



MODEL EPIDEMIK SIR DAN MODEL JARINGAN SYARAF TIRUAN DEMAM BERDARAH DENGUE DI NTB

Muhammad Rijal Alfian^{1✉}, Syamsul Bahri², Marwan³, Lailia Awalusshaumi⁴, Lisa Harsiyah⁵, Kamalatul Azmi⁶, Helmina Andriani⁷

Info Artikel

Article History:

Received November 2022

Revised June 2023

Accepted June 2023

Keywords:

Dengue Hemorrhagic Fever, Artificial Neural Network, SIR Model.

How to Cite:

Alfian, M. R., Bahri, S., Marwan, Awalusshaumi, L., Harsiyah, L., Azmi, K., & Andriani, H. (2023) Model Epidemik SIR dan Model Jaringan Syaraf Tiruan Demam Berdarah Dengue di NTB. *Jurnal Silogisme: Kajian Ilmu Matematika dan Pembelajarannya*, 8 (1), halaman (39-48).

Abstrak

Salah satu masalah kesehatan untuk negara beriklim tropis dan subtropis adalah Demam Berdarah Dengue (DBD). Sepanjang 2021, ada 73.518 kasus DBD di Indonesia dengan 2.697 kasus terjadi di NTB dengan kasus kematian yang disebabkan oleh DBD sebanyak 21 kasus. Penyakit DBD dengan prediksi perkembangan jumlah penderita yang terinfeksi dapat dimodelkan dengan menggunakan model matematis epidemiologi yaitu model persamaan diferensial nonlinear SIR yang diklasifikasi ke dalam tiga kompartemen yaitu S (*Susceptible*), I (*Infectious*), dan R (*Recovered*) serta dapat disimulasikan dengan *neural network*. Dalam *neural network*, terdapat ide untuk melakukan pemetaan suatu fungsi pada konsep *classifier* yaitu pengklasifikasian objek dengan memanfaatkan persamaan linear, $y = f(x)$ untuk meregresi data. Data yang digunakan adalah data sekunder yang bersumber dari Dinas Kesehatan Provinsi NTB. Data yang diperoleh kemudian dianalisis sehingga memperoleh titik keseimbangan. Dari hasil analisis model SIR penyebaran penyakit demam berdarah di NTB diperoleh dua titik keseimbangan namun hanya satu titik yang stabil asimtotik karena semua nilai eigen yang diperoleh bernilai negatif. Nilai dari $R_0 = 0.034912786 < 1$, artinya titik keseimbangan bebas penyakit demam berdarah di NTB berangsur-angsur akan menghilang.

Abstract

One of the health problems for countries with tropical and subtropical climates is Dengue Hemorrhagic Fever. In 2021, there are 73.518 cases of DHF in Indonesia with 2.697 cases occurring in NTB and 21 cases of death caused by DHF. DHF disease with the prediction of the number of infected patients can be modeled using mathematical model epidemiology the nonlinear SIR differential equation model which is classified into three compartments, that is S (Susceptible), I (Infectious), and R (Recovered), and can be simulated with a neural network. In a neural network, there is an idea to map a function to the classifier concept, namely classifying objects using a linear equation, $y = f(x)$ to regress the data. The data used is secondary data sourced from the NTB Provincial Health Office. The data obtained is then analyzed to obtain a balance point. From the results of the analysis of the SIR model of the spread of dengue fever in NTB, two equilibrium points were obtained, but only one point was asymptotically stable because all the eigenvalues obtained were negative. The value of $R_0 = 0.034912786 < 1$, means that the point of free balance of dengue fever in NTB will gradually disappear.

PENDAHULUAN

Salah satu masalah kesehatan untuk negara beriklim tropis dan subtropis adalah Demam Berdarah Dengue (DBD). Demam berdarah telah mempengaruhi 129 negara, 70% telah menular di Asia, yang menyebabkan hampir 390 juta pasien terkena dampak setiap tahun, dimana 96 juta bermanifestasi secara klinis. Jumlah kasus demam berdarah yang dilaporkan ke Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) meningkat lebih dari delapan kali lipat selama dua dekade terakhir. Dari sekitar 0,5 juta kasus pada tahun 2000, pada tahun 2020 telah menjadi lebih dari 2,4 juta pada tahun 2010 dan ada tahun 2019 menjadi lebih dari 4,2 juta kasus (Leowattana & Leowattana, 2021). Data Kementerian Kesehatan menunjukkan, ada 73.518 kasus DBD di Indonesia sepanjang 2021. Bersumber dari Seksi Penanggulangan Penyakit, Dinas Kesehatan Provinsi NTB, 2022 (Update 14 Mret 2022), di NTB pada tahun 2021 didapatkan jumlah kasus DBD yaitu sebanyak 2.697 kasus. Untuk kasus DBD berdasarkan jenis kelamin pada laki-laki berjumlah 1.399, dan untuk perempuan sebanyak 1.298. Sedangkan kematian yang disebabkan oleh DBD sebanyak 21 kasus (Provinsi NTB, 2023).

