

ANALISIS SENSITIVITAS MODEL MATEMATIKA PENYEBARAN PENYAKIT ANTRAKS PADA TERNAK DENGAN VAKSINASI, KARANTINA DAN PENGOBATAN

A. Alam¹ dan S. Sugiarto²

¹Program Studi Peternakan, Program Studi Diluar Kampus Utama (PSDKU)

²Program Studi Pendidikan Matematika, Program Studi Diluar Kampus Utama (PSDKU),

Universitas Pattimura

¹asmirani.alam24@gmail.com, ²sigith.sugiarto@gmail.com

ABSTRACT

Anthrax is an infectious disease in livestock with a fairly high mortality rate. So it is necessary to prevent and control its spread. This study aims to determine the appropriate action to prevent and control the spread of anthrax. This study modifies and analyzes the mathematical model of the spread of SVEIQR type of anthrax disease with vaccination, quarantine and medication treatment. Then the fixed point, basic reproduction number and sensitivity analysis were determined. The results of the analysis carried out on the modified model obtained two fixed points, namely a fixed point without disease and an endemic fixed point. Sensitivity analysis resulted in the transmission rate of *Bacillus antracis* bacteria, infection parameters of quarantined individuals, effectiveness of vaccination and recovery rate of quarantined individuals with the highest absolute sensitivity index value. The rate of vaccination does not significantly affect the number of exposed and infected populations. The higher the effectiveness of the vaccine, the less the number of exposed, infected and quarantined populations will be. The quarantine rate has no significant effect on the number of exposed and quarantined populations, while the infected population will decrease if the quarantine rate is increased.

Keywords : Dynamical System, Equilibrium Point, Sensitivity Analysis

ABSTRAK

Antraks merupakan penyakit menular pada ternak dengan tingkat kematian yang cukup tinggi. Sehingga perlu dilakukan pencegahan dan penanggulangan penyebarannya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui tindakan yang tepat untuk mencegah dan menanggulangi penyebaran penyakit antraks. Penelitian ini memodifikasi dan menganalisis model matematika penyebaran penyakit antraks tipe SVEIQR dengan perlakuan vaksinasi, karantina dan pengobatan. Selanjutnya ditentukan titik tetap, bilangan reproduksi dasar dan analisis sensitivitasnya. Hasil analisis yang dilakukan pada model hasil modifikasi diperoleh dua titik tetap, yaitu titik tetap tanpa penyakit dan titik tetap endemik. Analisis sensitivitas menghasilkan laju transmisi bakteri *Bacillus antracis*, parameter infeksi dari individu yang dikarantina, efektivitas vaksinasi dan laju pemulihan individu yang dikarantina dengan nilai mutlak indeks sensitivitas yang paling besar. Laju vaksinasi tidak berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah populasi

terekspose dan terinfeksi. Semakin tinggi efektivitas vaksin maka jumlah populasi terekspos, terinfeksi dan yang dikarantina semakin berkurang. Laju karantina tidak berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah populasi terekspos dan yang dikarantina, sedangkan populasi terinfeksi akan menurun jika laju karantina ditingkatkan.

Kata kunci : Analisis Sensitivitas, Sistem Dinamik, Titik Tetap.

I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang memiliki potensi yang besar di bidang pertanian. Dalam sektor pertanian, peran subsektor peternakan sangat penting sebagai pendukung penyediaan protein hewani yang berasal dari ternak. Usaha peternakan merupakan prospek yang layak untuk dikembangkan karena tingginya permintaan akan produk-produk peternakan. Usaha peternakan juga dapat memberi keuntungan yang cukup tinggi dan menjadi sumber pendapatan bagi banyak masyarakat pedesaan di Indonesia.

Mengelola suatu usaha tentu saja memiliki kendala, demikian juga dengan usaha peternakan. Masalah penyakit ternak yang dapat sewaktu-waktu terjadi dan mengganggu kondisi kesehatan hewan ternak sehingga dapat menimbulkan kerugian yang cukup besar bagi peternak. Kesehatan ternak adalah suatu kondisi tubuh hewan dengan seluruh sel yang menyusun dan cairan tubuh yang dikandungnya secara fisiologis berfungsi normal. Hewan sakit adalah suatu kondisi yang ditimbulkan oleh suatu individu hidup atau oleh penyebab lain baik yang diketahui maupun tidak diketahui, yang dapat merugikan kesehatan hewan tersebut.

