

PENERAPAN METODE RUNGE-KUTTA ORDE 4 MODEL PENYEBARAN DEMAM BERDARAH DENGUE DI KOTA MAKASSAR

[Application of The Runge Kutta Method of Order 4 to The Model of The Spread of Dengue Hemorrhagic Fever in Makassar City]

Sayyidan Nisa^{1)*}, Irwan²⁾, Ilham Syata³⁾

Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi,
Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar

sayyidannisa@gmail.com (corresponding)

ABSTRAK

Penelitian ini merupakan penelitian yang dilakukan berdasarkan meningkatnya angka penyebaran penyakit demam berdarah *dengue* di kota Makassar. Tujuan penelitian ini adalah untuk memperoleh model penyebaran penyakit demam berdarah *dengue* dan mengetahui solusi numerik model matematika. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif. Data yang diolah dalam bentuk data kuantitatif berupa jumlah jiwa terinfeksi, meninggal dan sembuh penyakit demam berdarah di kota Makassar tahun 2021. Penelitian ini untuk memprediksi kasus demam berdarah *dengue* yang akan datang menggunakan metode Runge-Kutta Orde 4. Model matematika penyakit demam berdarah *dengue* berbentuk sistem persamaan diferensial non linear yang mencakup variabel S_h (*Susceptible Host*), I_h (*Infected Host*), R_h (*Recovered Host*), S_v (*Susceptible Vector*), dan I_v (*Infected Vector*). Kemudian mencari parameter-parameter yang akan digunakan. Hasil penelitian yang diperoleh pada bulan Januari 2022 dengan $\Delta t = 0.01$ bulan menggunakan Metode Runge-Kutta Orde 4 dengan nilai awal yaitu $S_{h0} = 1426454$, $I_{h0} = 583$, $R_{h0} = 582$, $S_{v0} = 13165$, $I_{v0} = 1215$ adalah $S_{h100} = 1420142$, $I_{h100} = 2949$, $R_{h100} = 452$, $S_{v100} = 1370$, $I_{v100} = 751$.

Kata kunci: Runge-Kutta Orde 4; Model SIR; Demam Berdarah Dengue

ABSTRACT

This research was conducted based on the increasing rate of spread of dengue hemorrhagic fever in the city of Makassar. The aim of this research is to obtain a model for the spread of dengue hemorrhagic fever and find out the numerical solution of the mathematical model. The method used in this research is a quantitative method. The data is processed in the form of quantitative data in the form of the number of people infected, dead and recovered from dengue fever in the city of Makassar in 2021. This research is to predict future dengue hemorrhagic fever cases using the Runge-Kutta Order 4 method. The mathematical model for dengue hemorrhagic fever is in the form of a system of differential equations that includes the variables S_h (*Susceptible Host*), I_h (*Infected Host*), R_h (*Recovered Host*), S_v (*Susceptible Vector*), dan I_v (*Infected Vector*). Then look for the parameters that will be used. The research results obtained in January 2022 with $\Delta t = 0.01$ using the Fourth Order Runge-Kutta Method with initial values of $S_{h0} = 1426454$, $I_{h0} = 583$, $R_{h0} = 582$, $S_{v0} = 13165$, $I_{v0} = 1215$ is $S_{h100} = 1420142$, $I_{h100} = 2949$, $R_{h100} = 452$, $S_{v100} = 1370$, $I_{v100} = 751$.

Keywords: Fourth Order Runge Kutta; SIR Model; Dengue Hemorrhagic Fever

PENDAHULUAN

Model matematika didefinisikan sebagai suatu representasi dari dunia nyata yang dibentuk dengan menggunakan persamaan sehingga menghasilkan perspektif dari sebuah fenomena. Banyak permasalahan yang timbul dari berbagai bidang ilmu yang dapat diformulasikan dalam sistem persamaan diferensial (Side, 2014). Salah satunya penyakit yang semakin banyak diderita penduduk dunia dan mengalami peningkatan setiap tahunnya, yaitu penyakit Demam Berdarah *Dengue*.

Berdasarkan *World Health Organization* (WHO) memperkirakan bahwa 50 hingga 100 juta masalah demam berdarah *dengue* terjadi setiap tahun. Kurang lebih 500.000 orang diperkirakan terinfeksi oleh demam berdarah dan 22.000 kematian setiap tahun. Dari WHO, ini termasuk jumlah yang tinggi. Jika tidak terdapat tindakan yang diambil akan mengakibatkan sekitar 2,5 ribu juta atau dua per lima dari populasi manusia di seluruh global berisiko terinfeksi penyakit demam berdarah *dengue*. Hal ini menjadi masalah kesehatan global dan umum terjadi pada negara-negara tropis dan subtropis. Tanpa perawatan dan upaya dalam pengendalian penyebaran penyakit DBD, peluang kematian dapat terus meingkat. (Akbar & Syaputra, 2019).

