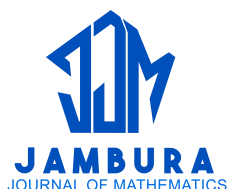


Model Matematika Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengue dengan Faktor Kesadaran Sosial: Analisis dan Simulasi

Clara Anggriani Djuma, Novianita Achmad, Agusyarif Rezka Nuha, Isran K. Hasan, dan Armayani Aarsal



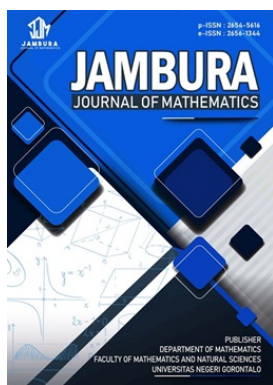
Volume 7, Issue 2, Pages 196–204, August 2025

Diterima 12 Juli 2025, Direvisi 22 Agustus 2025, Disetujui 25 Agustus 2025, Diterbitkan 29 Agustus 2025

To Cite this Article : C. A. Djuma, N. Achmad, A. R. Nuha, I. K. Hasan, dan A. Aarsal, "Model Matematika Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengue dengan Faktor Kesadaran Sosial: Analisis dan Simulasi", *Jambura J. Math*, vol. 7, no. 2, pp. 196–204, 2025, <https://doi.org/10.37905/jjom.v7i2.33921>

© 2025 by author(s)

JOURNAL INFO • JAMBURA JOURNAL OF MATHEMATICS

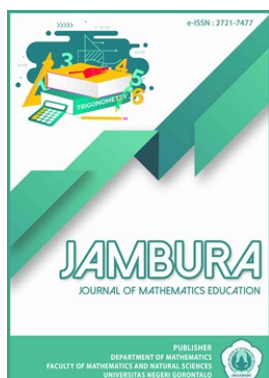


	Homepage	:	http://ejurnal.ung.ac.id/index.php/jjom/index
	Journal Abbreviation	:	Jambura J. Math.
	Frequency	:	Biannual (February and August)
	Publication Language	:	English (preferable), Indonesia
	DOI	:	https://doi.org/10.37905/jjom
	Online ISSN	:	2656-1344
	Editor-in-Chief	:	Hasan S. Panigoro
	Publisher	:	Department of Mathematics, Universitas Negeri Gorontalo
	Country	:	Indonesia
	OAI Address	:	http://ejurnal.ung.ac.id/index.php/jjom/oai
	Google Scholar ID	:	iWLjgaUAAAAJ
	Email	:	info.jjom@ung.ac.id

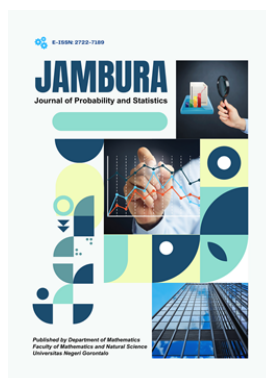
JAMBURA JOURNAL • FIND OUR OTHER JOURNALS



Jambura Journal of Biomathematics



Jambura Journal of Mathematics Education



Jambura Journal of Probability and Statistics



EULER : Jurnal Ilmiah Matematika, Sains, dan Teknologi

Model Matematika Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengue dengan Faktor Kesadaran Sosial: Analisis dan Simulasi

Clara Anggriani Djuma¹, Novianita Achmad¹, Agusyarif Rezka Nuha^{1,*}, Isran K. Hasan², Armayani Aarsal¹

¹Program Studi Matematika, Universitas Negeri Gorontalo, Bone Bolango 96554, Indonesia

²Program Studi Statistika, Universitas Negeri Gorontalo, Bone Bolango 96554, Indonesia

ARTICLE HISTORY

Diterima 12 Juli 2025
Direvisi 22 Agustus 2025
Disetujui 25 Agustus 2025
Diterbitkan 29 Agustus 2025

KATA KUNCI

Demam Berdarah Dengue
Kesadaran Sosial
Model Matematika
Simulasi Epidemiologi

KEYWORDS

Dengue Fever
Social Awareness
Mathematical Model
Epidemiological Simulation

ABSTRAK. Demam Berdarah Dengue (DBD) merupakan masalah kesehatan serius di banyak wilayah tropis, termasuk Indonesia. Tingkat penyebaran penyakit ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah tingkat kesadaran sosial dalam pencegahan dan pengendalian infeksi. Penelitian ini mengembangkan model matematika penyebaran DBD dengan mengintegrasikan faktor kesadaran sosial sebagai kompartemen tambahan. Model yang dibangun dianalisis melalui penentuan titik kesetimbangan dan bilangan reproduksi dasar (R_0), serta kajian kestabilan menggunakan Kriteria Routh–Hurwitz. Hasil analisis menunjukkan adanya dua jenis titik kesetimbangan, yaitu titik kesetimbangan bebas penyakit (T_1) dan titik kesetimbangan endemik (T_2). Titik T_1 bersifat stabil asimtotik lokal ketika $R_0 < 1$ dan tidak stabil ketika $R_0 > 1$, sedangkan titik T_2 bersifat stabil asimtotik lokal apabila $R_0 > 1$. Analisis sensitivitas memperlihatkan bahwa parameter kesadaran sosial berpengaruh signifikan terhadap nilai R_0 . Selain itu, simulasi numerik menunjukkan bahwa peningkatan kesadaran sosial dapat secara efektif menurunkan penyebaran penyakit dan mendorong sistem menuju kondisi bebas penyakit. Temuan ini menegaskan pentingnya intervensi berbasis kesadaran masyarakat dalam strategi pengendalian DBD.