Salah satu jenis gangguan kesehatan ternak atau penyakit ternak yang banyak ditemukan di Indonesia adalah antraks. Antraks adalah penyakit yang disebabkan *Bacillus anthracis* (Sunarno, 2019). Menurut Undang-Undang Peternakan dan Kesehatan Hewan, yaitu UU Nomor 18 Tahun 2009 dan perubahannya, UU Nomor 41 Tahun 2014 dijelaskan bahwa penyakit hewan menular strategis adalah penyakit hewan yang dapat menimbulkan angka kematian atau angka kesakitan yang tinggi pada hewan, dampak kerugian ekonomi, keresahan masyarakat dan atau bersifat zoonotik. Antraks merupakan penyakit zoonosis/zoonotik sehingga perlu ditangani dengan tepat. Beberapa tindakan untuk mencegah penyebaran penyakit antraks diantaranya adalah melakukan vaksinasi terhadap ternak secara rutin (Bagenda, Dariani and Yudianingtyas, 2018) dan memisahkan hewan ternak yang diduga terjangkit penyakit antraks dari hewan-hewan yang sehat (melakukan karantina) (Ditjen PKH, 2016).

Penyebaran penyakit menular dapat dimodelkan secara matematika untuk mengetahui tindakan yang tepat dalam mengendalikan dan menghentikan penyebaran penyakit menular, dalam hal ini penyebaran penyakit antraks pada ternak. Dengan memodelkan, kita dapat memprediksi efektivitas dan efisiensi suatu perlakuan atau tindakan dalam pencegahan dan pengendalian penyakit antraks. Ada beberapa penelitian terhadap model epidemik dari penyebaran penyakit antraks, diantaranya (Mackey and Kribs, 2021), meneliti penyebaran penyakit antraks pada zebra, (Asikin, 2020), meneliti tentang dinamika populasi penyebaran penyakit antraks dengan vaksinasi dan

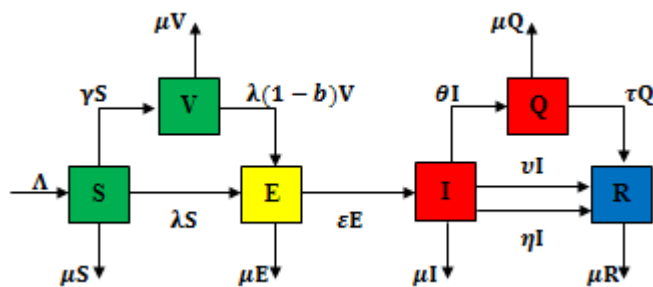
pengobatan dan (Megawati, Ratianingsih and Hajar, 2020), meneliti tentang dinamika populasi penyebaran penyakit antraks dengan vaksinasi dan kasus infeksi pada manusia.

II. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur yang bertujuan untuk mengembangkan dan memodifikasi model penyebaran penyakit antraks pada ternak. Penelitian ini memodifikasi model dan menambahkan kelas ter vaksin dan kelas ter karantina, serta pemberian pengobatan. Vaksinasi bertujuan untuk meningkatkan kekebalan tubuh ternak pada kelas rentan agar mengurangi resiko terpapar penyakit antraks, karantina bertujuan untuk menghindari kontak antara kelas terinfeksi dengan kelas rentan untuk mencegah penularan penyakit, dan pengobatan bertujuan untuk mempercepat penyembuhan kelas terinfeksi sehingga diperoleh model matematika penyebaran penyakit antraks tipe SVEIQR yang merupakan hasil modifikasi dan pengembangan model (Megawati, Ratianingsih and Hajar, 2020).

Populasi ternak pada penelitian ini dibagi enam kompartemen/kelas, yaitu kelas individu rentan (S), kelas individu ter vaksin (V), kelas individu terpapar (E), kelas individu terinfeksi (I), kelas individu yang dikarantina (Q), dan kelas individu sembuh (R). Pembagian kompartemen model penyebaran penyakit antraks dapat dilihat pada diagram alir yang disajikan pada Gambar 1. Beberapa pertimbangan atau batasan dalam merumuskan model matematika penyebaran penyakit antraks pada ternak dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Individu yang baru lahir berada pada kelas rentan;
2. Individu terpapar tidak dapat menularkan penyakit antraks;
3. Penyakit antraks dapat ditularkan oleh individu terinfeksi dan individu yang dikarantina; dan
4. Individu yang telah sembuh menjadi kebal terhadap penyakit antraks.