Penyakit DBD dengan prediksi perkembangan jumlah penderita yang terinfeksi dapat dimodelkan dengan menggunakan model matematis epidemiologi yaitu model persamaan diferensial nonlinear SIR (Susceptible, Infectious and Recovered). Model SIR merupakan salah satu model matematika dalam epidemiologi penyakit menular. Beberapa penelitian menggunakan model SIR yakni untuk mengasumsikan penyebaran COVID-19 (Cooper et al., 2020), (Kudryashov et al., 2021), (Adi-kusumo & Susyanto, 2020), penyebaran penyakit pertussis dengan vaksinasi (Sir et al., 2018), untuk penyebaran penyakit Hepatitis B (Side et al., 2020), dan masih banyak lain. Oleh karena itu, penulis mencoba memodelkan model SIR untuk melihat prediksi penyebaran penyakit DBD di daerah provinsi NTB.

Selain dengan model SIR, akan dicoba juga melihat penyebaran DBD dengan menggunakan konsep Jaringan Syaraf Tiruan. Dalam neural network, terdapat ide untuk melakukan pemetaan suatu fungsi pada konsep classifier yaitu pengklasifikasian objek dengan memanfaatkan persamaan linear, $y = f(x)$ untuk meregresi data. Secara teori, model jaringan syaraf tiruan terdiri dari dua tipe, model jaringan syaraf tiruan statik dan model jaringan syaraf tiruan dinamik (Bahri et al., 2022). Penggunaan jaringan syaraf tiruan telah banyak dilakukan yaitu untuk pengenalan pola tanda tangan (Octariadi, 2020), klasifikasi COVID-19 (Yudono et al., 2022), dan prediksi curah hujan harian (Bahri & Irwansyah, 2019).

Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan pendekatan terhadap penyebaran penyakit dengan model SIR yang dikembangkan untuk menghitung persamaan diferensial pada kasus epidemi penyakit Demam Berdarah Danguue (DBD) dengan membuat model neural network yang mampu melakukan pendekatan fungsi untuk masalah persamaan diferensial. Pendekatan ini diusulkan untuk memperoleh hasil analisis dan model penyebaran penyakit Demam Berdarah yang dapat digunakan untuk mengetahui kondisi dan perkembangan penyebaran penyakit Demam Berdarah, sehingga dapat dilakukan aktivitas pencegahan ataupun penanggulangan penyakit Demam Berdarah, khususnya di wilayah NTB.

METODE

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian terapan (*applied research*) dengan pendekatan kuantitatif yaitu dengan mengambil atau mengumpulkan data yang diperlukan dan menganalisisnya dengan menggunakan model persamaan diferensial SIR. Data yang digunakan adalah data sekunder yaitu jumlah kasus penderita penyakit DBD di Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB) pada tahun 2019-2021 dari Dinas Kesehatan Provinsi NTB. Jumlah kasus yang diperoleh sebanyak 2.697 kasus. Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah jumlah populasi rentan (S), jumlah populasi terinfeksi (I), dan jumlah populasi sembuh (R), sedangkan jumlah total populasi manusia dilambangkan dengan (N), dimana $N = S + I + R$.

Adapun langkah-langkah yang dilakukan antara lain:

1. Perumusan Model

Dilakukan perumusan model dengan persamaan diferensial yaitu sistem dinamika, penggunaan sistem dinamik ini disebabkan penyebaran penyakit DBD pada suatu wilayah bergantung pada waktu. Model matematika yang akan dianalisis pada penelitian ini adalah model matematika SIR (*Susceptible, Infected, Recovered*).

2. Inisialisasi Parameter Model Penyebaran DBD

Pada penelitian ini, terdapat empat parameter yaitu K , μ , β , dan γ . Parameter K adalah jumlah kelahiran bayi per-tahun. Parameter μ didefinisikan sama dengan kebalikan dari rata-rata angka harapan hidup. Parameter β merupakan tingkat penularan penyakit DBD dan γ merupakan parameter yang dapat menentukan laju kesembuhan penyakit.