Demam berdarah *Dengue* di Indonesia merupakan masalah kesehatan masyarakat dan merupakan penyakit endemis hampir di seluruh provinsi. Jumlah kasus DBD di Indonesia pada tahun 2014 menunjukkan bahwa 10 provinsi yang memiliki jumlah kasus terbanyak salah satunya adalah provinsi Sulawesi Selatan. Dimana, kota Makassar yang merupakan ibu kota Sulawesi Selatan menjadi salah satu kota dengan kasus yang cenderung fluktuatif dari tahun ke tahun. Dinas kesehatan kota Makassar mencatat kasus demam berdarah *dengue* pada tahun 2013 mencapai 265 terinfeksi, lalu di tahun 2014 terjadi penyusutan yang menyentuh angka 139 terinfeksi, dan di tahun berikutnya terjadi peningkatan mencapai 142 terinfeksi di tahun 2015, serta di tahun 2016 tercatat jumlah terinfeksi mengalami peningkatan sebanyak 227 dengan kematian 2 orang (Handayani & Kamaruddin, 2021).

Penyebaran penyakit demam berdarah *dengue* dapat diformulasikan dalam persamaan model matematika, diantaranya adalah model SIR yang merupakan model dasar suatu populasi model epidemiologi dalam pemodelan penyakit menular. Dari model tersebut dapat diselesaikan dengan penerapan metode numerik seperti metode Euler, metode Heun, metode Runge-Kutta orde Tiga dan Metode Runge-Kutta orde Empat. Metode Runge-Kutta orde Empat merupakan metode yang memberikan hasil dengan ketelitian yang lebih tinggi dan tidak menggunakan perhitungan turunan dalam menyelesaikan bentuk persamaan diferensial. Nilai pada ukuran langkah yang digunakan berpengaruh terhadap ketelitian solusi metode numerik, semakin kecil ukuran langkah yang digunakan maka akan memperoleh solusi yang semakin bagus.

Berdasarkan uraian di atas maka penulis meneliti tentang penyebaran penyakit demam berdarah *dengue*. Salah satu cara untuk melihat pola penyebaran penyakit demam berdarah *dengue* adalah dengan membentuk model matematika. Beberapa model matematika untuk penyakit demam berdarah *dengue*, diantaranya adalah penelitian yang dilakukan oleh (Rangkuti & Side, 2015) meneliti tentang model SIR dan SEIR menyatakan bahwa. Penelitian lainnya dilakukan oleh (Sari, 2017) meneliti tentang fungsi Lyapunov Model SIR dan SEIR penularan Penyakit Demam Berdarah. Selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh (Utami, 2022) meneliti tentang pemodelan pengaruh vaksinasi terhadap penyebaran demam berdarah *dengue* dan menyatakan bahwa penyakit DBD dapat dicegah dengan meningkatkan peluang individu yang rentan untuk melakukan vaksinasi. Berdasarkan model yang telah dibentuk kemudian di simulasikan secara numerik dengan menggunakan metode Runge Kutta orde 4. Beberapa metode pernah digunakan dalam suatu penelitian untuk melihat perbandingan hasil simulasi dari model yang telah dibuat, yaitu metode Euler, metode Heun dan metode Runge-Kutta orde 4. Hasil dari perbandingan ketiga metode tersebut menyatakan bahwa metode Runge-Kutta orde 4 lebih akurat dibandingkan kedua metode lainnya (Hurit & Sudi Mangkasi, 2021) dan (Hurit & Resi, 2022).

Berdasarkan dari uraian diatas, maka penulis tertarik untuk mengkaji “Penerapan Metode Runge-Kutta Orde 4 Model Penyebaran Demam Berdarah *Dengue* di Kota Makassar”.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan data penyebaran penyakit demam berdarah *dengue* di kota Makassar Tahun 2021 yang diperoleh dari Dinas Kesehatan Kota Makassar. Langkah analisis yang akan dilakukan dalam menyelesaikan model penyebaran penyakit demam berdarah *dengue* adalah sebagai berikut:

1. Menentukan model matematika penyebaran penyakit Demam Berdarah *Dengue* sesuai dengan data yang tersedia.
2. Menentukan nilai awal dan nilai parameter dari model matematika penyebaran penyakit Demam Berdarah *Dengue*.
3. Melakukan diskritisasi model matematika penyebaran penyakit Demam Berdarah *Dengue* menggunakan metode Runge-Kutta orde 4.
4. Mengulangi iterasi hingga didapatkan penyelesaian yang konvergen.
5. Menghitung galat hasil solusi numerik model matematika penyebaran penyakit Demam Berdarah *Dengue*.
6. Menarik kesimpulan hasil solusi numerik model matematika penyebaran penyakit Demam Berdarah *Dengue* menggunakan metode Runge-Kutta orde 4.