Gambar 1 : Skema Penyebaran Penyakit Antraks Tipe SVEIQR

Berdasarkan skema penyebaran penyakit antraks pada Gambar 1, dapat dirumuskan model matematika dalam bentuk sistem persamaan diferensial non linear sebagai berikut:

$$\frac{dS}{dt} = \Lambda - (\lambda + \gamma + \mu)S \tag{1}$$

$$\begin{aligned}\frac{dV}{dt} &= \gamma S - \lambda(1-b)V - \mu V \\ \frac{dE}{dt} &= \lambda S + \lambda(1-b)V - (\varepsilon + \mu)E \\ \frac{dI}{dt} &= \varepsilon E - (\theta + v + \eta + \mu)I \\ \frac{dQ}{dt} &= \theta I - (\tau + \mu)Q \\ \frac{dR}{dt} &= \tau Q + vI + \eta I - \mu R\end{aligned}$$

dengan $\lambda = \frac{\beta(I+\delta Q)}{N}$. Kondisi awal $S(0) > 0, V(0) > 0, E(0) > 0, I(0) > 0, Q(0) > 0$, dan $R(0) > 0$. Nilai parameter yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 : Nilai Parameter Penelitian

Parameter	Keterangan	Nilai	Sumber
Λ	Laju rekrutmen kelahiran	1.200	Asumsi
β	Laju transmisi bakteri <i>Bacillus antracis</i>	0,05601047	(Asikin, 2020)
δ	Parameter infeksi dari individu yang dikarantina	0,15	Asumsi
γ	Laju vaksinasi	0,15 – 0,95	Asumsi
b	Efektivitas vaksinasi	0,45 – 0,95	Asumsi
ε	Laju Pemindahan individu terpapar ke kelas terinfeksi	0,6	(Asikin, 2020)
θ	Laju karantina	0,15-0,95	Asumsi
v	Efektivitas pengobatan	0,05	(Asikin, 2020)
η	Laju pemulihan individu terinfeksi	0,0025	(Asikin, 2020)
τ	Laju pemulihan individu yang dikarantina	0,0025	Asumsi
μ	Laju kematian alami	0,0004	(Asikin, 2020)

Selanjutnya, dilakukan penentuan titik tetap, bilangan reproduksi dasar, analisis sensitivitas, dan simulasi numerik dari model matematika hasil modifikasi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Titik Tetap

Titik tetap dari sistem persamaan (1) diperoleh dengan cara menyelesaikan persamaan

$$\frac{dS}{dt} = \frac{dV}{dt} = \frac{dE}{dt} = \frac{dI}{dt} = \frac{dQ}{dt} = \frac{dR}{dt} = 0 \text{ sebagai berikut:}$$

$$\begin{aligned}\Lambda - (\lambda + \gamma + \mu)S &= 0 \\ \gamma S - \lambda(1-b)V - \mu V &= 0 \\ \lambda S + \lambda(1-b)V - (\varepsilon + \mu)E &= 0 \\ \varepsilon E - (\theta + v + \eta + \mu)I &= 0 \\ \theta I - (\tau + \mu)Q &= 0 \\ \tau Q + vI + \eta I - \mu R &= 0\end{aligned}\tag{2}$$

dengan $\lambda = \frac{\beta(I+\delta Q)}{N}$.

Berdasarkan sistem persamaan (2) diperoleh dua jenis titik tetap, yaitu titik tetap tanpa penyakit dan titik tetap endemik. Titik tetap tanpa penyakit memenuhi $E = I = Q = 0$. Sedangkan titik tetap endemik memenuhi $E \neq 0, I \neq 0$ dan $Q \neq 0$.

Titik tetap tanpa penyakit merupakan kondisi ketika semua individu menjadi sehat atau dapat dikatakan tidak terdapat penyakit pada suatu populasi tertentu. Dari sistem persamaan (2) diperoleh titik tetap tanpa penyakit

$$T^0(S, V, E, I, Q, R) = (S^0, V^0, 0, 0, 0, 0).$$

dengan

$$S^0 = \frac{\Lambda}{\gamma + \mu} \text{ dan } V^0 = \frac{\gamma \Lambda}{\mu(\gamma + \mu)}.$$

Titik tetap endemik merupakan kondisi ketika masih terdapat individu yang sakit atau penyakit belum menghilang dari suatu populasi tertentu. Dari sistem persamaan (2) diperoleh titik tetap endemik

$$T^*(S, V, E, I, Q, R) = (S^*, V^*, E^*, I^*, Q^*, R^*)$$

dengan

$$\begin{aligned} S^* &= \frac{\Lambda}{\lambda + \gamma + \mu}, & I^* &= \frac{\varepsilon E - \eta I}{\theta + v + \mu}, \\ V^* &= \frac{\gamma S^*}{(1-b)\lambda + \mu}, & Q^* &= \frac{\theta I^*}{\tau + \mu}, \\ E^* &= \frac{\lambda S^* + (1-b)\lambda V^*}{\varepsilon + \mu}, & R^* &= \frac{\tau Q^* + v I^* + \eta I^*}{\mu}. \end{aligned}$$