K = tingkat kelahiran individu dengan rentang $0 \leq K \leq 1$

μ = tingkat kematian alami individu dengan rentang $0 \leq \mu \leq 1$

β = tingkat penularan dari individu terinfeksi dengan rentang $0 \leq \beta \leq 1$

γ = tingkat kesembuhan individu terinfeksi dengan rentang $0 \leq \gamma \leq 1$

3. Penentuan Titik Equilibrium

Penentuan titik equilibrium dilakukan untuk menentukan titik kesetimbangan, sehingga dapat diketahui keadaan bebas penyakit DBD dan keadaan terjangkit penyakit. Titik kesetimbangan diperoleh dengan meninjau sistem pada keadaan stagnan serta berbentuk konstant terhadap t . Dalam menentukan kestabilan titik ekuilibrium dilakukan linearisasi oleh sistem persamaan diferensial non linier. Kemudian didapatkan matriks Jacobian, dari matriks tersebut didapatkan nilai eigen. Nilai eigen berfungsi untuk mencari kestabilan dan titik ekuilibrium sistem. Jika $\lambda_1, \lambda_2, \text{ dan } \lambda_3$ memiliki nilai negatif maka $R_0 < 1$ dan jika salah satu dari $\lambda_1, \lambda_2, \text{ dan } \lambda_3$ memiliki nilai positif maka $R_0 > 1$, sehingga dapat disimpulkan:

- Pada saat $R_0 < 1$, maka titik kesetimbangan sistem bersifat stabil asimtotik
- Pada saat $R_0 > 1$, maka titik kesetimbangan sistem bersifat tidak stabil

4. Penentuan Bilangan Reproduksi Dasar

Setelah ditentukan titik equilibrium penyakit, maka dilakukan penentuan bilangan reproduksi dasar penyakit. Hal ini bertujuan untuk mengetahui tingkat penyebaran penyakit DBD di NTB dengan metode *next generation matrix*. *Basic reproduction number* merupakan populasi yang menjadi penyebab penyebaran penyakit DBD sehingga harus dikendalikan.

5. Linearisasi

Kemudian dilakukan linearisasi persamaan diferensial nonlinier menjadi persamaan linier dengan menggunakan matriks Jacobian. Selanjutnya, matriks Jacobian dapat digunakan untuk menentukan nilai eigen dari setiap titik equilibrium yang diperoleh.

6. Analisis Kestabilan Model

Analisis kestabilan model dapat ditentukan melalui kriteria jenis kestabilan di sekitar masing-masing titik equilibrium diperoleh berdasarkan nilai eigen. Hal ini bertujuan untuk mengetahui titik equilibrium stabil atau tidak stabil

7. Pemodelan Dengan Jaringan Syaraf Tiruan

Tahap ini adalah model jaringan syaraf tiruan untuk kasus DBD. Pada tahapan ini dilakukan dengan membuat arsitektur jaringan syaraf tiruan. Setelah itu data diproses dalam dua tahap yaitu tahap pelatihan dan tahap tes.



HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Model Epidemik SIR pada Penyebaran Demam Berdarah di NTB

Proses pemodelan secara matematis dari model SIR (*Susceptible Infected Recovered*) digunakan pada penyebaran penyakit karena model SIR membagi populasi menjadi tiga kondisi sehingga memudahkan peneliti dalam menganalisis model. Adapun model SIR (*Susceptible Infected Recovered*) yaitu, *susceptible* (S) adalah kondisi individu yang sehat tetapi dapat terinfeksi penyakit, *infected* (I) adalah kondisi individu yang terinfeksi serta dapat menularkan penyakit dan *recovered* (R) adalah kondisi individu yang telah sembuh dan kebal dari penyakit. Dalam penelitian ini digunakan dugaan atau asumsi yaitu jumlah populasi tetap dan bersifat tertutup (tidak ada penambahan dan pengurangan populasi), dan total populasi diasumsikan konstan. Dalam penelitian ini digunakan beberapa parameter. Berikut data yang digunakan dalam analisis model disajikan dalam bentuk tabel:

Tabel 1. Nilai Parameter

Parameter	Jumlah
$\beta(t)$	0.00000018796667
$\gamma(t)$	0.0005029988
K(t)	0.9989900551
$\mu(t)$	0.0140173816