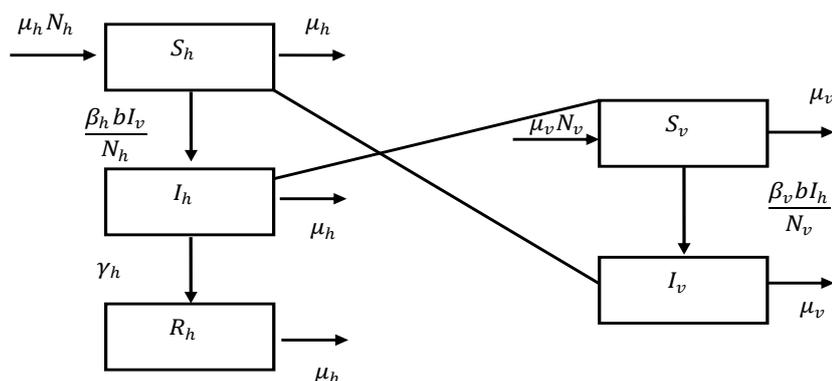
HASIL DAN PEMBAHASAN

Model SIR Penyebaran Penyakit Demam Berdarah Dengue

Adapun asumsi yang digunakan untuk merumuskan model matematika pada penyakit demam berdarah dengue di kota Makassar yaitu sebagai berikut:

- 1) Laju kelahiran dan kematian dianggap sama.
- 2) Manusia sehat akan langsung terinfeksi saat digigit oleh nyamuk terinfeksi dan nyamuk sehat akan langsung terinfeksi saat menggigit manusia terinfeksi.
- 3) Penyebaran demam berdarah *dengue* hanya dipengaruhi oleh laju kelahiran, laju kematian, dan laju kemungkinan manusia dan nyamuk terinfeksi.
- 4) Pengaruh selain gigitan nyamuk diabaikan.

Diagram model SIR penyakit Demam Berdarah *Dengue*.



Gambar 1. Diagram Alur Model Penyebaran Penyakit DBD

Berdasarkan asumsi dan Gambar 1. maka model matematika yang terbentuk adalah:

Model Matematika Populasi Manusia

$$\frac{dS_h(t)}{dt} = f(t, S_h, I_h, R_h, S_v, I_v) = \mu_h N_h - \frac{\beta_h b}{N_h} I_v(t) S_h(t) - \mu_h S_h(t) \quad (1)$$

$$\frac{dI_h(t)}{dt} = f(t, S_h, I_h, R_h, S_v, I_v) = \frac{\beta_h b}{N_h} I_v(t) S_h(t) - (\mu_h + \gamma_h) I_h(t) \quad (2)$$

$$\frac{dR_h(t)}{dt} = f(t, S_h, I_h, R_h, S_v, I_v) = \gamma_h I_h(t) - \mu_h R_h(t) \quad (3)$$

Model Matematika Populasi Nyamuk

$$\frac{dS_v(t)}{dt} = f(t, S_h, I_h, R_h, S_v, I_v) = \mu_v N_v - \frac{\beta_v b}{N_v} I_h(t) S_v(t) - \mu_v S_v(t) \quad (4)$$

$$\frac{dI_v(t)}{dt} = f(t, S_h, I_h, R_h, S_v, I_v) = \frac{\beta_v b}{N_v} I_h(t) S_v(t) - \mu_v I_v(t) \quad (5)$$

dengan kondisi:

$$S_h + I_h + R_h = N_h \text{ dan } S_v + I_v = N_v$$

Nilai Awal dan Nilai Parameter Model SIR

Berdasarkan data Dinas Kesehatan kota Makassar total populasi individu yang terinfeksi penyakit demam berdarah *dengue* adalah sejumlah 583 jiwa, dan untuk jumlah populasi yang dinyatakan meninggal akibat terinfeksi adalah sejumlah 1 jiwa, serta jumlah populasi yang sembuh dari terinfeksi demam berdarah *dengue* adalah sejumlah 582 jiwa.

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) kota Makassar pada Tahun 2021 jumlah populasi penduduk di kota Makassar yang tersebar di 15 kecamatan yaitu sebesar 1.427.619 jiwa.