ABSTRACT. Dengue haemorrhagic fever (DHF) is a serious health problem in many tropical regions, including Indonesia. The spread of this disease is influenced by various factors, one of which is the level of social awareness in the prevention and control of infection. This study developed a mathematical model of DHF spread by integrating social awareness as an additional compartment. The model was analysed by determining the equilibrium points and the basic reproduction number (R_0), as well as stability analysis using the Routh–Hurwitz criterion. The analysis results show the existence of two types of equilibrium points: the disease-free equilibrium point (T_1) and the endemic equilibrium point (T_2). Point T_1 is locally asymptotically stable when $R_0 < 1$ and unstable when $R_0 > 1$, while point T_2 is locally asymptotically stable when $R_0 > 1$. Sensitivity analysis shows that the social awareness parameter significantly influences the value of R_0 . Additionally, numerical simulations indicate that increasing social awareness can effectively reduce disease spread and drive the system toward a disease-free state. These findings underscore the importance of community-based awareness interventions in dengue control strategies.



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License. [Editorial of JJoM](#): Department of Mathematics, Universitas Negeri Gorontalo, Jln. Prof. Dr. Ing. B. J. Habibie, Bone Bolango 96554, Indonesia.

1. Pendahuluan

Demam Berdarah Dengue (DBD) merupakan salah satu dari jenis penyakit menular yang diakibatkan oleh virus Dengue. Virus ini menyebar melalui gigitan nyamuk *Aedes albopictus* (vektor sekunder) dan *Aedes aegypti* (vektor utama). Virus Dengue termasuk dalam famili Flaviviridae dan genus Flavivirus dari empat serotipe antigenetik yang dikenal sebagai DENV-1, DENV-2, DENV-3 dan DENV-4 [1]. Infeksi virus ini dapat menyerang individu dengan imunitas tubuh yang rendah, baik dewasa maupun anak-anak, dan umumnya memunculkan gejala awal berupa demam tinggi (hingga 40°C), nyeri otot dan sendi, serta munculnya ruam kemerahan pada kulit. Gejala tersebut berlangsung selama 2 hingga 7 hari sebagai fase demam awal. Selanjutnya, terjadi

fase kritis yang berlangsung dalam rentang 3 hingga 7 hari setelah fase demam dengan gejala nyeri abdomen, muntah berulang, kesulitan bernapas, dan risiko kebocoran plasma [2, 3]. Apabila tidak ditangani secara tepat, kondisi ini dapat berujung pada kematian.

Di Indonesia, DBD pertama kali dilaporkan terjadi di Surabaya pada tahun 1968, dengan 58 kasus dan 24 kematian. Sejak saat itu, jumlah kasus DBD terus menunjukkan tren peningkatan yang signifikan dari tahun ke tahun [4]. Berdasarkan data yang diperoleh dari Kementerian Kesehatan, pada tahun 2021 tercatat sebanyak 73.518 kasus DBD dengan 705 kematian, bahkan jumlah ini meningkat tajam pada tahun 2022 menjadi 143.266 kasus dengan 1.237 kematian. Sementara itu, tahun 2023 dilaporkan 114.720 kasus dengan 894 kematian. Lonjakan kembali terjadi pada tahun 2024 dimana hingga minggu ke-43 dilaporkan

*Penulis Korespondensi.

Adapun parameter yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter model

Parameter	Keterangan
Π_h	Laju kelahiran individu
Π_m	Laju kelahiran nyamuk
u	Tingkat kesadaran sosial dalam mencegah penyebaran penyakit DBD
α	Tingkat penurunan kesadaran sosial
β_h	Laju populasi manusia terpapar
β_m	Laju populasi nyamuk terpapar
ξ	Efektivitas pengurangan infeksi karena kesadaran
γ_h	Inkubasi ekstrinsik manusia
γ_m	Inkubasi nyamuk secara ekstrinsik
η	Laju perawatan individu terinfeksi
q_1	Laju pemulihan alami individu terinfeksi
q_2	Laju pemulihan individu yang mendapatkan perawatan
δ	Laju kematian akibat penyakit
μ_h	Laju kematian alami manusia
μ_m	Laju kematian alami nyamuk

3. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini merupakan pemaparan hasil analisis terhadap model matematika dalam menggambarkan dinamika penyebaran penyakit. Analisis yang dilakukan meliputi penentuan daerah solusi model, titik kesetimbangan, perhitungan bilangan reproduksi dasar (R_0), analisis sensitifitas, dan simulasi numerik.

3.1. Daerah Solusi Model

Lemma 1. Himpunan $\Omega = \{S_h, A, E_h, I_h, P, R, S_m, E_m, I_m\} \in \mathbb{R}_+^9 : 0 \leq N_h \leq \frac{\Pi_h}{\mu_h}$ dan $0 \leq N_m \leq \frac{\Pi_m}{\mu_m}$ adalah daerah solusi taknegatif dari pers. (1), dimana N_h merupakan total populasi manusia, dan N_m adalah total populasi nyamuk.

Bukti. Karena N_h menyatakan total populasi manusia, maka

$$\begin{aligned} \frac{dN_h}{dt} &= \frac{dS_h}{dt} + \frac{dA}{dt} + \frac{dE_h}{dt} + \frac{dI_h}{dt} + \frac{dP}{dt} + \frac{dR}{dt}, \\ &= \Pi_h - \mu_h - \delta(I_h + P). \end{aligned} \tag{2}$$

Karena $I_h + P > 0$ maka berdasarkan pers. (2) diperoleh suatu bentuk pertidaksamaan $\frac{dN_h}{dt} \leq \Pi_h - \mu_h N_h$. Pertidaksamaan tersebut selanjutnya diselesaikan menggunakan faktor integrasi, sehingga diperoleh bentuk

$$N_h \leq \frac{\Pi_h}{\mu_h} (1 - e^{-\mu_h t}) + N_h e^{\mu_h t} - \frac{c_1}{\mu_h} (1 - e^{-\mu_h t}). \tag{3}$$

Karena $\lim_{t \rightarrow 0} e^{-\mu_h t} = 1$ dan $\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\mu_h t} = 0$, berdasarkan pertidaksamaan (3), diperoleh $N_h \leq \frac{\Pi_h}{\mu_h}$.