Berdasarkan hasil penentuan parameter yang sudah dilakukan maka didapatkan model penyebaran penyakit Demam Berdarah (DBD) sebagai berikut :

$$\frac{dS}{dt} = 0.9989900551 - 0.0140173816S - 0.00000018796667SI$$

$$\frac{dI}{dt} = 0.00000018796667SI - 0.0140173816I - 0.0005029988I$$

$$\frac{dR}{dt} = 0.0005029988I - 0.0140173816R$$

2. Bilangan Reproduksi Awal

Bilangan reproduksi awal adalah jumlah rata-rata dari kasus sekunder yang disebabkan oleh individu yang terinfeksi selama masa terinfeksi dalam suatu populasi individu rentan. Bilangan reproduksi awal dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$R_0 = \frac{\beta}{(\mu + \gamma)}$$

$$R_0 = \frac{0.0005069461}{(0.0140173816 + 0.0005029988)}$$

$$R_0 = \frac{0.0005069461}{(0.0145203804)}$$

$$R_0 = 0.0349127286$$

Nilai dari R_0 yaitu 0.034912786 yang artinya $R_0 < 1$, sehingga titik keseimbangan sistem stabil asimptotik.

3. Analisis Kestabilan Titik Keseimbangan

Menganalisis kestabilan titik keseimbangan suatu sistem dilakukan dengan melihat nilai eigen (*Eigenvalues*). Langkah pertama dalam mencari nilai eigen yaitu dengan menggunakan matriks jacobian (MJ). Berdasarkan matriks Jacobian, diperoleh persamaan berikut:

$$MJ = \begin{bmatrix} -\beta I - \mu & -\beta S & 0 \\ I\beta & S\beta - \gamma - \mu & 0 \\ 0 & \gamma & -\mu \end{bmatrix}$$

Selanjutnya nilai eigen dapat dicari dengan melihat determinan dari matriks jacobian (MJ) yang telah dievaluasi terhadap titik keseimbangan sebagai berikut:

a. Untuk $TE_1 = \left(\frac{K}{\mu}, 0, 0\right)$

$$\begin{bmatrix} -\beta I - \mu & -\beta S & 0 \\ I\beta & S\beta - \gamma - \mu & 0 \\ 0 & \gamma & -\mu \end{bmatrix}_{\left(\frac{K}{\mu}, 0, 0\right)} = \begin{bmatrix} -\mu & -\beta \frac{K}{\mu} & 0 \\ 0 & \frac{K}{\mu}\beta - \gamma - \mu & 0 \\ 0 & \gamma & -\mu \end{bmatrix}$$

$$\det \left(\begin{bmatrix} -\mu & -\beta \frac{K}{\mu} & 0 \\ 0 & \frac{K}{\mu}\beta - \gamma - \mu & 0 \\ 0 & \gamma & -\mu \end{bmatrix} - \left(\lambda \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \right) \right) = 0$$

$$\det \left(\begin{bmatrix} -\mu & -\beta \frac{K}{\mu} & 0 \\ 0 & \frac{K}{\mu}\beta - \gamma - \mu & 0 \\ 0 & \gamma & -\mu \end{bmatrix} - \left(\begin{bmatrix} \lambda & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & 0 \\ 0 & 0 & \lambda \end{bmatrix} \right) \right) = 0$$

$$\begin{bmatrix} -\mu - \lambda & -\beta \frac{K}{\mu} & 0 \\ 0 & \frac{K}{\mu}\beta - \gamma - \mu - \lambda & 0 \\ 0 & \gamma & -\mu - \lambda \end{bmatrix} = 0$$

$$(-\mu - \lambda) \left(\frac{K}{\mu}\beta - \gamma - \mu \right) (-\mu - \lambda) = 0$$

Dengan demikian diperoleh nilai eigen (λ) yaitu :

$$\lambda_1 = -\mu = -0.0140173816$$

$$\lambda_2 = \frac{K}{\mu}\beta - \gamma - \mu, \text{ dimana } \frac{K}{\mu} = 1 \text{ maka, } = \beta - (\gamma + \mu) = R_0(\gamma + \mu) - (\gamma + \mu) = (R_0 - 1)(\gamma + \mu)$$

$$\lambda_2 = (R_0 - 1)(\gamma + \mu) = -0.0145201924$$

$$\lambda_3 = -\mu = -0.0140173816$$

Karena $R_0 < 1$ dan $\lambda_1, \lambda_2, \text{ dan } \lambda_3$ memiliki nilai negatif maka dapat disimpulkan bahwa titik kesetimbangan sistem bersifat stabil asimtotik, yang artinya titik keseimbangan bebas penyakit Demam Berdarah (DBD) akan menghilang.