Adapun rincian nilai awal untuk setiap variabel pada model SIR adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Nilai awal model SIR penyebaran penyakit DBD

Variabel	Nilai	Keterangan	Sumber
S_{h0}	1.426.454	Populasi individu yang rentan terhadap penyakit Demam Berdarah <i>Dengue</i> Januari-Desember 2021	Perhitungan data Dinas Kesehatan Kota Makassar dan Badan Pusat Statistik Kota Makassar
I_{h0}	583	Populasi individu yang telah terinfeksi penyakit Demam Berdarah <i>Dengue</i> Januari-Desember 2021	Dinas Kesehatan Kota Makassar
R_{h0}	582	Populasi individu yang telah sembuh penyakit Demam Berdarah <i>Dengue</i> Januari-Desember 2021	Data Dinas Kesehatan Kota Makassar
S_{v0}	13.165	Populasi nyamuk yang rentan terinfeksi virus <i>dengue</i>	Effendy, 2013
I_{v0}	1.215	Populasi nyamuk yang terinfeksi virus <i>dengue</i>	Effendy, 2013

Adapun rincian nilai parameter yang digunakan pada model SIR penyebaran penyakit Demam Berdarah *Dengue* dapat dilihat pada tabel sebagai berikut:

Tabel 2. Nilai parameter model SIR penyebaran penyakit DBD

Parameter	Definisi	Nilai (Bulan)	Sumber
N_h	Jumlah populasi manusia	1.427.619	Badan Pusat Statistik Kota Makassar
N_v	Jumlah populasi nyamuk	14.580	Aryunita, 2009
μ_h	Laju kelahiran dan kematian alami populasi manusia	0,00115	Badan Pusat Statistik Kota Makassar
μ_v	Laju kelahiran dan kematian alami populasi nyamuk	0,67	Effendy, 2013
γ_h	Laju kesembuhan dari individu manusia terinfeksi menjadi manusia sembuh	0,99828	Dinas Kesehatan Kota Makassar
$b\beta_h$	Kemampuan interaksi I_v dengan S_h	9,0039	Dinas Kesehatan Kota Makassar
$b\beta_v$	Kemampuan interaksi I_h dengan S_v	0,0024	Dinas Kesehatan Kota Makassar

Diskritisasi Model SIR Penyebaran Penyakit Demam Berdarah *Dengue* Menggunakan Metode Runge-Kutta Orde 4

Model SIR yang didapatkan pada persamaan (1) sampai (5) disubstitusikan ke dalam nilai parameter. Selanjutnya persamaan yang dihasilkan diselesaikan menggunakan metode Runge-Kutta orde 4.

Pada iterasi pertama, $Sh_0 = 1.426.454$, $Ih_0 = 583$, $Rh_0 = 582$, $Sv_0 = 13.165$, $Iv_0 = 1.215$ sebagai nilai awal dengan jarak langkah atau interval waktu yang akan digunakan yaitu $\Delta t = 0,01$ sehingga diperoleh hasil solusi numerik model SIR pada penyebaran penyakit demam berdarah *dengue* menggunakan metode runge-kutta orde 4 sebagaimana pada persamaan sebagai berikut:

$$Sh_{0+1} = Sh_0 + \frac{1}{6}(j_1 + 2j_2 + 2j_3 + j_4)\Delta t \quad (6)$$

$$Ih_{0+1} = Ih_0 + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)\Delta t \quad (7)$$

$$Rh_{0+1} = Rh_0 + \frac{1}{6}(l_1 + 2l_2 + 2l_3 + l_4)\Delta t \quad (8)$$

$$Sv_{0+1} = Sv_0 + \frac{1}{6}(m_1 + 2m_2 + 2m_3 + m_4)\Delta t \quad (9)$$

$$Iv_{0+1} = Iv_0 + \frac{1}{6}(n_1 + 2n_2 + 2n_3 + n_4)\Delta t \quad (10)$$

Dimana nilai untuk setiap fungsi evaluasinya adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Nilai fungsi evaluasi metode Runge-Kutta orde 4

$j_1 = -10929,6$	$j_2 = -7239,25$	$j_3 = -8524,82$	$j_4 = -5185,21$
$k_1 = 10348,3$	$k_2 = 1493,03$	$k_3 = 7201,56$	$k_4 = -2583,77$
$l_1 = 581,328$	$l_2 = 5746,22$	$l_3 = 1323,26$	$l_4 = 7768,98$
$m_1 = 946,787$	$m_2 = 617,952$	$m_3 = 738,087$	$m_4 = 435,716$
$n_1 = -812,787$	$n_2 = -528,842$	$n_3 = -633,939$	$n_4 = -371,495$

