

penyelesaian eksplisit untuk model SIR dari penyakit demam berdarah adalah

$$x = \sum_{r=0}^{\infty} a_r \frac{(t-t^*)^r}{r!}, \tag{5.135}$$

$$y = \sum_{r=0}^{\infty} b_r \frac{(t-t^*)^r}{r!}, \tag{5.136}$$

$$z = \sum_{r=0}^{\infty} c_r \frac{(t-t^*)^r}{r!}, \tag{5.137}$$

dimana koefisien diberikan oleh relasi rekurensi,

$$a_0 = x(t^*), b_0 = y(t^*), c_0 = z(t^*), \tag{5.138}$$

$$a_r = \mu_h - \mu_h a_{r-1} - \alpha(r-1)! \sum_{k=0}^{r-1} \frac{a_k b_{r-k-1}}{k!(r-k-1)!}, \tag{5.139}$$

$$b_r = \alpha(r-1)! \sum_{k=0}^{r-1} \frac{a_k b_{r-k-1}}{k!(r-k-1)!} - \beta b_{r-1}, \tag{5.140}$$

$$c_r = \gamma c_{r-1} - \gamma(r-1)! \sum_{k=0}^{r-1} \frac{b_k c_{r-k-1}}{k!(r-k-1)!} - \delta_1 c_{r-1}, \tag{5.141}$$

## BAB VI

### SIMULASI DAN HASIL NUMERIK MODEL SIR DAN SEIR PENULARAN DEMAM BERDARAH DI SULAWESI SELATAN

Bab ini menjelaskan simulasi untuk model SIR dan model SEIR menggunakan data riil yang diperoleh dari Kementerian Kesehatan Republik Indonesia tahun 2012-2013 di Propinsi Sulawesi Selatan. Hasil yang diperoleh menggunakan analisis fungsi Lyapunov menunjukkan bahwa Sulawesi Selatan, khususnya beberapa kabupaten telah menjadi daerah epidemik atau Kejadian Luar Biasa (KLB) kasus demam berdarah, baik menggunakan model SIR maupun menggunakan model SEIR.

#### 6.1 Simulasi Model SIR di Sulawesi Selatan

Berdasarkan nilai parameter dan data yang ada, simulasi model dilakukan menggunakan *software* MATLAB. Syarat awal yang digunakan dalam simulasi model ini adalah berdasarkan kepada jumlah kasus DBD yang telah dilaporkan oleh pihak Kementerian Kesehatan Republik Indonesia 2013.

$$(x, y, z) = (S_h, I_h, I_v) = (1, 0, 0)$$

$$\text{dan } (S_h, I_h, I_v) = (0.096988, 0.000126, 0.00148)$$

Titik-titik keseimbangan ini menjelaskan bahwa jumlah populasi manusia yang berpotensi tertular adalah 0.096988, jumlah populasi manusia yang tertular adalah 0.000126 dari jumlah keseluruhan populasi manusia. Kemudian jumlah populasi nyamuk yang tertular adalah 0.00148 dari jumlah keseluruhan populasi nyamuk.

### 6.1.2 Kestabilan Model SIR di Sulawesi Selatan

Kestabilan model terhadap titik-titik keseimbangan yang diperoleh, ditentukan oleh nilai-nilai eigen  $\lambda$  seperti dalam Tabel 6.2 (Anton, 1998).

Tabel 6.2 Jenis Kestabilan untuk titik-titik keseimbangan

Nilai bagi $\lambda_i$ , $i = 1, 2, \dots$	Kestabilan
Nyata dan semuanya positif	Nod tidak stabil
Nyata dan semuanya negatif	Nod stabil asimtotik
Nyata dan tanda berbeda	Titik pelana
Kompleks, khayal asli	Pusat
Kompleks, $\lambda \pm \eta i$ , $\lambda > 0$	Fokus tidak stabil
Kompleks, $\lambda \pm \eta i$ , $\lambda < 0$	Fokus stabil asimtotik