b. Untuk $TE_2 = \left(\frac{\gamma + \mu}{\beta}, \frac{K\beta - \gamma\mu - \mu^2}{\beta(\gamma + \mu)}, \frac{\gamma(K\beta - \gamma\mu - \mu^2)}{\beta(\gamma + \mu)}\right)$

$$\begin{bmatrix} -\beta I - \mu & -\beta S & 0 \\ I\beta & S\beta - \gamma - \mu & 0 \\ 0 & \gamma & -\mu \end{bmatrix} \left(\left(\frac{\gamma + \mu}{\beta}, \frac{K\beta - \gamma\mu - \mu^2}{\beta(\gamma + \mu)}, \frac{\gamma(K\beta - \gamma\mu - \mu^2)}{\beta(\gamma + \mu)} \right) \right)$$

$$= \begin{bmatrix} -\beta \left(\frac{K\beta - \gamma\mu - \mu^2}{\beta(\gamma + \mu)} \right) - \mu & -\beta \left(\frac{\gamma + \mu}{\beta} \right) & 0 \\ \left(\frac{K\beta - \gamma\mu - \mu^2}{\beta(\gamma + \mu)} \right) \beta & \left(\frac{\gamma + \mu}{\beta} \right) \beta - \gamma - \mu & 0 \\ 0 & \gamma & -\mu \end{bmatrix}$$

$$\det \left(\begin{bmatrix} -\beta \left(\frac{K\beta - \gamma\mu - \mu^2}{\beta(\gamma + \mu)} \right) - \mu & -\beta \left(\frac{\gamma + \mu}{\beta} \right) & 0 \\ \left(\frac{K\beta - \gamma\mu - \mu^2}{\beta(\gamma + \mu)} \right) \beta & \left(\frac{\gamma + \mu}{\beta} \right) \beta - \gamma - \mu & 0 \\ 0 & \gamma & -\mu \end{bmatrix} - \left(\lambda \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \right) \right) = 0$$

$$\det \left(\begin{bmatrix} -\beta \left(\frac{K\beta - \gamma\mu - \mu^2}{\beta(\gamma + \mu)} \right) - \mu & -\beta \left(\frac{\gamma + \mu}{\beta} \right) & 0 \\ \left(\frac{K\beta - \gamma\mu - \mu^2}{\beta(\gamma + \mu)} \right) \beta & \left(\frac{\gamma + \mu}{\beta} \right) \beta - \gamma - \mu & 0 \\ 0 & \gamma & -\mu \end{bmatrix} - \left(\begin{bmatrix} \lambda & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & 0 \\ 0 & 0 & \lambda \end{bmatrix} \right) \right) = 0$$

$$\det \begin{bmatrix} -\beta \left(\frac{K\beta - \gamma\mu - \mu^2}{\beta(\gamma + \mu)} \right) - \mu - \lambda & -\beta \left(\frac{\gamma + \mu}{\beta} \right) & 0 \\ \left(\frac{K\beta - \gamma\mu - \mu^2}{\beta(\gamma + \mu)} \right) \beta & \left(\frac{\gamma + \mu}{\beta} \right) \beta - \gamma - \mu - \lambda & 0 \\ 0 & \gamma & -\mu - \lambda \end{bmatrix} = 0$$

$$\left[\left(-\beta \left(\frac{K\beta - \gamma\mu - \mu^2}{\beta(\gamma + \mu)} \right) - \mu - \lambda \right) \left(\left(\frac{\gamma + \mu}{\beta} \right) \beta - \gamma - \mu - \lambda \right) (-\mu - \lambda) \right]$$

$$- \left[(-\mu - \lambda) \left(-\beta \left(\frac{\gamma + \mu}{\beta} \right) \right) \left(\left(\frac{K\beta - \gamma\mu - \mu^2}{\beta(\gamma + \mu)} \right) \beta \right) \right] = 0$$

Misalkan,

$$a = \beta \left(\frac{K\beta - \gamma\mu - \mu^2}{\beta(\gamma + \mu)} \right) - \mu = -0.0280218288$$

$$b = \left(\frac{\gamma + \mu}{\beta} \right) \beta - \gamma - \mu = 0$$

$$c = \beta \left(\frac{\gamma + \mu}{\beta} \right) = 0.0145203804$$

$$d = \left(\frac{K\beta - \gamma\mu - \mu^2}{\beta(\gamma + \mu)} \right) \beta = -0.0140044472$$