Kemudian nilai dari fungsi evaluasi disubstitusikan ke dalam persamaan (6) sampai (10), maka akan diperoleh solusi numerik model SIR sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Sh_{0+1} &= Sh_0 + \frac{1}{6}(j_1 + 2j_2 + 2j_3 + j_4)\Delta t \\ &= 1.426.454 + \frac{1}{6}((-10929,6) + 2(-7239,25) + 2(-8524,82) + (-5185,21))0,01 \\ &= 1.426.375 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Ih_{0+1} &= Ih_0 + \frac{1}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)\Delta t \\ &= 583 + \frac{1}{6}((10348,3) + 2(1493,03) + 2(7201,56) + (-2583,77))0,01 \\ &= 625 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Rh_{0+1} &= Rh_0 + \frac{1}{6}(l_1 + 2l_2 + 2l_3 + l_4)\Delta t \\ &= 582 + \frac{1}{6}((581,328) + 2(5746,22) + 2(1323,26) + (7768,98))0,01 \\ &= 619 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Sv_{0+1} &= Sv_0 + \frac{1}{6}(m_1 + 2m_2 + 2m_3 + m_4)\Delta t \\ &= 13.165 + \frac{1}{6}((946,787) + 2(617,952) + 2(738,087) + (435,716))0,01 \\ &= 13.172 \end{aligned}$$

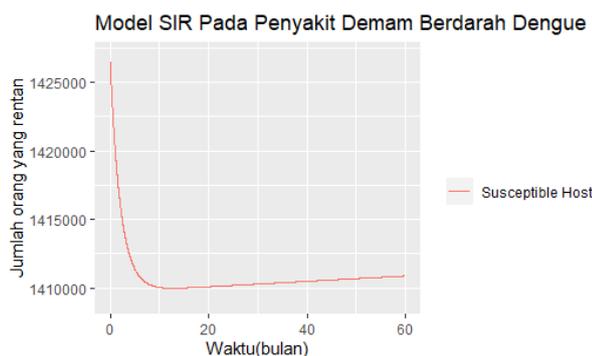
$$\begin{aligned} Iv_{0+1} &= Iv_0 + \frac{1}{6}(n_1 + 2n_2 + 2n_3 + n_4)\Delta t \\ &= 1.215 + \frac{1}{6}((-812,787) + 2(-528,842) + 2(-633,939) + (-371,495))0,01 \\ &= 1.209 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan hal yang sama untuk iterasi selanjutnya hingga iterasi ke-6000 atau prediksi laju untuk 60 bulan kedepan pada setiap populasi menggunakan program R-Studio yaitu pada tabel sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Solusi Numerik Penyebaran Penyakit Demam Berdarah *Dengue* Menggunakan Metode Runge-Kutta Orde 4

<i>i</i>	<i>t_i</i>	<i>Variabel</i>				
		<i>S_{hi}</i>	<i>I_{hi}</i>	<i>R_{hi}</i>	<i>S_{vi}</i>	<i>I_{vi}</i>
0	0	1426454	583	582	13165	1215
1	0.01	1426375	625	619	13172	1209
2	0.02	1426296	666	657	13179	1203
3	0.03	1426217	707	695	13185	1198
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
5998	59.98	1410881	2.638012 x 10 ⁻⁸	16738	14580	1.141203 x 10 ⁻⁹
5999	59.99	1410881	2.625918 x 10 ⁻⁸	16738	14580	1.135971 x 10 ⁻⁹
6000	60,00	1410881	2.613880 x 10 ⁻⁸	16738	14580	1.130763 x 10 ⁻⁹

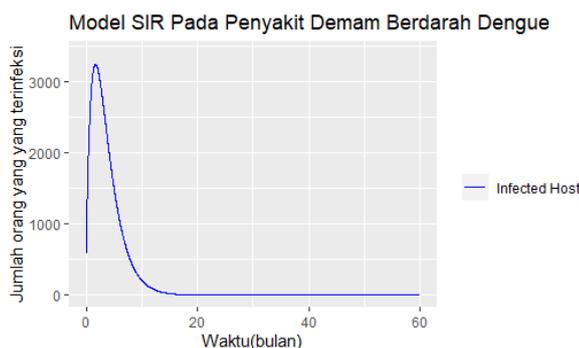
Plot grafik hasil solusi numerik menggunakan metode Runge-Kutta orde 4 pada penyebaran penyakit demam berdarah *dengue* untuk setiap populasi *Susceptible*, *Infected* dan *Recovered* menggunakan program R-Studio ditunjukkan pada plot grafik. Hasil iterasi untuk laju individu manusia yang rentan (*S_h*) akan ditunjukkan pada plot grafik seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Penyebaran Jumlah *Susceptible Host* Penyakit DBD

Gambar 2. memperlihatkan bahwa dengan jumlah nilai awal atau *S_{h0}* senilai 1426454 dapat membuat grafik garis menurun dari waktu ke waktu dan pada waktu tertentu mengalami peningkatan. Adapun perkiraan jumlah populasi *Susceptible Host* (*S_h*) pada waktu $\Delta t = 60$ bulan senilai 1410881, hal ini disebabkan karena banyaknya populasi *host* yang berpindah status menjadi terinfeksi dan juga dalam waktu yang bersamaan banyaknya populasi *host* yang sembuh.