3.2. Bilangan Reproduksi Dasar

Pendekatan untuk menentukan bilangan reproduksi dasar (\mathcal{R}_0) dengan menggunakan matriks generasi selanjutnya dengan mengikuti Driessche dan Watmough (Van Den Driessche and Watmough, 2002). Penentuan bilangan reproduksi dasar hanya didasarkan pada urutan subpopulasi-subpopulasi yang menyebabkan infeksi, yaitu E, I dan Q berikut:

$$\begin{aligned} \frac{dE}{dt} &= \lambda S + \lambda(1-b)V - (\varepsilon + \mu)E \\ \frac{dI}{dt} &= \varepsilon E - (\theta + v + \eta + \mu)I \\ \frac{dQ}{dt} &= \theta I - (\tau + \mu)Q \end{aligned} \tag{3}$$

Berdasarkan sistem persamaan (3), maka diperoleh matriks F dan V yang dievaluasi pada titik tetap tanpa penyakit T^0 , yaitu:

$$F = \begin{pmatrix} 0 & \beta \left(\frac{(1-b)\gamma + \mu}{\gamma + \mu} \right) & \delta \beta \left(\frac{(1-b)\gamma + \mu}{\gamma + \mu} \right) \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

dan

$$V = \begin{pmatrix} \varepsilon + \mu & 0 & 0 \\ -\varepsilon & \theta + v + \eta + \mu & 0 \\ 0 & -\theta & \tau + \mu \end{pmatrix}$$

Selanjutnya diperoleh matriks G , dengan $G = FV^{-1}$ sebagai berikut:

$$G = \begin{pmatrix} G_{11} & G_{12} & G_{13} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

dengan

$$G_{11} = \frac{\varepsilon\beta((1-b)\gamma + \mu)}{(\gamma + \mu)(\varepsilon + \mu)(\theta + v + \eta + \mu)} + \frac{\varepsilon\vartheta\theta\beta((1-b)\gamma + \mu)}{(\gamma + \mu)(\varepsilon + \mu)(\theta + v + \eta + \mu)(\tau + \mu)},$$

$$G_{12} = \frac{\beta((1-b)\gamma + \mu)}{(\gamma + \mu)(\theta + v + \eta + \mu)} + \frac{\vartheta\theta\beta((1-b)\gamma + \mu)}{(\gamma + \mu)(\theta + v + \eta + \mu)(\tau + \mu)}, \text{ dan}$$

$$G_{13} = \frac{\vartheta\beta((1-b)\gamma + \mu)}{(\gamma + \mu)(\tau + \mu)}.$$

Berdasarkan matriks G di atas diperoleh nilai \mathcal{R}_0 yang merupakan nilai eigen dominan dari matriks G , yaitu:

$$\mathcal{R}_0 = \frac{\beta\varepsilon(k_3 + \delta\theta)((1-b)\gamma + \mu)}{(\gamma + \mu)(\varepsilon + \mu)(\theta + v + \eta + \mu)(\tau + \mu)} \quad (4)$$

3.3. Analisis Sensitivitas

Dinamika populasi pada penyebaran penyakit antraks pada ternak dipengaruhi oleh nilai dari setiap parameter. Perubahan nilai parameter akan mempengaruhi hasil simulasi, namun setiap parameter mempunyai besar pengaruh yang berbeda tergantung dari tingkat sensitivitas dari masing-masing parameter. Oleh karena itu, perlu adanya analisis sensitivitas setiap parameter terhadap bilangan reproduksi dasar. Analisis sensitivitas bertujuan untuk mengetahui parameter-parameter yang paling berpengaruh terhadap nilai \mathcal{R}_0 .

Analisis sensitivitas dilakukan dengan mempertimbangkan nilai indeks sensitivitas parameter ($\gamma_p^{\mathcal{R}_0}$). Indeks sensitivitas bilangan reproduksi dasar \mathcal{R}_0 yang bergantung pada parameter p diperoleh dengan

$$\gamma_p^{\mathcal{R}_0} = \frac{\partial \mathcal{R}_0}{\partial p} \times \frac{p}{\mathcal{R}_0}$$

dengan \mathcal{R}_0 merupakan persamaan pada (4) yang bergantung pada parameter model (Bandekar and Ghosh, 2022), (Malik *et al.*, 2022), yaitu Λ , β , δ , γ , b , ε , θ , v , η , τ , dan μ . Nilai Parameter yang digunakan adalah $\gamma = 0,45$, $b = 0,75$, $\theta = 0,6$ dan nilai parameter pada Tabel 1. Sehingga diperoleh nilai indeks sensitivitas yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2 dapat disimpulkan bahwa parameter yang memberikan pengaruh yang cukup besar adalah β , δ , b , dan τ masing-masing menyatakan laju transmisi bakteri

Bacillus anthracis, parameter infeksi dari individu yang dikarantina, efektivitas vaksinasi dan laju pemulihan individu yang dikarantina. Tanda positif pada indeks sensitivitas menunjukkan bahwa jika nilai parameter ditingkatkan, maka nilai \mathcal{R}_0 juga akan meningkat. Sedangkan tanda negatif pada indeks sensitivitas menunjukkan bahwa jika nilai parameter ditingkatkan, maka nilai \mathcal{R}_0 akan menurun.