Karena $S_h(t), A(t), E_h(t), I_h(t), P(t), R(t)$ taknegatif, maka untuk $t \geq 0$ diperoleh $0 \leq S_h + A + E_h + I_h + P + R \leq \frac{\Pi_h}{\mu_h}$.

Dengan cara yang sama untuk populasi nyamuk diperoleh

$$\frac{dN_m}{dt} + \mu_m N_m = \Pi_m. \tag{4}$$

Solusi dari pers. (4) adalah

$$N_m = \frac{\Pi_m}{\mu_m} + \left(N_{m0} - \frac{\Pi_m}{\mu_m} \right) e^{-\mu_m t}. \tag{5}$$

Karena N_m tak negatif, $\lim_{t \rightarrow 0} e^{-\mu_m t} = 1$ dan $\lim_{t \rightarrow \infty} e^{-\mu_m t} = 0$, maka berdasarkan pers. (5), diperoleh $0 \leq N_m \leq \frac{\Pi_m}{\mu_m}$. \square

3.2. Titik Kesetimbangan dan Bilangan Reproduksi Dasar

Titik keseimbangan model diperoleh dengan mengasumsikan bahwa sistem berada dalam kondisi konstan, yaitu ketika semua turunan variabel terhadap waktu sama dengan nol yang dinyatakan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{dS_h}{dt} = \frac{dA}{dt} = \frac{dE_h}{dt} = \frac{dI_h}{dt} = \frac{dP}{dt} = \frac{dR}{dt} = \frac{dS_m}{dt} \\ = \frac{dE_m}{dt} = \frac{dI_m}{dt} = 0. \end{aligned} \tag{6}$$

Berdasarkan pers. (1) dan pers. (6), diperoleh dua titik kesetimbangan, yaitu;

1. Titik kesetimbangan bebas penyakit (T_1), kondisi di mana tidak terdapat individu yang terkena penyakit, baik pada populasi manusia maupun nyamuk. Titik ini dinyatakan dalam bentuk

$$\begin{aligned} T_1(S_h, A, E_h, I_h, P, R, S_m, E_m, I_m) \\ = \left(\frac{\alpha A + \Pi_h}{u + \mu_h}, \frac{u S_h}{\alpha + \mu_h}, 0, 0, 0, 0, \frac{\Pi_m}{\mu_m}, 0, 0 \right). \end{aligned}$$

2. Titik kesetimbangan endemik (T_2), keadaan di mana penyakit tetap bertahan dalam populasi. Titik ini dinyatakan sebagai;

$$\begin{aligned} T_2(S_h, A, E_h, I_h, P, R, S_m, E_m, I_m) \\ = (S_h^*, A^*, E_h^*, I_h^*, P^*, R^*, S_m^*, E_m^*, I_m^*), \end{aligned}$$

di mana;

$$\begin{aligned} S_h^* &= \frac{N_h(\alpha A + \Pi_h)}{\beta_h I_m + N_h(u + \mu_h)}, & S_m^* &= \frac{N_m \Pi_m}{\beta_m I_h + N_m \mu_m}, \\ A^* &= \frac{N_h u S_h}{N_h(\alpha + \mu_h) + \xi \beta_h I_m}, & E_m^* &= \frac{I_h \beta_m S_m}{N_m(\gamma_m + \mu_m)}, \\ E_h^* &= \frac{\beta_h I_m (S_h + \xi A)}{N_h(\gamma_h + \mu_h)}, & I_m^* &= \frac{\gamma_m E_m}{\mu_m}, \\ I_h^* &= \frac{\gamma_h E_h}{q_1 + \delta + \eta + \mu_h}, & P^* &= \frac{\eta I_h}{q_2 + \delta + \mu_h}, \\ R^* &= \frac{q_1 I_h + q_2 P}{\mu_h}. \end{aligned}$$

Pada kajian dinamika penyebaran penyakit, bilangan reproduksi dasar berperan penting sebagai indikator untuk menentukan ambang epidemi [23]. Nilai ini dapat dihitung menggunakan pendekatan *The next generation matrix* [24]. Melalui pendekatan tersebut, diperoleh matriks F dan V yang dievaluasi pada titik kesetimbangan bebas penyakit T_1 , yaitu:

$$F = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{\beta_h(\alpha + \mu_h + u\xi)}{u + \alpha + \mu_h} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \beta_m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},$$

aljabar bahwa $a_1 a_2 a_3 > a_3^2 + a_1^2 a_4$. Melalui penerapan kriteria Routh-Hurwitz [25], dapat disimpulkan titik kesetimbangan bebas penyakit T_1 bersifat stabil asimtotik lokal.

Sebaliknya andaikan $R_0 > 1$, maka $R_1 > 1$. Nilai R_1 mengakibatkan $a_4 < 0$. Menurut sifat akar-akar persamaan polinomial berderajat 4, $\lambda_6 \lambda_7 \lambda_8 \lambda_9 < 0$. Kondisi tersebut terjadi apabila terdapat minimal salah satu nilai eigen yang berbeda tanda dengan nilai eigen lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa titik kesetimbangan bebas penyakit T_1 bersifat tidak stabil. □

Teorema 2. Titik kesetimbangan Endemik T_2 bersifat stabil asimtotik lokal jika $R_0 > 1$.