Maka,

$$[(-a - \lambda)(b - \lambda)] - [(-\mu - \lambda)(-c)(d)] = 0$$

$$-\lambda^3 - \lambda^2 (a - b + \mu) - \lambda(-ab - b\mu + a\mu) + ab\mu - cd\mu - cd\lambda = 0$$

$$-\lambda^3 - \lambda^2 (a - b + \mu) - \lambda(-ab - b\mu + a\mu + cd) + ab\mu - cd\mu = 0$$

$$-\lambda^3 - \lambda^2 (a - b + \mu) - \lambda(-ab - b\mu + a\mu + cd) + (ab - cd)\mu = 0$$

$$-\lambda^3 - \lambda^2 (a - b + \mu) - \lambda(-ab - b\mu + a\mu + cd) + ab\mu - cd\mu = 0$$

Dengan demikian, diperoleh nilai eigen (λ) yaitu:

$$-\lambda^3 - \lambda^2 (-0.0280218288 - 0 + 0.0140173816) - \lambda(-(-0.0280218288)(0) - (0)(0.0140173816) + (-0.0280218288)(0.0140173816) + (0.0145203804)(-0.0140044472)) + (-0.0280218288)(0)(0.0140173816) - (0.0145203804)(-0.0140044472)(0.0140173816) = 0$$

$$-\lambda^3 - \lambda^2 (-0.0140044472) - \lambda((0) - (0) + (-0.0003927927) + (-0.0002033499)) + (0) - (-0.0000028504) = 0$$

$$-\lambda^3 + \lambda^2(0.0140044472) + \lambda(0.0005961426) + (0.0000028504) = 0$$

$$(-\lambda + 0.0140175)(-\lambda + 0.00598037)(-\lambda + 0.0340023) = 0$$

$$\lambda_1 = 0.0140175$$

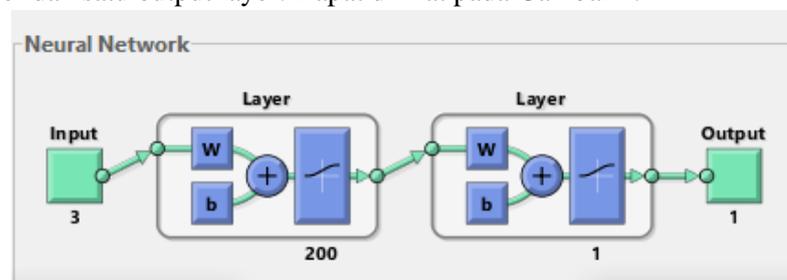
$$\lambda_2 = 0.00598037$$

$$\lambda_3 = 0.0340023$$

Karena $R_0 < 1$ dan $\lambda_1, \lambda_2, \text{ dan } \lambda_3$ memiliki nilai positif maka dapat disimpulkan bahwa titik kesetimbangan sistem untuk TE_2 tidak stabil yang artinya penderita DBD dapat menularkan penyakit DBD kepada orang yang sehat sehingga kejadian tersebut dapat dikatakan terjadi epidemik. Namun karena titik kesetimbangan sistem TE_2 tidak stabil, maka untuk analisis dalam penelitian ini digunakan titik kesetimbangan sistem TE_1 sehingga penyakit DBD di NTB dapat dikatakan sembuh dan bebas dari penyakit.

4. Pemodelan dengan Jaringan Syaraf Tiruan

Masalah epidemik SIR pada kasus demam berdarah (DBD) ini juga dapat dimodelkan menggunakan jaringan syaraf tiruan untuk mengetahui pola atau tren dari penyakit DBD di Provinsi NTB. Jaringan Syaraf Tiruan (JST) pada dasarnya mengambil ide dari cara kerja jaringan syaraf biologis. Salah satu pengambilan ide atau cara kerja dari jaringan syaraf biologis adalah adanya elemen-elemen pemrosesan pada jaringan syaraf tiruan yang saling terhubung dan beroperasi secara paralel. Elemen pemrosesan tersebut disebut neuron. Setiap neuron pada tiap-tiap layer menerima data input, memproses input tersebut kemudian mengirimkan hasilnya berupa sebuah output. Pada penelitian ini, arsitektur jaringan yang digunakan adalah Multi Layer Perceptron (MLP) yang terdiri dari satu input layer, satu hidden layer dan satu output layer. Dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Arsitektur Jaringan