Tabel 2 : Indeks Sensitivitas Parameter

Parameter	Indeks Sensitivitas
Λ	0
β	1
δ	0,968784
γ	-0,00164515
b	-1,85244
ε	0,000666223
θ	0,0498068
v	-0,0765814
η	-0,00382907
τ	-0,835158
μ	-0,133259

Selanjutnya, pada penelitian ini akan dilakukan simulasi numerik untuk menunjukkan pengaruh parameter γ , b dan θ .

Pengaruh laju vaksinasi (γ) terhadap dinamika populasi diketahui dengan menggunakan persamaan berikut

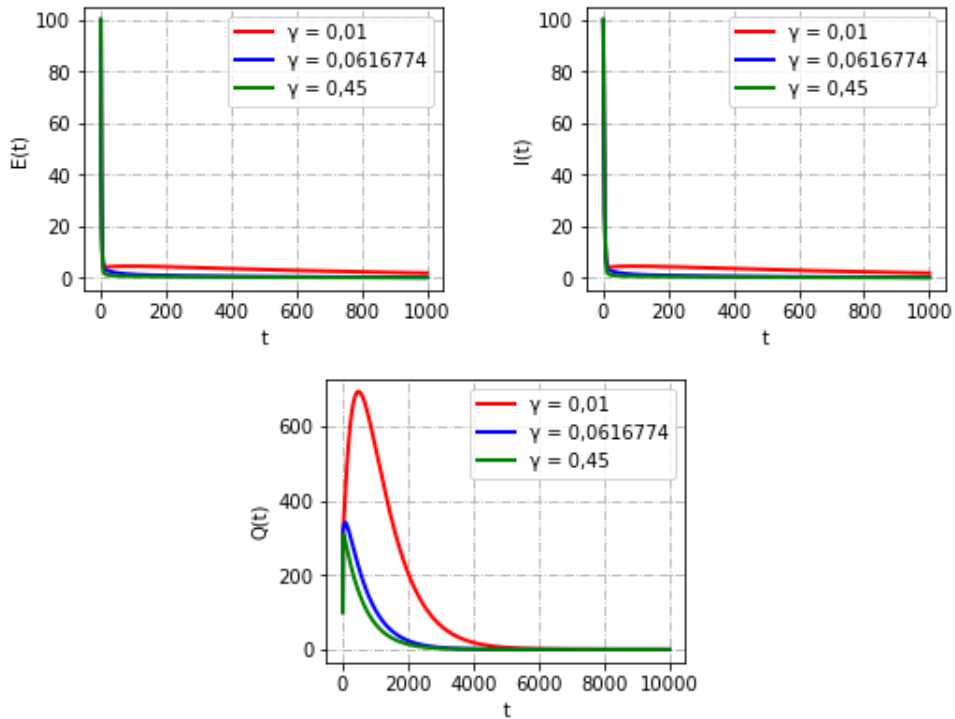
$$\frac{\partial \mathcal{R}_0}{\partial \gamma} = -\frac{b\beta\varepsilon\mu(\delta\theta + \tau + \mu)}{k_1k_2k_3(\gamma + \mu)^2} \quad (5)$$

Berdasarkan persamaan (5), $\frac{\partial \mathcal{R}_0}{\partial \gamma} < 0$ artinya bila laju vaksinasi (γ) meningkat sementara parameter lainnya dibuat konstan maka akan menurunkan bilangan reproduksi dasar \mathcal{R}_0 . Berdasarkan nilai $b = 0,64$, $\theta = 0,6$ dan nilai parameter pada Tabel 1 dan laju vaksinasi $\gamma = 0,0616774$, maka diperoleh nilai $\mathcal{R}_0 = 1$. Jika laju vaksinasi kurang dari $0,0616774$ maka $\mathcal{R}_0 > 1$, artinya dalam jangka panjang penyakit masih akan tetap ada dalam populasi, sedangkan jika laju vaksinasi lebih dari $0,0616774$ maka $\mathcal{R}_0 < 1$, artinya dalam jangka panjang penyakit akan hilang dari populasi. Perubahan nilai γ yang menyebabkan terjadinya perubahan nilai \mathcal{R}_0 dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3 : Pengaruh Laju Vaksinasi (γ) Terhadap Bilangan Reproduksi Dasar