Bukti. Misalkan $\beta_h = \beta_h^*$ merupakan parameter bifurkasi yang berkaitan dengan $R_0 = 1$ atau ekuivalen dengan $R_1 = 1$. Melalui manipulasi aljabar diperoleh:

$$\beta_h^* = \frac{(u + \alpha + \mu_h)(\gamma_h + \mu_h)(q_1 + \delta + \eta + \mu_h) \mu_m (\gamma_m + \mu_m)}{\beta_m \gamma_h \gamma_m (\alpha + \mu_h + u\xi)}$$

Berdasarkan pers. (8), kondisi $R_1 = 1$ mengakibatkan titik kesetimbangan bebas penyakit T_1 memiliki tepat satu nilai eigen nol, sedangkan nilai eigen lainnya bernilai negatif. Nilai eigen nol tersebut bersesuaian dengan vektor eigen kanan $(v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8, v_9)$ serta vektor eigen kiri $(w_1, w_2, w_3, w_4, w_5, w_6, w_7, w_8, w_9)$ yang masing-masing beriklan oleh:

$$v_1 = -\frac{(\gamma_h + \mu_h)(q_2 + \delta + \mu_h)(q_1 + \delta + \eta + \mu_h)v_1^*}{\gamma_h(u + \alpha + \mu_h)(q_2\eta + q_1(q_2 + \delta + \mu_h))v^{**}}$$

$$v_1^* = (\alpha + \mu_h)^2 + u\alpha\xi,$$

$$v_2 = -\frac{u(\gamma_h + \mu_h)(q_2 + \delta + \mu_h)(q_1 + \delta + \eta + \mu_h)v_2^*}{\gamma_h(u + \alpha + \mu_h)(q_2\eta + q_1(q_2 + \delta + \mu_h))v^{**}}$$

$$v_2^* = \alpha + \mu_h + (u + \mu_h)\xi,$$

$$v^{**} = \alpha + \mu_h + u\xi,$$

$$v_3 = \frac{\mu_h(q_2 + \delta + \mu_h)(q_1 + \delta + \eta + \mu_h)}{\gamma_h(q_2\eta + q_1(q_2 + \delta + \mu_h))}$$

$$v_4 = \frac{\mu_h(q_2 + \delta + \mu_h)}{q_2\eta + q_1(q_2 + \delta + \mu_h)}$$

$$v_5 = \frac{\eta\mu_h}{q_2\eta + q_1(q_2 + \delta + \mu_h)}$$

$$v_6 = 1,$$

$$v_7 = -\frac{\beta_m\mu_h(q_2 + \delta + \mu_h)}{(q_2\eta + q_1(q_2 + \delta + \mu_h))\mu_m}$$

$$v_8 = \frac{\beta_m\mu_h(q_2 + \delta + \mu_h)}{(q_2\eta + q_1(q_2 + \delta + \mu_h))(\gamma_m + \mu_m)}$$

$$v_9 = \frac{\beta_m\gamma_m\mu_h(q_2 + \delta + \mu_h)}{(q_2\eta + q_1(q_2 + \delta + \mu_h))\mu_m(\gamma_m + \mu_m)}$$

dan

$$w_1 = 0, w_4 = \frac{\gamma_h + \mu_h}{\gamma_h}, w_7 = 0,$$

$$w_2 = 0, w_5 = 0, w_8 = \frac{(\gamma_h + \mu_h)(q_1 + \delta + \eta + \mu_h)}{\beta_m\gamma_h}$$

$$w_3 = 1, w_6 = 0, w_9 = \frac{(\gamma_h + \mu_h)(q_1 + \delta + \eta + \mu_h)(\gamma_m + \mu_m)}{\beta_m\gamma_h\gamma_m}$$

Mengacu pada teorema Castillo-Chavez [26], dilakukan perhitungan konstanta bifurkasi a dan b sebagai berikut:

$$a = \sum_{k=1}^9 \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^9 v_k w_i w_j \frac{\partial^2 f_k}{\partial x_i \partial x_j} \Big|_{(T_1, \beta_h^*)},$$

$$b = \sum_{k=1}^9 \sum_{i=1}^9 v_k w_i \frac{\partial^2 f_k}{\partial x_i \partial \beta_h} \Big|_{(T_1, \beta_h^*)}.$$

Misalkan $x_1 = S_h, x_2 = A, x_3 = E_h, x_4 = I_h, x_5 = P, x_6 = R, x_7 = S_m, x_8 = E_m$, dan $x_9 = I_m$, diperoleh turunan parsial untuk f_3 dan f_8 yaitu:

$$\frac{\partial^2 f_3}{\partial x_1 \partial x_9} (T_1, \beta_h^*) = \frac{\partial^2 f_3}{\partial x_9 \partial x_1} (T_1, \beta_h^*) = \frac{\beta_h^* \mu_h}{\Pi_h},$$

$$\frac{\partial^2 f_3}{\partial x_2 \partial x_9} (T_1, \beta_h^*) = \frac{\partial^2 f_3}{\partial x_9 \partial x_2} (T_1, \beta_h^*) = \frac{\beta_h^* \mu_h \xi}{\Pi_h},$$

$$\frac{\partial^2 f_8}{\partial x_4 \partial x_7} (T_1, \beta_h^*) = \frac{\partial^2 f_8}{\partial x_7 \partial x_4} (T_1, \beta_h^*) = \frac{\beta_m \mu_m}{\Pi_m},$$

$$\frac{\partial^2 f_3}{\partial x_9 \partial \beta_h} (T_1, \beta_h^*) = \frac{\alpha + \mu_h + u\xi}{u + \alpha + \mu_h}.$$

Berdasarkan substitusi ke dalam pers. (9), diperoleh:

$$a = -\frac{2\beta_m\mu_h^2(q_2 + \delta + \mu_h)^2}{(q_2\eta + q_1(q_2 + \delta + \mu_h))^2} \left[\frac{a^*}{a^{**}} v_3 + \frac{\beta_m}{\Pi_m} v_8 \right] < 0,$$

$$b = \frac{\beta_m\gamma_m\mu_h(q_2 + \delta + \mu_h)(\alpha + \mu_h + u\xi)}{(u + \alpha + \mu_h)(q_2\eta + q_1(q_2 + \delta + \mu_h))\mu_m(\gamma_m + \mu_m)} v_3 > 0.$$

di mana:

$$a^* = \beta_h^* \gamma_m (\gamma_h + \mu_h) (q_1 + \delta + \eta + \mu_h) \left((\alpha + \mu_h)^2 + u\alpha\xi + u\xi(\alpha + \mu_h + (u + \mu_h)\xi) \right),$$

$$a^{**} = \gamma_h (u + \alpha + \mu_h) \mu_m (\gamma_m + \mu_m) (\alpha + \mu_h + u\xi) \Pi_h.$$