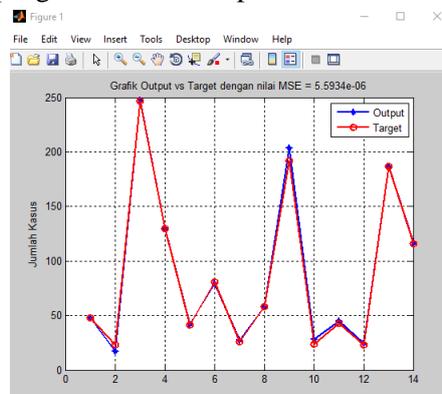
Dalam input layer terdapat tiga neuron untuk masing-masing kompartemen, neuron tersebut merupakan nilai dari t yaitu pola waktu yang akan digunakan, kemudian nilai-nilai dari *input layer* akan diteruskan ke *hidden layer* dengan bobot-bobot bernilai w_i . Terdapat satu *hidden layer* dengan 200 neuron yang masing-masing bernilai z . Nilai z ini diperoleh melalui perhitungan:

$$z_i = w_i(t) + b$$

Dimana b adalah nilai bias. Selanjutnya *hidden layer* dihubungkan ke *output layer* oleh bobot-bobot yang bernilai w_j . *Output layer* memiliki satu nilai *output* yaitu $N(t,p)$. Fungsi aktivasi yang digunakan yaitu sigmoid biner (*logsig*) untuk setiap lapisan tersembunyi dan lapisan output. Dan fungsi pelatihan yang digunakan adalah algoritma pelatihan Levenberg-Marquardt (*trainlm*). Dengan menggunakan arsitektur yang telah ditentukan, data kemudian diproses dalam dua tahap yaitu tahap pelatihan (*training*) dan tahap pengujian (*testing*) dengan perbandingan data 60% untuk pelatihan dan 40% untuk pengujian.

a. Tahap Pelatihan

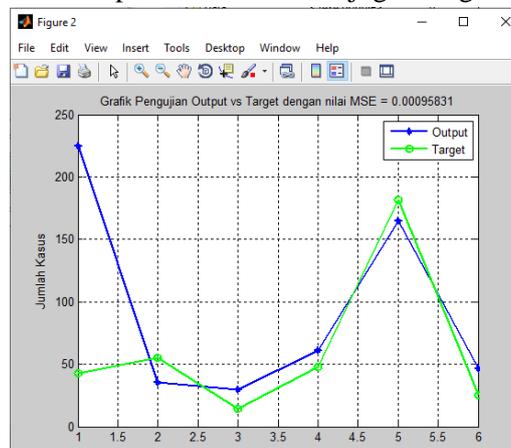
Hasil dari proses pelatihan pada arsitektur yang telah ditentukan ditunjukkan pada Gambar 4.2. Berdasarkan grafik tersebut, hasil pelatihan menunjukkan pola dari output jaringan yang dihasilkan sudah mengikuti pola target dengan sangat baik. MSE yang dihasilkan sebesar $5.5934e-06$. Nilai ini sangat mendekati target error yang sudah ditentukan. Hal ini menunjukkan bahwa arsitektur model jaringan syaraf tiruan cukup signifikan dalam memodelkan penyebaran penyakit demam berdarah. Dalam grafik tersebut juga dapat dilihat bahwa penyebaran penyakit demam berdarah setiap tahunnya mengalami fluktuasi yang cukup signifikan, namun pada tahun terakhir mengalami penurunan.



Gambar 4.2 Hasil Pelatihan

b. Tahap Pengujian

Hasil dari proses pengujian pada arsitektur yang telah ditentukan ditunjukkan pada Gambar 4.3. Berdasarkan grafik tersebut, hasil pelatihan menunjukkan pola dari output jaringan yang dihasilkan juga sudah mengikuti pola target dengan baik. MSE yang dihasilkan sebesar 0.00095831 . Nilai ini sangat mendekati target error yang sudah ditentukan. Nilai ini menunjukkan bahwa pengujian dan prediksi yang dilakukan cukup baik dan signifikan. Dalam grafik tersebut juga dapat dilihat bahwa prediksi penyebaran penyakit demam berdarah pada tahun terakhir juga mengalami penurunan.



Gambar 4.3 Hasil Pengujian

SIMPULAN & SARAN

1. Simpulan

- a. Model penyebara penyakit demam berdarah (DBD) di NTB adalah:

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= 0.9989900551 - 0.0140173816S - 0.00000018796667SI \\ \frac{dI}{dt} &= 0.00000018796667SI - 0.0140173816I - 0.0005029988I \\ \frac{dR}{dt} &= 0.0005029988I - 0.0140173816R\end{aligned}$$