Parameter γ	Bilangan Reproduksi Dasar
$\gamma = 0,01$	$\mathcal{R}_0 = 1,05628$
$\gamma = 0,0616774$	$\mathcal{R}_0 = 1$
$\gamma = 0,45$	$\mathcal{R}_0 = 0,990235$

Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin besar laju vaksinasi γ maka jumlah populasi terespos, terinfeksi dan yang dikarantina akan menurun. Hal ini menunjukkan bahwa jika laju vaksinasi lebih dari 0,0616774 maka penyakit akan hilang dari populasi.



Gambar 2 : Dinamika Populasi Ternak dengan Variasi Nilai γ

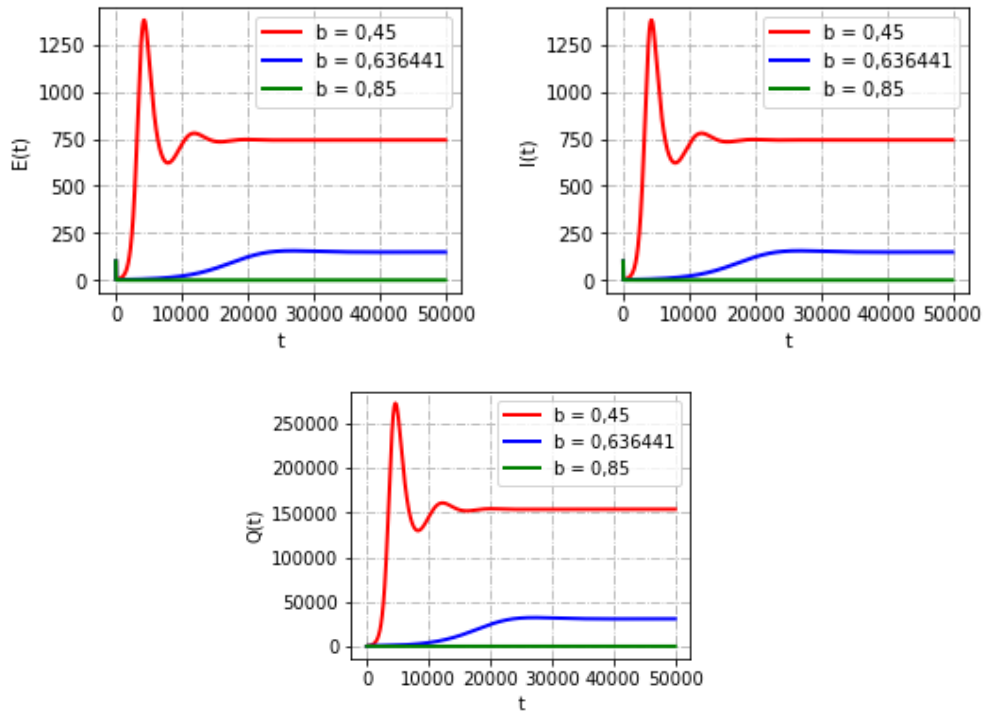
Pengaruh efektivitas vaksinasi (b) terhadap dinamika populasi diketahui dengan menggunakan persamaan berikut

$$\frac{\partial \mathcal{R}_0}{\partial b} = -\frac{\beta \gamma \varepsilon (\delta \theta + \tau + \mu)}{k_1 k_2 k_3 (\gamma + \mu)} \quad (6)$$

Berdasarkan persamaan (6), $\frac{\partial \mathcal{R}_0}{\partial b} < 0$ artinya bila efektivitas vaksinasi (ε) dinaikkan sementara parameter lainnya dibuat konstan maka akan menurunkan bilangan reproduksi dasar \mathcal{R}_0 . Berdasarkan nilai $\gamma = 0,45$, $\theta = 0,6$ dan nilai parameter pada Tabel 1 dan efektivitas vaksinasi $b = 0,636441$, maka diperoleh nilai $\mathcal{R}_0 = 1$. Jika efektivitas vaksinasi yang diberikan kurang dari 0,636441 maka $\mathcal{R}_0 > 1$, artinya dalam jangka panjang penyakit masih akan tetap ada dalam populasi, sedangkan jika efektivitas vaksinasi lebih dari 0,636441 maka $\mathcal{R}_0 < 1$, artinya dalam jangka panjang penyakit akan hilang dari populasi. Perubahan nilai ε yang menyebabkan terjadinya perubahan nilai \mathcal{R}_0 dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 : Pengaruh Efektivitas Vaksin Terhadap Bilangan Reproduksi Dasar