Menurut teorema Castillo-Chavez [26], nilai $a < 0$ dan $b > 0$ menunjukkan bahwa sistem (1) mengalami bifurkasi maju pada kondisi $R_0 = 1$. Dengan demikian, ketika R_0 meningkat melewati nilai ambang satu, titik kesetimbangan bebas penyakit T_1 berubah sifat dari stabil menjadi tidak stabil. Sebaliknya, titik kesetimbangan T_2 beralih dari tidak stabil menjadi stabil asimtotik lokal. □

3.4. Analisis Sensitivitas dan Simulasi Numerik

Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan nilai parameter terhadap dinamika sistem model, sehingga dapat diidentifikasi parameter-parameter kunci yang paling berperan dalam penyebaran penyakit. Adapun simulasi numerik dilakukan untuk menggambarkan perilaku solusi model seiring waktu berdasarkan nilai parameter yang telah ditentukan. Sebagian dari nilai parameter tersebut diperoleh dari data sekunder yang diambil dari berbagai sumber referensi, serta didasarkan pada asumsi yang relevan dengan konteks model. Nilai awal parameter disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai parameter model

Parameter	Nilai	Sumber	Parameter	Nilai	Sumber
Π_h	$\frac{10.560.000}{71,35 \times 365}$	[22]	γ_m	0,7186	[21]
Π_m	3.839,9	[21]	η	0,055	[22]
u	0,028	[22]	q_1	$\frac{1}{14}$	[22]
α	0,004	[22]	q_2	0,234	[22]
β_h	0,14133	Asumsi	δ	0,0969	[21]
β_m	0,048	Asumsi	μ	$\frac{1}{71,35 \times 365}$	[22]
ξ	$1,17 \times 10^{-6}$	[22]	μ_m	$\frac{2}{21^2}$	[22]
γ_h	0,555	[21]			

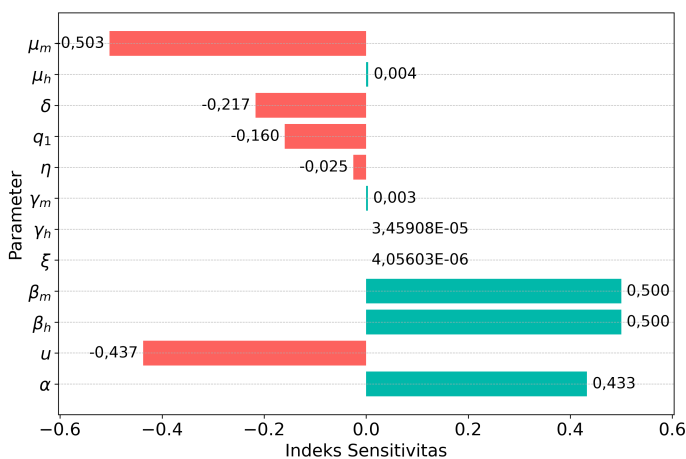
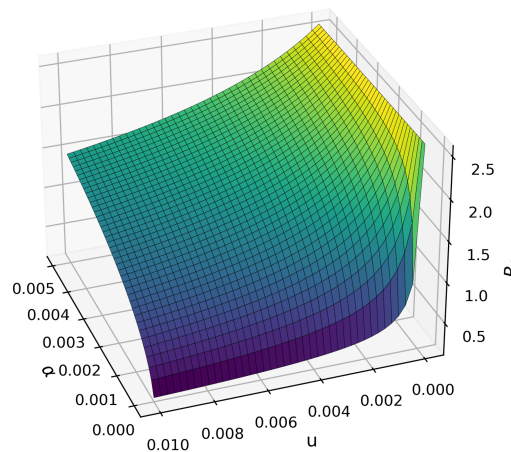
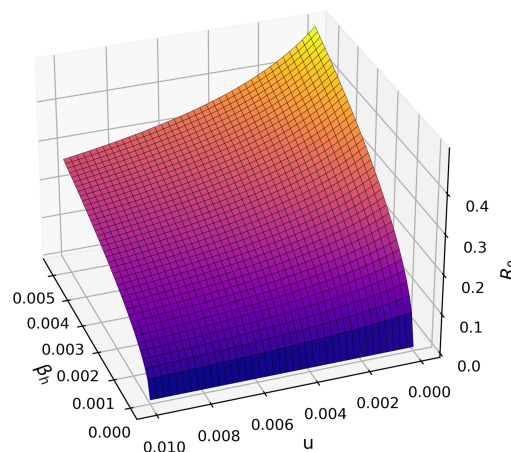
3.4.1. Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas pada penelitian ini menggunakan pendekatan analisis sensitivitas lokal yang bertujuan untuk mengidentifikasi parameter-parameter yang mempengaruhi nilai bilangan reproduksi dasar (R_0). Analisis ini dilakukan dengan menghitung indeks sensitivitas parametrik, yang didefinisikan sebagai berikut:

$$C_p^{R_0} = \frac{\partial R_0}{\partial p} \times \frac{p}{R_0}$$

di mana p merupakan parameter yang terdapat dalam ekspresi bilangan reproduksi dasar. Indeks sensitivitas ini menunjukkan seberapa besar perubahan relatif pada R_0 sebagai respons terhadap perubahan relatif pada masing-masing parameter p [27]. Nilai indeks sensitivitas yang lebih besar menandakan bahwa parameter tersebut memiliki pengaruh yang lebih signifikan terhadap dinamika penyebaran penyakit. Hasil perhitungan terhadap indeks sensitivitas dari setiap parameter dapat dilihat pada Gambar 2.

besar indeks sensitivitas menjadi indikator penting dalam menentukan parameter kunci yang perlu dikendalikan dalam upaya menekan penyebaran penyakit.