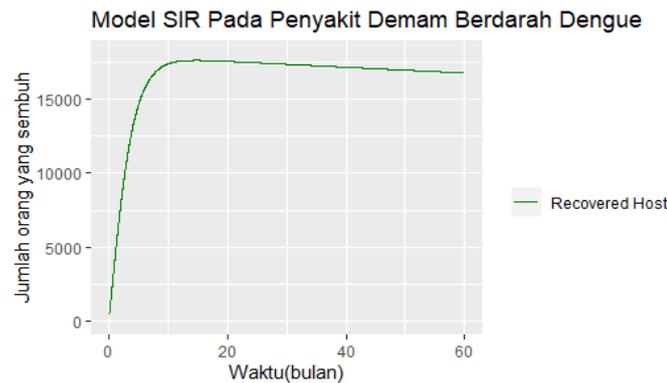
Selanjutnya hasil iterasi untuk kelas individu manusia yang terinfeksi (*I_h*) akan ditunjukkan pada plot grafik seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Penyebaran Jumlah *Infected Host* Penyakit DBD

Gambar 3. memperlihatkan bahwa dengan jumlah nilai awal atau I_{h0} senilai 583 mampu membuat gambaran populasi *Infected Host* mengalami peningkatan hingga berada pada waktu $\Delta t = 2$ bulan dengan populasi individu manusia yang terinfeksi mencapai 3.252 jiwa. Namun, setelah mencapai titik puncak terjadi penurunan secara terus menerus. Adapun perkiraan jumlah populasi *Infected Host* (I_h) pada waktu $\Delta t = 60$ bulan senilai 0,00000002613880. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa dalam beberapa waktu ke depan populasi *Infected Host* akan mengalami penurunan, hal ini terjadi karena individu yang terinfeksi menjadi sembuh dan masuk ke populasi manusia yang sembuh.

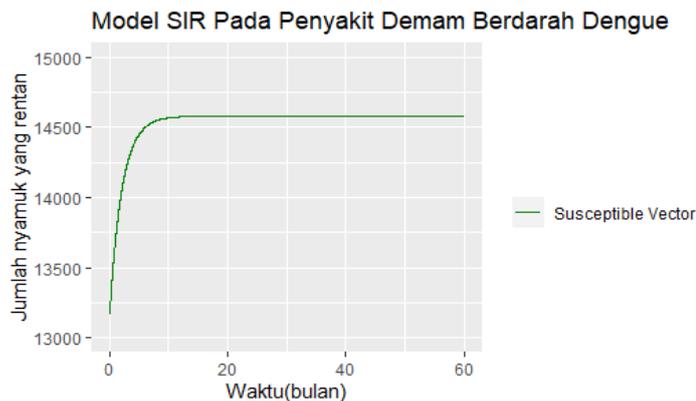
Selanjutnya hasil iterasi untuk kelas individu manusia yang sembuh (R_h) akan ditunjukkan pada plot grafik seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Penyebaran Jumlah *Recovered Host* Penyakit DBD

Gambar 4. memperlihatkan bahwa dengan jumlah nilai awal atau R_{h0} senilai 582 dapat membuat gambaran populasi *Recovered Host* mengalami peningkatan yang sangat signifikan dari waktu ke waktu dan mulai stabil di angka 17002. Peningkatan tersebut disebabkan oleh tingkat kesembuhan dari individu yang terinfeksi menjadi sembuh. Adapun besarnya jumlah populasi *Recovered Host* (R_h) pada waktu $\Delta t = 60$ bulan ke depan adalah 16738 jiwa.