Parameter b	Bilangan Reproduksi Dasar
$b = 0,45$	$\mathcal{R}_0 = 1,511157$
$b = 0,636441$	$\mathcal{R}_0 = 1$
$b = 0,85$	$\mathcal{R}_0 = 0,414021$



Gambar 3 : Dinamika Populasi Ternak dengan Variasi Nilai b

Gambar 3 menunjukkan bahwa semakin kecil efektivitas vaksin b maka jumlah populasi terekspos, terinfeksi tanpa gejala, dan terinfeksi dengan gejala akan bertambah. Hal ini menunjukkan bahwa jika efektivitas vaksinasi lebih dari 0,636441 maka penyakit akan hilang dari populasi.

Pengaruh laju karantina (θ) terhadap dinamika populasi diketahui dengan menggunakan persamaan berikut

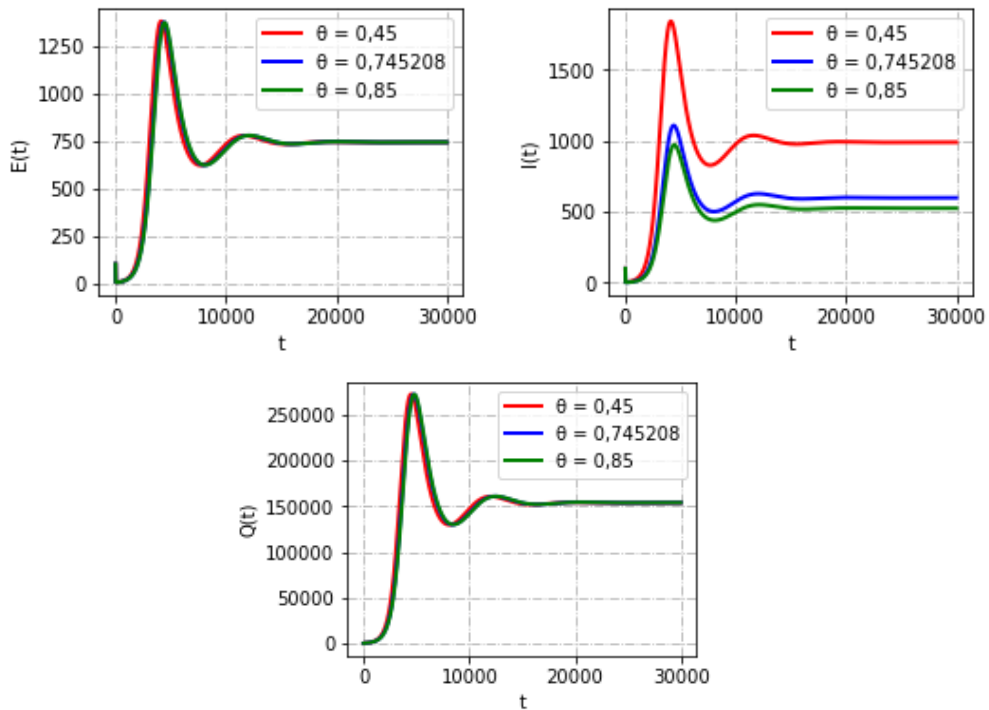
$$\frac{\partial \mathcal{R}_0}{\partial \theta} = \frac{\beta \varepsilon ((1-b)\gamma + \mu)(\mu + \tau - \delta(\eta + v + \mu))}{k_1 k_2^2 k_3 (\gamma + \mu)} \quad (7)$$

Berdasarkan persamaan (7), $\frac{\partial \mathcal{R}_0}{\partial \theta} > 0$ artinya bila laju karantina (θ) meningkat sementara parameter lainnya dibuat konstan maka akan meningkatkan bilangan reproduksi dasar \mathcal{R}_0 . Berdasarkan nilai $\gamma = 0,45$, $b = 0,64$ dan nilai parameter pada Tabel 1 dan laju karantina $\theta = 0,745208$, maka diperoleh nilai $\mathcal{R}_0 = 1$. Jika laju karantina lebih dari 0,745208 maka $\mathcal{R}_0 > 1$,

artinya dalam jangka panjang penyakit masih akan tetap ada dalam populasi, sedangkan jika laju karantina kurang dari 0,745208 maka $\mathcal{R}_0 < 1$, artinya dalam jangka panjang penyakit akan hilang dari populasi. Perubahan nilai θ yang menyebabkan terjadinya perubahan nilai \mathcal{R}_0 dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 : Pengaruh Laju Karantina (θ) Terhadap Bilangan Reproduksi Dasar