Dari persamaan (4.22), (4.23) dan (4.24) dan nilai-nilai parameter yang ditentukan, model SIR diubah menjadi bentuk matriks Jacobian untuk mencari nilai eigen,  $\lambda$ . Andaikan

$$\frac{dx}{dt} = 0.000046(1-x) - 0.2925xz = X(x, y, z),$$

$$\frac{dy}{dt} = 0.2925xz - (0.328833 + 0.000046)y = Y(x, y, z),$$

$$\frac{dz}{dt} = 0.375(1-z)y - 0.0323z = Z(x, y, z).$$

Untuk mencari nilai eigen  $\lambda$ , selesaikan persamaan  $|A - \lambda I| = 0$  sebagai berikut,

$$\begin{vmatrix} -0.000046 - 0.2925z - \lambda & 0 & -0.2925x \\ 0.2925z & -0.328879 - \lambda & 0.2925x \\ 0 & 0.375(1-z) & 0.0323 - 0.375y - \lambda \end{vmatrix} = 0.$$

Pada titik keseimbangan  $(1, 0, 0)$  matriks Jacobian adalah sebagai berikut:

$$\begin{vmatrix} -0.000046 - \lambda & 0 & -0.2925 \\ 0 & -0.328879 - \lambda & 0.2925 \\ 0 & 0.375 & 0.0323 - \lambda \end{vmatrix} = 0,$$

$$(-0.000046 - \lambda) \begin{vmatrix} -0.328879 - \lambda & 0.2925 \\ 0.375 & -0.0323 - \lambda \end{vmatrix} = 0,$$

$$(-0.000046 - \lambda)[(-0.328879 - \lambda)(-0.0323 - \lambda) - 0.109688] = 0,$$

$$\Rightarrow \lambda = -0.000046, \lambda = -0.543463 \text{ dan } \lambda = 0.182284.$$

Pada titik keseimbangan  $(0.096988, 0.000126, 0.00148)$  matriks Jacobian adalah sebagai berikut.

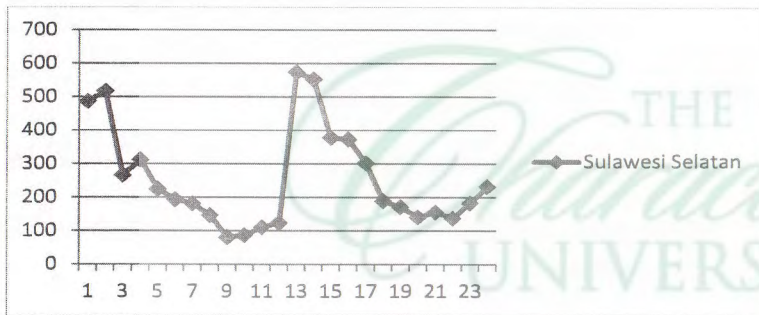
$$\begin{vmatrix} -0.000046 - 0.000433 - \lambda & 0 & -0.028369 \\ 0.000433 & -0.328879 - \lambda & 0.028369 \\ 0 & 0.375(0.99852) & -0.0323 - 0.00004725 - \lambda \end{vmatrix} = 0.$$

Diperoleh  $\lambda = -0.000244 + 0.003563i$ ,  
 $\lambda = -0.000244 - 0.003563i$  dan  $\lambda = -0.361218$ .

Nilai-nilai  $\lambda$  yang diperoleh pada titik keseimbangan  $(1,0,0)$  adalah nyata dan berbeda tanda, merujuk pada Tabel 6.2, maka jenis kestabilan pada titik keseimbangan ini adalah titik pelana, sedangkan nilai-nilai  $\lambda$  yang diperoleh pada titik keseimbangan  $(0.096988, 0.000126, 0.00148)$  adalah imajiner dengan  $\lambda$  negatif merujuk pada Tabel 6.2, maka jenis kestabilan pada titik keseimbangan ini adalah fokus stabil asimptotik.