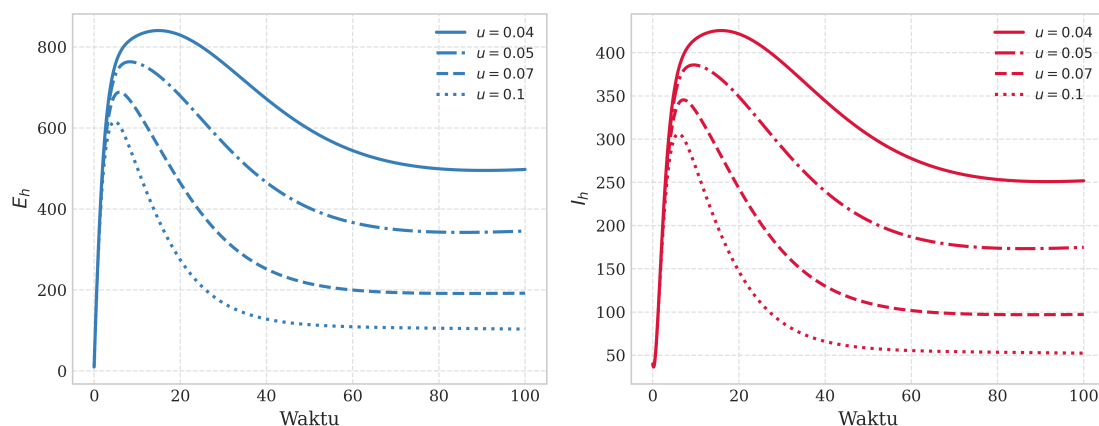


Gambar 2. Nilai indeks sensitivitas parameter

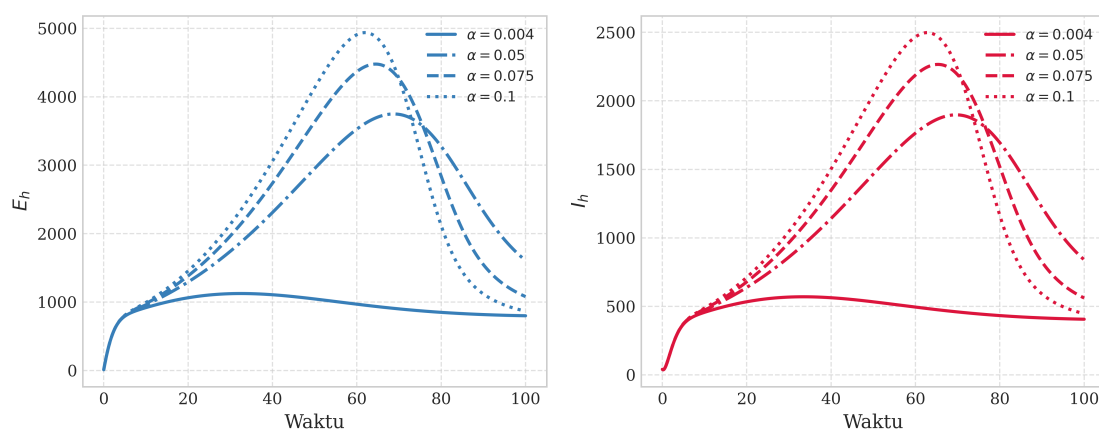
Gambar 3. Pengaruh perubahan nilai parameter terhadap nilai R_0

Hasil perhitungan nilai indeks sensitivitas dari setiap parameter memberikan pengaruh yang berbeda terhadap nilai bilangan reproduksi dasar R_0 . Indeks sensitivitas yang bernilai negatif menunjukkan bahwa perubahan nilai parameter tersebut memiliki hubungan berbanding terbalik dengan R_0 ; artinya, peningkatan nilai parameter akan menyebabkan penurunan nilai R_0 . Sebaliknya, indeks sensitivitas yang bernilai positif menunjukkan hubungan yang searah, yaitu peningkatan nilai parameter akan menyebabkan peningkatan nilai R_0 . Dengan demikian, arah dan

Secara umum, hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan nilai u secara signifikan menurunkan nilai R_0 sebagaimana yang terdapat pada Gambar 3. Hal ini menegaskan bahwa peningkatan kesadaran sosial memiliki dampak langsung dalam menekan potensi penyebaran penyakit. Di sisi lain, peningkatan nilai β_h cenderung meningkatkan nilai R_0 yang menunjukkan bahwa peningkatan laju penularan dapat memperbesar potensi terjadinya epidemi. Sementara itu, peningkatan nilai α juga berkontribusi



Gambar 6. Pengaruh perubahan u terhadap dinamika populasi



Gambar 7. Pengaruh perubahan α terhadap dinamika populasi

nifikan terhadap dinamika populasi terpapar dan terinfeksi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6. Peningkatan nilai u menyebabkan penurunan jumlah maksimum individu yang terpapar dan terinfeksi, serta mempercepat pencapaian kondisi stabil. Fenomena ini mencerminkan bahwa semakin tinggi tingkat kesadaran sosial dalam populasi, maka penyebaran penyakit dapat ditekan secara lebih efektif. Sebaliknya, pada nilai u yang lebih rendah, lonjakan kasus infeksi cenderung lebih tinggi dan berlangsung lebih lama. Hasil ini memperkuat pentingnya peran kesadaran sosial sebagai faktor determinan dalam pengendalian dinamika penyebaran penyakit DBD.

Selain tingkat kesadaran sosial yang tercermin dari parameter u , dinamika penyebaran penyakit juga sangat dipengaruhi oleh laju penurunan kesadaran tersebut, yang direpresentasikan oleh parameter α . Adapun simulasi terhadap pengaruh variasi nilai parameter α terhadap dinamika populasi individu terpapar dan terinfeksi disajikan pada Gambar 7. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa semakin besar nilai α , maka puncak jumlah individu terpapar dan terinfeksi menjadi semakin tinggi, dan waktu untuk mencapai puncak tersebut menjadi lebih singkat. Sebaliknya, pada nilai α yang lebih kecil, kurva menunjukkan peningkatan yang lebih lambat dan puncak kasus yang lebih rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin cepat individu kehilangan kesadaran terhadap pentingnya pencegahan penyakit, maka penyebaran DBD dalam populasi akan semakin tidak terkenda-

li. Temuan ini semakin memperkuat peran signifikan parameter α , dalam mengatur besarnya lonjakan kasus dan durasi epidemi dalam sistem.