Parameter θ	Bilangan Reproduksi Dasar
$\theta = 0,45$	$\mathcal{R}_0 = 0,974228$
$\theta = 0,745208$	$\mathcal{R}_0 = 1$
$\theta = 0,85$	$\mathcal{R}_0 = 1,0051$



Gambar 4 : Dinamika Populasi Ternak dengan Variasi Nilai θ

Gambar 4 menunjukkan bahwa semakin besar laju karantina θ maka jumlah populasi terinfeksi akan menurun. Sedangkan, populasi terpapar dan populasi yang dikarantina tidak terjadi penurunan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa jika laju karantina lebih dari 0,745208 maka penyakit akan tetap menyebar dalam populasi.

IV. KESIMPULAN

Hasil analisis yang dilakukan pada model hasil modifikasi diperoleh dua titik tetap, yaitu titik tetap tanpa penyakit dan titik tetap endemik. Analisis sensitivitas menghasilkan laju transmisi bakteri *Bacillus antracis*, parameter infeksi dari individu yang dikarantina, efektivitas vaksinasi dan laju

pemulihan individu yang dikarantina dengan nilai mutlak indeks sensitivitas yang paling besar. Kemudian dilakukan simulasi numerik pada parameter laju vaksinasi, parameter efektivitas vaksin dan parameter laju karantina.

Laju vaksinasi tidak berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah populasi terekspos, terinfeksi. Semakin tinggi efektivitas vaksin maka jumlah populasi terekspos, terinfeksi dan yang dikarantina semakin berkurang. Laju karantina tidak berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah populasi terekspos dan yang dikarantina, sedangkan populasi terinfeksi akan menurun jika laju karantina ditingkatkan. Analisis ini memberikan informasi penting dalam melakukan tindakan pencegahan dan penanggulangan penyebaran penyakit antraks pada ternak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Malik *et al.*, Sensitivity analysis of COVID-19 with quarantine and vaccination: A fractal-fractional model, *Alexandria Eng. J.*, vol. 61, no. 11, pp. 8859–8874, 2022, doi: 10.1016/j.aej.2022.02.024.
- [2]. Mackey and C. Kribs, Can scavengers save zebras from anthrax? A modeling study, *Infect. Dis. Model.*, vol. 6, pp. 56–74, 2021, doi: 10.1016/j.idm.2020.10.016
- [3]. Ditjen PKH, Pedoman pengendalian dan pemberantasan penyakit hewan menular (PHM): Seri penyakit antraks. Direktorat Jenderal Peternakan dan Kesehatan Hewan. Kementerian Pertanian, Jakarta (Indonesia), 2016.
- I. Bagenda, W. Dariani, and D. W. Yudianingtyas, AEVI-1 Investigasi Outbreak Penyakit Antraks di Kabupaten Polewali Mandar Tahun 2016, *Hemera Zoa*, pp. 385–389, 2018, [Online]. Available: <https://jurnal.ipb.ac.id/index.php/hemera/article/view/23761>
- [4]. Megawati, R. Rationingsih, and Hajar, Analisis Kestabilan Penyebaran Penyakit Antraks Pada Populasi Hewan Dengan Pemberian Vaksinasi: Studi Kasus Untuk Infeksi Pada Populasi Manusia, *J. Ilm. Mat. Dan Terap.*, vol. 16, no. 2, pp. 172–184, 2020, doi: 10.22487/2540766x.2019.v16.i2.14989.
- [5]. N. P. Asikin, VSEIR Mathematical Model on Anthrax Disease Dissemination in Animal Population with Vaccination and Treatment Effect, *J. Mat. Stat. dan Komputasi*, vol. 17, no. 1, pp. 14–25, 2020, doi: 10.20956/jmsk.v17i1.10050.
- [6]. P. Van Den Driessche and J. Watmough, Reproduction numbers and sub-threshold endemic equilibria for compartmental models of disease transmission, *Math. Biosci.*, vol. 180, no. 1–2, pp. 29–48, 2002, doi: 10.1016/S0025-5564(02)00108-6.
- [7]. S. R. Bandekar and M. Ghosh, A co-infection model on TB - COVID-19 with optimal control and

sensitivity analysis, *Math. Comput. Simul.*, vol. 200, pp. 1–31, 2022, doi: 10.1016/j.matcom.2022.04.001.

- [8]. S. Sunarno, Identifikasi Agen Penyakit Anthrax Pada Sediaan Apus Darah Sapi Potong Di Surakarta, *Media Bina Ilm.*, vol. 14, no. 3, p. 2291, 2019, doi: 10.33758/mbi.v14i3.336.