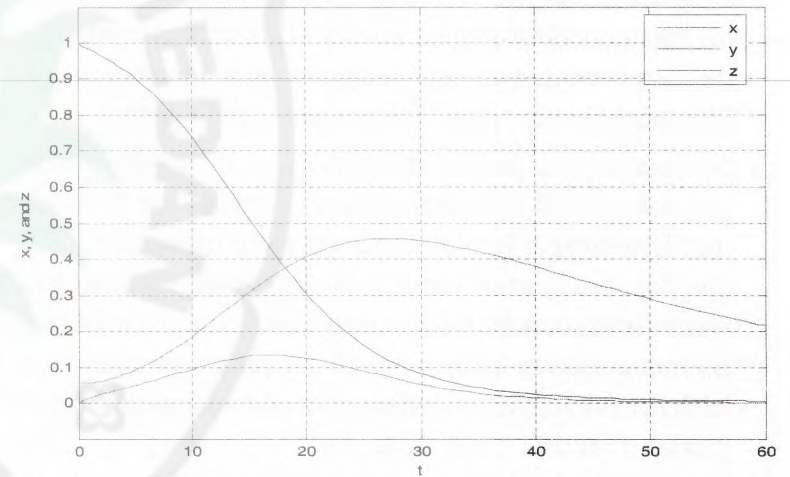
### 6.1.3 Hasil simulasi model SIR di Sulawesi Selatan

Data riil jumlah kasus demam berdarah di Sulawesi Selatan Indonesia disajikan dalam Gambar 6.1 dengan nilai sumbu-x adalah waktu (bulan) dan nilai sumbu-y adalah variabel pecahan yang digunakan.



Gambar 6.1 Jumlah kasus DBD di Sulawesi Selatan 2012-2013

Simulasi model dijalankan menggunakan sistem ODESOLVE, MATLAB. Hasil dari MATLAB diuraikan pada Gambar 6.2 dengan nilai sumbu-x adalah waktu (bulan) dan nilai sumbu-y adalah variabel pecahan yang digunakan.



Gambar 6.2 Gambar penyebaran demam berdarah dengan syarat

awal  $S_h(0) = \frac{7675406}{7675893}$ ,  $I_h(0) = \frac{487}{7675893}$ , dan  $I_v(0) = 0.056$  dengan

parameter  $\mu_h = 0.000046$ ,  $b\beta_h = 0.75$ ,  $b\beta_v = 0.375$ ,

$\gamma_h = 0.328833$  dan  $\mu_v = 0.0323$

Gambar 6.2 yang dihasilkan dari MATLAB untuk model SIR dibandingkan dengan hasil data riil dari Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (KKRI) dapat diuraikan sebagai berikut:

- a) Merujuk kepada data riil di Sulawesi Selatan, jumlah kasus DBD (manusia yang dijangkiti virus) di Sulawesi Selatan akan mencapai puncak dalam waktu 12 hingga 13 bulan.

Sedangkan hasil model SIR pada Gambar 6.2 menunjukkan jumlah kasus DBD, yaitu jumlah manusia yang ditulari memerlukan waktu 14 hingga 15 bulan untuk mencapai tahap yang tertinggi (10% dari populasi manusia) dan akan menurun menghampiri nilai nol pada bulan ke 34. Hasil ini menunjukkan bahwa model SIR untuk penyebaran demam berdarah di Asia Tenggara pada umumnya dan Sulawesi Selatan pada khususnya hampir sesuai.

- b) Sementara itu, jumlah nyamuk yang dijangkiti menggunakan model SIR memerlukan waktu sekitar 35 bulan untuk mencapai jumlah tertinggi yaitu mendekati 45% dari populasi nyamuk untuk Sulawesi Selatan memerlukan waktu lebih dari 60 bulan untuk menghampiri nilai nol. Ini menunjukkan bahwa populasi nyamuk memerlukan lebih banyak waktu untuk dihapuskan dibandingkan dengan jumlah manusia yang dijangkiti.