4. Kesimpulan

Model matematika deterministik yang dikembangkan dalam penelitian ini berhasil merepresentasikan dinamika penyebaran DBD dengan mengintegrasikan faktor kesadaran sosial sebagai variabel model. Hasil analisis menunjukkan bahwa kestabilan sistem sangat bergantung pada nilai bilangan reproduksi dasar R_0 , di mana $R_0 < 1$ mengarah pada kondisi bebas penyakit, sedangkan $R_0 > 1$ menyebabkan terjadinya endemik. Analisis sensitivitas dan simulasi numerik menegaskan bahwa peningkatan kesadaran sosial efektif dapat menurunkan nilai bilangan reproduksi dasar secara signifikan, memperlambat laju penyebaran, dan mempercepat tercapainya kondisi bebas penyakit. Hal ini menunjukkan bahwa intervensi berbasis perilaku masyarakat dapat menjadi strategi penting dalam pengendalian DBD. Ke depannya, arah penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada kalibrasi parameter model menggunakan data empiris, sehingga diperoleh hasil yang lebih akurat dan dapat memperkuat rekomendasi kebijakan kesehatan masyarakat.

Kontribusi Penulis. C. A. Djuma: Konseptualisasi, perangkat lunak, analisis formal, penulisan naskah. N. Achmad: Validasi, kurasi data, analisis

formal. **A. R. Nuha:** Validasi, metodologi, perangkat lunak, penulisan dan penyuntingan. **I. K. Hasan:** Validasi, perangkat lunak, visualisasi. **A. Aرسال:** Validasi, visualisasi, analisis formal. Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi manuskrip yang diterbitkan.

Ucapan Terima Kasih. Penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan selama proses penelitian dan penulisan artikel ini. Penghargaan khusus disampaikan kepada editor dan para reviewer atas masukan dan koreksi yang sangat membantu dalam penyempurnaan naskah ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Kepala Laboratorium Jurusan Matematika, Universitas Negeri Gorontalo, atas fasilitas laboratorium yang telah diberikan dalam mendukung proses simulasi numerik pada penelitian ini.

Pembiayaan. Penelitian ini tidak menerima pembiayaan eksternal.

Konflik Kepentingan. Para penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan yang terkait dengan artikel ini.

Ketersediaan Data. Tidak tersedia.