- b. Hasil analisis dinamik model epidemik SIR pada penyakit DBD menunjukkan bahwa titik ekuilibrium model $(S, I, R) = (71.26795, 0, 0)$ dengan nilai eigen $\lambda_1, \lambda_2,$ dan λ_3 memiliki nilai negatif maka dapat disimpulkan bahwa titik kesetimbangan sistem bersifat stabil asimtotik, yang artinya titik keseimbangan bebas penyakit Demam Berdarah (DBD) akan menghilang. Nilai $R_0 < 1$ juga menunjukkan bahwa peluang tertularnya satu individu oleh penyakit DBD akan kurang dari satu, sehingga penyakit DBD ini dapat dikendalikan.
- c. Hasil analisis model menggunakan jaringan syaraf tiruan baik pada tahap pelatihan maupun pengujian menunjukkan bahwa pola penyebaran penyakit DBD yang ada di NTB mengalami penurunan pada tahun-tahun terakhir. Hal ini sesuai dengan analisis menggunakan model epidemik SIR yang menunjukkan bahwa penyakit DBD di NTB dapat dikendalikan. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa model jaringan syaraf tiruan cukup baik (signifikan) dalam memodelkan penyebaran penyakit DBD di NTB.

Saran

1. Menambahkan variabel pencegahan atau variabel pengobatan pada model penyebaran penyakit DBD
2. Mengembangkan penggunaan jaringan syaraf tiruan pada model epidemik penyebaran penyakit

DAFTAR RUJUKAN

- Adi-kusumo, F., & Susyanto, N. (2020). *Model Berbasis Sir Dalam Prediksi Awal Penyebaran Covid-19 Di Daerah Istimewa Yogyakarta (Diy) (Sir-Based Model in Predicting the Early Outbreak of Covid-19 in the Special Region of Yogyakarta (Diy))*. 02, 1.
- Bahri, S., Alfian, M. R., & Fitriyani, N. (2022). Dynamic Neural Network Model Design for Solar Radiation Forecast. *Lontar Komputer: Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi*, 13(2), 96. <https://doi.org/10.24843/lkjiti.2022.v13.i02.p03>
- Bahri, S., & Irwansyah, I. (2019). Model Prediksi Curah Hujan Harian Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation. *Indonesian Physical Review*, 2(1), 9. <http://ipr.unram.ac.id/index.php/ipr/article/view/17>
- Cooper, I., Mondal, A., & Antonopoulos, C. G. (2020). Chaos , Solitons and Fractals A SIR model assumption for the spread of COVID-19 in different communities. *Chaos, Solitons and Fractals: The Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science, and Nonequilibrium and Complex Phenomena*, 139, 110057. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110057>
- Kudryashov, N. A., Chmykhov, M. A., & Vigdorowitsch, M. (2021). Analytical features of the SIR model and their applications to COVID-19. *Applied Mathematical Modelling*, 90, 466–473. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2020.08.057>
- Leowattana, W., & Leowattana, T. (2021). Dengue hemorrhagic fever and the liver. *World Journal of Hepatology*, 13(12), 1968–1976. <https://doi.org/10.4254/wjh.v13.i12.1968>
- Octariadi, B. C. (2020). Pengenalan Pola Tanda Tangan Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation. *Jurnal Teknoinfo*, 14(1), 15. <https://doi.org/10.33365/jti.v14i1.462>
- Provinsi NTB. (2023). *Jumlah Kasus Demam Berdarah Danguge (DBD) di Provinsi NTB*. Jumlah Kasus



-
- Demam Berdarah Dangué (DBD) Di Provinsi NTB. <https://data.ntbprov.go.id/dataset/jumlah-kasus-demam-berdarah-dangué-dbd-di-provinsi-ntb>
- Side, S., Wahyuni, M. S., & Rifki, M. (2020). Solusi Numerik Model SIR pada Penyebaran Penyakit Hepatitis B dengan Metode Perturbasi Homotopi di Provinsi Sulawesi Selatan. *Journal of Mathematics Computations and Statistics*, 3(2), 79. <https://doi.org/10.35580/jmathcos.v3i2.20122>
- Sir, P., Penyebaran, U., Pertusis, P., Pada, V., & Manusia, P. (2018). Pemodelan SIR untuk penyebaran Penyakit Pertusis dengan Vaksinasi pada populasi Manusia Konstan. *Unnes Journal of Mathematics*, 7(1), 96–107.
- Yudono, M. A. S., Hamidi, E. A. Z., Jumadi, J., Kuspranoto, A. H., & Sidik, A. D. W. M. (2022). Jaringan Syaraf Tiruan Perambatan Balik untuk Klasifikasi Covid-19 Berbasis Tekstur Menggunakan Orde Pertama Berdasarkan Citra Chest X-Ray. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 9(4), 799. <https://doi.org/10.25126/jtiik.2022945663>