## 6.2 Simulasi Model SEIR Di Sulawesi Selatan

Berdasarkan nilai parameter dan data yang ada, simulasi model dilakukan menggunakan *software* MATLAB. Syarat awal yang digunakan dalam simulasi model ini adalah berdasarkan pada jumlah kasus DBD yang telah dilaporkan oleh pihak Kementerian Kesehatan Republik Indonesia 2013.

Syarat awal yang digunakan dalam simulasi model adalah; Nilai  $S_h(0)$ ,  $E_h(0)$ ,  $I_h(0)$ ,  $E_v(0)$  dan  $I_v(0)$  untuk model SEIR ditentukan seperti pada Tabel 6.3.

Tabel 6.3 Syarat awal model SEIR

Variabel	Nilai
$S_h(0)$	$\frac{7675406}{7675893}$
$I_h(0)$	$\frac{487}{7675893}$
$I_v(0)$	0.056
$E_h(0)$	$\frac{76759}{7675893}$
$E_v(0)$	0.01

Kemudian, model diselesaikan melalui MATLAB menggunakan sistem ODESOLVE.

### 6.2.1 Titik Keseimbangan Model SEIR di Sulawesi Selatan

Titik keseimbangan ditentukan menggunakan set model SEIR dengan parameter bagi Propinsi Sulawesi Selatan yang telah ditetapkan. Kemudian untuk menentukan titik kritis, sistem persamaan (4.31) disamakan dengan nol seperti di bawah ini:

$$0.000046(1-x) - 0.09x - 0.2925xz = 0,$$

$$0.2925xz + 0.09x - (0.1667 + 0.000046)u = 0,$$

$$0.1667u - (0.328833 + 0.000046 + 0.0000002)y = 0,$$

$$0.375(1 - z - w)y - (0.1428 + 0.0323)w = 0,$$

$$0.1428w - 0.0323z = 0,$$

Sistem bagi model pada persamaan di atas diselesaikan menggunakan software MAPLE dan memberikan nilai titik-titik keseimbangan model yaitu:

$$(x, u, y, w, z) = (S_p, E_p, I_p, E_v, I_v) = (274.626866, -0.08537, -0.037234, -0.069632, -0.307849)$$

dan  $(0.000509, 0.000276, 0.00014, 0.000299, 0.001321)$ .

Titik-titik keseimbangan ini menjelaskan bahwa jumlah populasi manusia yang berpotensi ditulari adalah 0.000509, jumlah populasi manusia yang memperlihatkan gejala ditulari adalah 0.000276, jumlah populasi manusia yang ditulari adalah 0.00014 dari jumlah keseluruhan populasi manusia. Kemudian jumlah populasi nyamuk yang memperlihatkan gejala ditulari adalah 0.000299 dan jumlah populasi nyamuk yang ditulari adalah 0.001321 dari jumlah keseluruhan populasi nyamuk.

### 6.2.2 Kestabilan Model SEIR di Sulawesi Selatan

Berdasarkan sistem persamaan (4.31) dan nilai-nilai parameter yang ditentukan, model SEIR diubah ke dalam bentuk matriks Jacobian untuk mencari nilai eigen,  $\lambda$ .

$$\frac{dx}{dt} = 0.000046(1 - x) - 0.09x - 0.2925xz = X(x, u, y, w, z),$$

$$\frac{du}{dt} = 0.2925xz + 0.09x - (0.1667 + 0.000046)u = U(x, u, y, w, z),$$

$$\frac{dy}{dt} = 0.1667u - (0.328833 + 0.000046 + 0.0000002)y = Y(x, u, y, w, z),$$

$$\frac{dw}{dt} = 0.375(1 - z - w)y - (0.1428 + 0.0323)w = W(x, u, y, w, z),$$

$$\frac{dz}{dt} = 0.1428w - 0.0323z = Z(x, u, y, w, z).$$

Untuk mencari nilai eigen  $\lambda$ , selesaikan persamaan  $|A - \lambda I| = 0$  sebagai berikut:

$$\begin{vmatrix} -0.090046 & 0 & 0 & 0 & -0.2925x \\ -0.2925x - \lambda & 0 & 0 & 0 & -0.2925x \\ 0.2925x + 0.09 & -0.166746 - \lambda & 0 & 0 & 0.2925x \\ 0 & 0.1667 & -0.328879 - \lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.375(1 - z - w) & -0.375y - 0.1751 & -0.375y \\ 0 & 0 & 0 & -\lambda & -0.375y \\ 0 & 0 & 0 & 0.1428 & -0.0323 - \lambda \end{vmatrix} = 0.$$