Referensi

- [1] D. J. Gubler, "Dengue and Dengue Hemorrhagic Fever," *Clinical Microbiology Reviews*, vol. 11, no. 3, pp. 480–496, jul 1998, doi: [10.1128/CMR.11.3.480](https://doi.org/10.1128/CMR.11.3.480).
- [2] T. Chand Sahu, "An Early Dengue Virus Fever Diagnostic Tool," *International Journal Of Scientific Research In Engineering And Management*, vol. 08, no. 05, pp. 1–5, may 2024, doi: [10.55041/IJSREM35223](https://doi.org/10.55041/IJSREM35223).
- [3] F. Rahat, M. Khanam, K. Iman, U. Ghosh, and N. Ghosh, "Importance of Platelet Count and Hematocrit in Dengue Fever in Children," *Bangladesh Journal of Child Health*, vol. 44, no. 2, pp. 74–77, jan 2021, doi: [10.3329/bjch.v44i2.51129](https://doi.org/10.3329/bjch.v44i2.51129).
- [4] N. Sintia and L. Y. Hendrati, "Hubungan Kasus Demam Berdarah Dengue dengan Kepadatan Penduduk di Jawa Timur Tahun 2019-2020," *Media Gizi Kesmas*, vol. 12, no. 2, pp. 583–588, nov 2023, doi: [10.20473/mgk.v12i2.2023.583-588](https://doi.org/10.20473/mgk.v12i2.2023.583-588).
- [5] Kemenkes RI, "Deteksi Dini Demam Berdarah Dengue (DBD) dan Pengendaliannya di Indonesia Tahun 2023," Tech. Rep., 2023.
- [6] —, "Waspada Penyakit di Musim Hujan," 2024.
- [7] N. Aina Rahmania, S. Sutarto, and R. Indriyani, "Tindakan Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) dan 3M-Plus sebagai Upaya Pengendalian Vektor dalam Pencegahan Penyakit Demam Berdarah Dengue," *Jurnal Agromedicine*, vol. 5, no. 1, pp. 524–528, 2018.
- [8] A. Sutriyawan, W. Darmawan, H. Akbar, J. Habibi, and F. Fibranti, "Faktor yang Mempengaruhi Pemberantasan Sarang Nyamuk (PSN) Melalui 3M Plus dalam Upaya Pencegahan Demam Berdarah Dengue (DBD)," *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat*, vol. 11, no. 01, pp. 23–32, jan 2022, doi: [10.33221/jikm.v11i01.936](https://doi.org/10.33221/jikm.v11i01.936).
- [9] A. R. Nuha and Resmawan, "Analisis Model Matematika Penyebaran Penyakit Kolera Dengan Mempertimbangkan Masa Inkubasi," *Jurnal Ilmiah Matematika dan Terapan*, vol. 17, no. 2, pp. 212–229, nov 2020, doi: [10.22487/2540766X.2020.v17.i2.15200](https://doi.org/10.22487/2540766X.2020.v17.i2.15200).
- [10] A. R. Nuha, R. Resmawan, S. L. Mahmud, A. Asriadi, A. Agung, and S. I. U. Chasanah, "Analisis Dinamik pada Model Matematika SVEIBR dengan Kontrol Optimal Untuk Pengendalian Penyebaran Penyakit Kolera," *Euler : Jurnal Ilmiah Matematika, Sains dan Teknologi*, vol. 11, no. 1, pp. 154–165, jun 2023, doi: [10.34312/euler.v11i1.20611](https://doi.org/10.34312/euler.v11i1.20611).
- [11] R. Resmawan, A. R. Nuha, and L. Yahya, "Analisis Dinamik Model Transmisi COVID-19 dengan Melibatkan Intervensi Karantina," *Jambura Journal of Mathematics*, vol. 3, no. 1, pp. 66–79, 2021, doi: [10.34312/jjom.v3i1.8699](https://doi.org/10.34312/jjom.v3i1.8699).
- [12] A. R. Nuha, N. Achmad, and N. A. Supu, "Analisis Model Matematika Penyebaran Covid-19 Dengan Intervensi Vaksinasi Dan Pengobatan," *Jurnal Matematika UNAND*, vol. 10, no. 3, p. 406, 2021, doi: [10.25077/jmu.10.3.406-422.2021](https://doi.org/10.25077/jmu.10.3.406-422.2021).
- [13] R. A. S. Saleng, A. R. Nuha, L. Yahya, and R. Resmawan, "Analisis Dinamik Model Matematika Penyebaran Penyakit Tuberkulosis dengan Pengaruh Vaksin dan Pengobatan di Provinsi Gorontalo," *Equator: Journal of Mathematical and Statistical Sciences*, vol. 1, no. 1, p. 18, dec 2022, doi: [10.26418/ejmss.v1i1.59111](https://doi.org/10.26418/ejmss.v1i1.59111).
- [14] R. S. Imran, R. Resmawan, N. Achmad, and A. R. Nuha, "SEIPR-Mathematical Model of the Pneumonia Spreading in Toddlers with Immunization and Treatment Effects," *Jurnal Matematika, Statistika dan Komputasi*, vol. 17, no. 2, pp. 202–218, dec 2020, doi: [10.20956/jmsk.v17i2.11166](https://doi.org/10.20956/jmsk.v17i2.11166).
- [15] S. Saltina, N. Achmad, R. Resmawan, and A. R. Nuha, "Model Matematika Tipe Seiqr pada Penyebaran Penyakit Difteri," *Majalah Ilmiah Matematika dan Statistika*, vol. 22, no. 1, p. 14, mar 2022, doi: [10.19184/mims.v22i1.29337](https://doi.org/10.19184/mims.v22i1.29337).
- [16] E. N. Bano, A. Leltakaeb, and L. F. Obe, "Analisis Kestabilan Model Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengue (Dbd) Tipe Sir Memakai Larvasida," *STATMAT : Jurnal Statistika dan Matematika*, vol. 4, no. 1, pp. 9–27, jan 2022, doi: [10.32493/sm.v4i1.17529](https://doi.org/10.32493/sm.v4i1.17529).
- [17] N. S. Abdul, L. Yahya, R. Resmawan, and A. R. Nuha, "Dynamic Analysis Of The Mathematical Model Of The Spread Of Cholera With Vaccination Strategies," *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, vol. 16, no. 1, pp. 281–292, mar 2022, doi: [10.30598/barekengvol16iss1pp279-290](https://doi.org/10.30598/barekengvol16iss1pp279-290).
- [18] A. R. Nuha, N. Achmad, G. A. Rahman, S. Abdullah, S. I. U. Chasanah, N. Valentika, and L. O. Nashar, "Analysis Of Optimum Control On The Implementation Of Vaccination and Quarantine On The Spread Of Covid-19," *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, vol. 16, no. 4, pp. 1139–1146, dec 2022, doi: [10.30598/barekengvol16iss4pp1139-1146](https://doi.org/10.30598/barekengvol16iss4pp1139-1146).
- [19] L. O. Sabran and M. Jannah, "Model Matematika SEIRS-SEI Pada Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengue Dengan Pengaruh Suhu," *MAP (Mathematics and Applications) Journal*, vol. 2, no. 2, pp. 66–78, dec 2020, doi: [10.15548/map.v2i2.2267](https://doi.org/10.15548/map.v2i2.2267).
- [20] M. Z. Ndi, Y. A. Adi, and B. S. Djahi, "Deterministic and Stochastic Dengue Epidemic Model: Exploring The Probability Of Extinction," *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, vol. 16, no. 2, pp. 583–596, jun 2022, doi: [10.30598/barekengvol16iss2pp583-596](https://doi.org/10.30598/barekengvol16iss2pp583-596).
- [21] M. A. Khan and Fatmawati, "Dengue infection modeling and its optimal control analysis in East Java, Indonesia," *Heliyon*, vol. 7, no. 1, p. e06023, jan 2021, doi: [10.1016/j.heliyon.2021.e06023](https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06023).
- [22] D. Aldila, M. Z. Ndi, N. Anggriani, Windarto, H. Tasman, and B. D. Handari, "Impact of social awareness, case detection, and hospital capacity on dengue eradication in jakarta: A mathematical model approach," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 64, pp. 691–707, Feb. 2023, doi: [10.1016/j.aej.2022.11.032](https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.11.032).
- [23] L. J. Allen and G. E. Lahodny Jr, "Extinction Thresholds In Deterministic and Stochastic Epidemic Models," *Journal of Biological Dynamics*, vol. 6, no. 2, pp. 590–611, 2012, doi: [10.1080/17513758.2012.665502](https://doi.org/10.1080/17513758.2012.665502).
- [24] P. V. D. Driessche and J. Watmough, "Reproduction Numbers and Sub-threshold Epidemic Equilibria for Compartmental Models of Disease Transmission," *Mathematical Biosciences*, vol. 180, pp. 29–48, 2002.
- [25] S. D. Fisher, *Complex Variables*, 2nd ed. New York: Dover Publications, INC., 1999.
- [26] C. Castillo-Chavez and B. Song, "Dynamical Models of Tuberculosis and Their Applications," *Mathematical Biosciences and Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 361–404, 2004, doi: [10.3934/mbe.2004.1.361](https://doi.org/10.3934/mbe.2004.1.361).
- [27] M. Z. Ndi, *Pemodelan Matematika*. Yogyakarta: Deepublish, 2018.