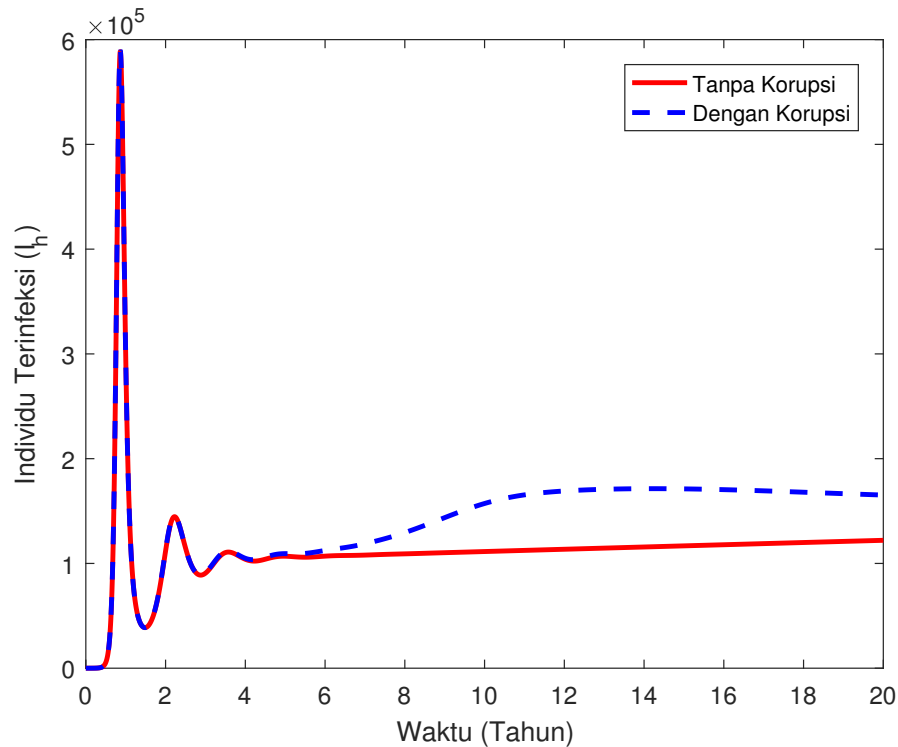
Gambar 3.2 menunjukkan bahwa penyebaran penyakit tetap terjadi tanpa adanya korupsi jika  $R_0$  lebih besar dari satu. Namun apabila dibandingkan dengan adanya korupsi sebagaimana pada Gambar 3.3 tergambar bahwa individu terinfeksi meningkat (bandingkan dengan Gambar 3.4).



Gambar 3.3: Simulasi Numerik Dengan Adanya Korupsi

### 3.2. Simulasi Numerik Perbandingan Penyebaran Malaria Tanpa Korupsi dan dengan Adanya Korupsi

Pada bagian ini ditunjukkan perbandingan solusi numerik jumlah individu terinfeksi malaria dengan dan tanpa adanya penyebaran korupsi sebagaimana pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4: Perbandingan Penyebaran Malaria Tanpa Adanya Korupsi dan Dengan Adanya Korupsi

Gambar 3.4 menunjukkan bahwa individu terinfeksi semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kasus korupsi. Hal ini menunjukkan bahwa korupsi berdampak negatif terhadap upaya pengurangan jumlah individu terinfeksi. Jumlah individu terinfeksi malaria semakin meningkat apabila jumlah individu atau pelaku korupsi juga semakin meningkat. Hal ini berarti upaya penanganan penyebaran penyakit malaria juga perlu memperhatikan faktor korupsi. Strategi penanganan penyebaran malaria yang baik tidak efektif apabila terjadinya korupsi didalamnya.