Dengan menggunakan software MAPLE diperoleh nilai-nilai eigen  $\lambda$  sebagai berikut:

Pada titik keseimbangan  $(274.626866, -0.08537, -0.037234, -0.069632, -0.307849)$  diperoleh nilai-nilai eigen  $\lambda = -0.172238 + 0.99089 i$ ,  $\lambda = -0.172238 - 0.99089 i$ ,  $\lambda = -1.175266$ ,  $\lambda = 0.830726$  dan  $\lambda = -0.000046$

Pada titik keseimbangan  $(0.000509, 0.000276, 0.00014, 0.000299, 0.001321)$  diperoleh nilai-nilai eigen  $\lambda = -0.171385 + 0.010450 i$ ,  $\lambda = -0.171385 - 0.010450 i$ ,  $\lambda = -0.329126$ ,  $\lambda = -0.089131$  dan  $\lambda = -0.032483$ .

Nilai-nilai  $\lambda$  yang diperoleh pada titik keseimbangan (274.626866,-0.08537,-0.037234,-0.069632,-0.307849) adalah imajiner dengan  $\lambda$  negatif dan positif. Merujuk pada Tabel 6.3, maka jenis kestabilan pada titik keseimbangan ini adalah fokus stabil asimptotik dan fokus tidak stabil. Jenis kestabilan untuk nilai-nilai  $\lambda$  yang diperoleh pada titik keseimbangan (0.000509,0.000276,0.00014,0.000299,0.001321) adalah titik imajiner dengan  $\lambda$  negatif. Merujuk pada Tabel 6.3, maka jenis kestabilan pada titik keseimbangan ini adalah fokus stabil asimptotik.

### 6.2.3 Hasil simulasi model SEIR di Sulawesi Selatan

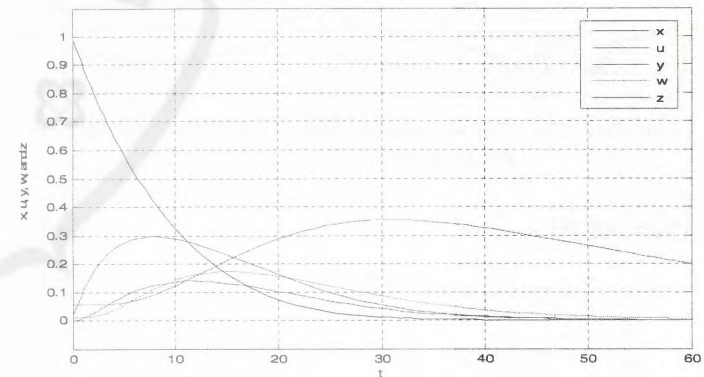
Simulasi model menggunakan software ODESOLVE, MATLAB. Data jumlah kasus DBD di Sulawesi Selatan dan hasil untuk kedua model di Sulawesi Selatan dijelaskan pada Gambar 6.3 dengan nilai sumbu-x adalah waktu (bulan) dan nilai sumbu-y adalah variabel pecahan yang digunakan.

Gambar 6.3 yang dihasilkan dari MATLAB untuk model SEIR dibandingkan dengan hasil data riil dari Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (KKRI) dapat diuraikan sebagai berikut:

- a) Merujuk kepada data riil Sulawesi Selatan, jumlah kasus DBD (manusia yang terinfeksi virus) di Sulawesi Selatan akan mencapai puncak dalam waktu 12 hingga 13 bulan. Sedangkan hasil model SEIR pada Gambar 6.3 menunjukkan jumlah kasus DBD, yaitu jumlah manusia yang dijangkiti memerlukan waktu 12 hingga 13 bulan untuk mencapai tahap yang tertinggi (10 % dari populasi manusia) dan akan menurun menghampiri nilai nol pada bulan ke 33.