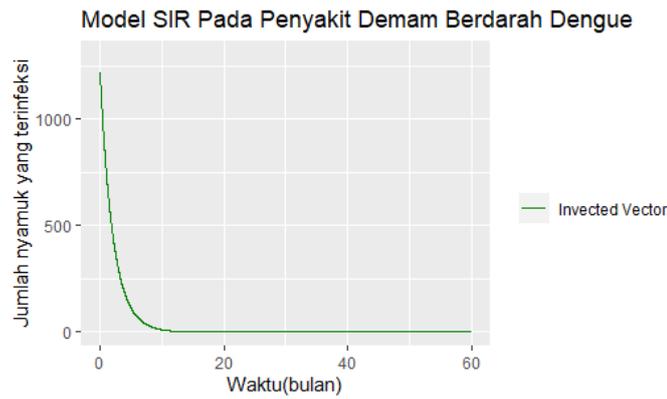
Selanjutnya hasil iterasi untuk kelas individu nyamuk yang rentan (S_v) akan ditunjukkan pada plot grafik seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Penyebaran Jumlah *Susceptible Vector* Penyakit DBD

Gambar 5. memperlihatkan bahwa dengan jumlah nilai awal atau S_{v0} senilai 13165 dapat membuat gambaran populasi *Susceptible Vector* mengalami kenaikan setiap bulannya dan mulai stabil di angka 14500. Besarnya jumlah populasi nyamuk rentan (S_v) pada saat $\Delta t = 60$ bulan ke depan adalah 14580 ekor.

Selanjutnya hasil iterasi untuk kelas individu nyamuk yang terinfeksi (I_v) akan ditunjukkan pada plot grafik seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Penyebaran Jumlah *Infected Vector* Penyakit DBD

Gambar 6. memperlihatkan bahwa dengan jumlah nilai awal atau I_{v0} senilai 1215 dapat membuat gambaran populasi *Infected Vector* mengalami penurunan setiap bulannya dan mulai stabil di angka 5. Besarnya jumlah populasi nyamuk terinfeksi (I_v) pada saat $\Delta t = 60$ bulan ke depan adalah 0,000000001130763 ekor.

Analisis Galat

Berdasarkan hasil penyelesaian model SIR penyebaran penyakit demam berdarah *dengue* menggunakan metode Runge-Kutta orde 4 dapat ditentukan galat (*error*) dengan menggunakan formulasi galat relatif hampiran pendekatan iterasi. Hasil perhitungan galat solusi numerik model SIR penyebaran penyakit Demam Berdarah *Dengue* menggunakan metode Runge-Kutta orde 4 untuk 0,01 Bulan ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Galat Relatif Hampiran dengan $\Delta t = 0,01$ dan jumlah n yang berbeda

jumlah iterasi	Δt	t	S_h		I_h			
			RK3	RK4	RK3	RK4		
100	0,0001	0,01	0,00000072	0,00000071	0,00021103	0,00066353		
1000	0,00001	0,01	0	0	0,00002098	0,00006627		
10.000	0,000001	0,01	0	0	0,00000218	0,00000784		

R_h		S_v		I_v		Nilai Maks	
RK3	RK4	RK3	RK4	RK3	RK4	RK3	RK4
0,00069806	0,00060659	0,00000531	0,00004879	0,00004962	0,00004879		
0,00004590	0,00006053	0	0,00000413	0,00000496	0,00000413	0,00069806	0,00066353
0,00000459	0,00000613	0	0	0,00000082	0		

Berdasarkan Tabel 5. dapat dilihat bahwa dengan jumlah iterasi 100 sampai 10.000 pada waktu $\Delta t = 0,01$ Bulan menggunakan metode Runge-Kutta orde 3 diperoleh nilai maksimum untuk semua variabel adalah 0,00069806 dan metode Runge Kutta orde 4 adalah 0,00066353, sehingga galat untuk metode Runge Kutta orde 4 lebih efisien dibandingkan dengan metode Runge Kutta orde 3. Semakin kecil nilai galat yang dihasilkan atau mendekati 0 akan menghasilkan penyelesaian yang konvergen.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian diperoleh sebagai berikut:

1. Model SIR pada penyebaran penyakit Demam Berdarah *Dengue* di Kota Makassar, yaitu sebagai berikut:
Model Matematika Populasi Manusia

$$\frac{dS_h(t)}{dt} = 0,00115 \times 1.427.619 - \frac{9,00399}{1.427.619} I_v(t) S_h(t) - 0,00115 S_h(t)$$

$$\frac{dI_h(t)}{dt} = \frac{9,00399}{1.427.619} I_v(t) S_h(t) - (0,00115 + 0,99828) I_h(t)$$

$$\frac{dR_h(t)}{dt} = 0,99828 I_h(t) - 0,00115 R_h(t)$$

Model Matematika Populasi Nyamuk

$$\frac{dS_v(t)}{dt} = 0,67 \times 14.580 - \frac{0,0024}{14.580} I_h(t) S_v(t) - 0,67 S_v(t)$$