## 4. Kesimpulan

Artikel ini membahas kaitan antara korupsi dan dinamika penyebaran penyakit malaria. Hasil penelitian menunjukkan bahwa apabila tingkat korupsi makin tinggi maka upaya penurunan jumlah individu yang terinfeksi penyakit malaria akan terhambat dan dapat mengakibatkan makin bertambahnya individu yang terinfeksi. Hasil simulasi numerik juga menunjukkan bahwa jumlah individu terinfeksi meningkat apabila korupsi semakin meningkat. Hal ini mengindikasikan bahwa target bebas malaria dapat tercapai apabila jumlah individu yang menyalahgunakan kewenangan terkait dengan upaya penanggulangan malaria semakin meningkat.

## Referensi

- [1] S. Dhiman, "Are malaria elimination efforts on right track? an analysis of gains achieved and challenges ahead," *Infectious diseases of poverty*, vol. 8, no. 1, pp. 1–19, 2019. [View online](#).

- [2] S. F. Abimbade, S. Olaniyi, and O. A. Ajala, "Recurrent malaria dynamics: insight from mathematical modelling," *The European Physical Journal Plus*, vol. 137, p. 292, Mar. 2022. [View online](#).
- [3] M. Z. Ndi, *Pemodelan Matematika*. Penerbit NEM, 2022. [View online](#).
- [4] H. Tasman, D. Aldila, P. A. Dumbela, M. Z. Ndi, Fatmawati, F. F. Herdicho, and C. W. Chukwu, "Assessing the impact of relapse, reinfection and recrudescence on malaria eradication policy: A bifurcation and optimal control analysis," *Tropical Medicine and Infectious Disease*, vol. 7, no. 10, 2022. [View online](#).
- [5] B. D. Handari, R. A. Ramadhani, C. W. Chukwu, S. H. A. Khoshnaw, and D. Aldila, "An optimal control model to understand the potential impact of the new vaccine and transmission-blocking drugs for malaria: A case study in papua and west papua, indonesia," *Vaccines*, vol. 10, no. 8, 2022. [View online](#).
- [6] M. A. Kuddus and A. Rahman, "Modelling and analysis of human-mosquito malaria transmission dynamics in bangladesh," *Mathematics and Computers in Simulation*, vol. 193, pp. 123-138, 2022. [View online](#).
- [7] S. Olaniyi, K. O. Okosun, S. O. Adesanya, and R. S. Lebelo, "Modelling malaria dynamics with partial immunity and protected travellers: optimal control and cost-effectiveness analysis," *Journal of Biological Dynamics*, vol. 14, no. 1, pp. 90-115, 2020. [View online](#).
- [8] M. Z. Ndi and Y. A. Adi, "Understanding the effects of individual awareness and vector controls on malaria transmission dynamics using multiple optimal control," *Chaos, Solitons and Fractals*, vol. 153, p. 111476, 2021. [View online](#).
- [9] M. Ghosh, S. Olaniyi, and O. Obabiyi, "Mathematical analysis of reinfection and relapse in malaria dynamics," *Applied Mathematics and Computation*, vol. 373, p. 125044, 2020. [View online](#).
- [10] J. B. A. Radja and M. Z. Ndi, "Simulasi numerik model matematika untuk menganalisis relasi antara korupsi dan dinamika penyebaran penyakit menular," *Jambura Journal of Biomathematics*, vol. 3, no. 1, pp. 12-16, 2022. [View online](#).
- [11] N. Chitnis, J. M. Hyman, and J. M. Cushing, "Determining Important Parameters in the Spread of Malaria Through the Sensitivity Analysis of a Mathematical Model," *Bulletin of Mathematical Biology*, vol. 70, pp. 1272-1296, July 2008. [View online](#).

#### Format Sitasi IEEE:

J.B.A. Radja, Ariyanto, G.L. Putra, M.Z. Ndi. "Pendekatan Matematika untuk menganalisis Pengaruh Korupsi terhadap Dinamika Penyebaran Malaria", *Jurnal Diferensial*, vol. 5(1), pp. 35-42, 2023.

This work is licensed under a [Creative Commons "Attribution-ShareAlike 4.0 International"](#) license.