$$\frac{dI_v(t)}{dt} = \frac{0,0024}{14.580} I_h(t) S_v(t) - 0,67 I_v(t)$$

2. Adapun solusi numerik model SIR pada penyebaran penyakit Demam Berdarah *Dengue* menggunakan metode Runge-Kutta orde 4 dengan ukuran langkah $\Delta x = 0,01$ didapatkan untuk $t = 0,01$ bulan yaitu manusia rentan (S_{h1}) = 1.426.375, manusia terinfeksi (I_{h1}) = 625, manusia sembuh (R_{h1}) = 619, nyamuk rentan (S_{v1}) = 13.172, dan nyamuk terinfeksi (I_{v1}) = 1.209. Selanjutnya mengulangi iterasi hingga iterasi ke-6000 atau prediksi untuk 60 bulan ke depan, diperoleh hasil yaitu manusia rentan (S_h) = 1.410.881, manusia terinfeksi (I_h) = 0,00000002613880, manusia sembuh (R_h) = 16.738, nyamuk rentan (S_v) = 14.580 dan nyamuk terinfeksi $I_v = 0,000000001130763$.

Saran

Untuk saran, penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan metode numerik yang berorde lebih tinggi agar hasil yang diperoleh dapat dibandingkan dengan penelitian ini serta penggunaan data yang lebih terbaru dan spesifik sehingga menghasilkan model yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, H., & Syaputra, E.M. (2019). The Risk Factors of Dengue Hemorrhagic Fever in Indramayu Regency. *The Indonesian Journal of Health Promotion*, 2(3). <https://jurnal.unismuhpalu.ac.id/index.php/MPPKI/article/view/626>
- Effendy. (2013). *Analisis Stabilitas Penyebaran Penyakit DBD di Kabupaten Jember dengan Metode Model SIR Stokastik*. Jember: Universitas Jember. <https://repository.unej.ac.id/bitstream/handle/123456789/6269/Effendy%20-%2020091810101035.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Handayani, Ika dan Mudyawati Kamaruddin. (2021). Pemetaan Kasus DBD dan Faktor Iklim di Kota Makassar. *Jurnal Penelitian Kedokteran dan Kesehatan*, 3(3). <https://jurnal.fk.unisa.ac.id/index.php/MA/article/view/83>
- Hurit, R. U., & Resi, B. B. F. (2022). Penyelesaian Model SIR untuk Penyebaran Penyakit HIV/AIDS Menggunakan Metode Euler dan Metode Heun. *Seminar Nasional Pendidikan Matematika*, 3(01). <https://proceeding.unikal.ac.id/index.php/sandika/article/view/900>
- Hurit, R. U., & Sudi Mungkasi. (2021). The Euler, Heun, and Fourth Order Runge-Kutta Solutions to SEIR Model for the Spread of Meningitis Disease. *Mathline: Jurnal Matematika dan Pendidikan Matematika*, 6(2), 140-153. <https://mathline.unwir.ac.id/index.php/Mathline/article/view/176>
- Lede, Yulius Keremata dan Sudi Mungkasi. (2019). Performance of the Runge-Kutta Methods in Solving a Mathematical Model the Spread of Dengue Fever Disease. *International Conference on Science and Applied Science*. https://www.researchgate.net/publication/338212131_Performance_of_the_RungeKutta_methods_in_solving_a_mathematical_model_for_the_spread_of_dengue_fever_disease
- Rangkuti dan Side. (2015). *Pemodelan Matematika dan Solusi Numerik untuk Penularan Demam Berdarah*. Edisi pertama. Perdana Publishing: Medan. <http://digilib.unimed.ac.id/6051/>
- Rangkuti, dkk. (2014). Numerical analytic Solution of SIR Model of Dengue Fever Disease in South Sulawesi using Homotopy Perturbation Method and Variational Iteration Method. *Journal of*

- Mathematical and Fundamental Sciences*, 46(1).
<https://journals.itb.ac.id/index.php/jmfs/article/view/819>
- Sari, N. (2017). Analisis Model Matematika Penyebaran DBD dengan Fungsi Lyapunov. *Skripsi*, Universitas Negeri Makassar. <https://ojs.unm.ac.id/JMathCoS/article/view/9188>
- Side, Syafruddin, dkk. (2019). A SEIRS Model Analysis and Simulation for Dengue Fever Transmission. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 8. <http://www.ijstr.org/final-print/oct2019/A-Seirs-Model-Analysis-And-Simulation-For-Dengue-Fever-Transmission.pdf>
- Utami, Nita Putri. (2022). Pemodelan pengaruh vaksinasi terhadap penyebaran Demam Berdarah *Dengue* (DBD). *Journal of Science and Technology*, 2(1). <https://ejournal.uinib.ac.id/jurnal/index.php/jostech/article/view/3706>