Hasil ini menunjukkan bahwa model SEIR untuk penyebaran demam berdarah di Asia Tenggara pada umumnya dan Sulawesi Selatan pada khususnya sesuai.

- b) Sementara itu, Jumlah nyamuk yang ditulari menggunakan model SEIR memerlukan waktu sekitar 35 bulan untuk mencapai jumlah tertinggi yaitu mendekati 45% dari populasi nyamuk di propinsi Sulawesi Selatan mengambil waktu lebih dari 60 bulan untuk menghampiri nilai nol. Ini menunjukkan bahwa populasi nyamuk yang memerlukan lebih banyak waktu untuk dihapuskan dibandingkan dengan jumlah manusia yang ditulari.



Gambar 6.3 Penyebaran demam berdarah dengan syarat awal

$$S_h(0) = \frac{7675406}{7675893}, \quad E_h(0) = \frac{76759}{7675893}, \quad I_h(0) = \frac{487}{7675893}, \quad E_v(0) = 0.01$$

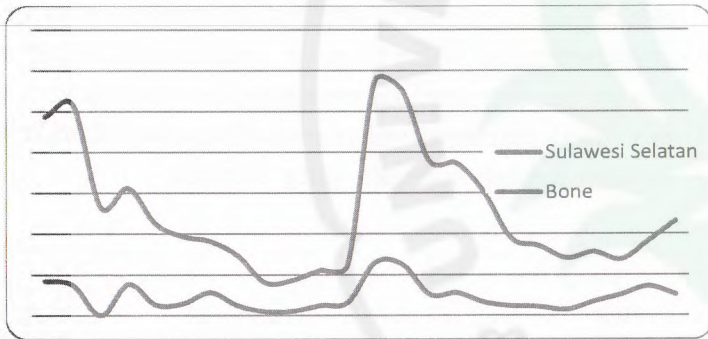
dan  $I_v(0) = 0.056$  dengan parameter  $\mu_h = 0.000046$ ,  $p = 0.09$ ,

$$C_{vh} = 0.75, \quad \varphi_h = 0.1667, \quad C_{iv} = 0.375, \quad \delta_v = 0.1428,$$

$$\alpha_h = 0.0000002, \quad \gamma_h = 0.328833 \quad \text{dan} \quad \mu_v = 0.0323$$

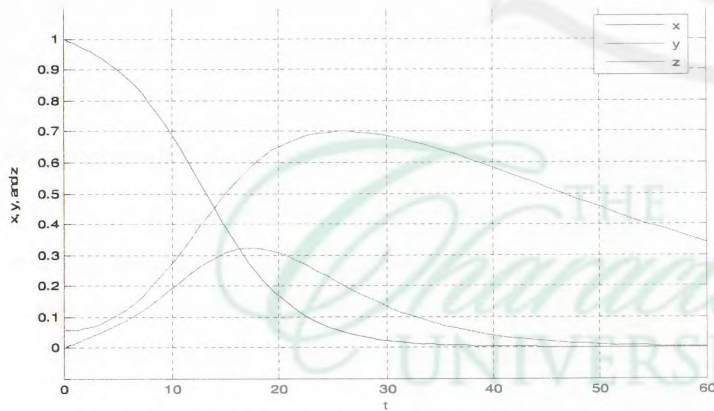
Hasil simulasi model matematika SIR dan SEIR untuk Kabupaten/Kotamadya dengan jumlah kasus DBD paling banyak di Sulawesi Selatan menggunakan MATLAB ODESOLVE disajikan pada Gambar 6.4 sampai dengan Gambar 6.18 berikut:

**1. Kabupaten Bone**



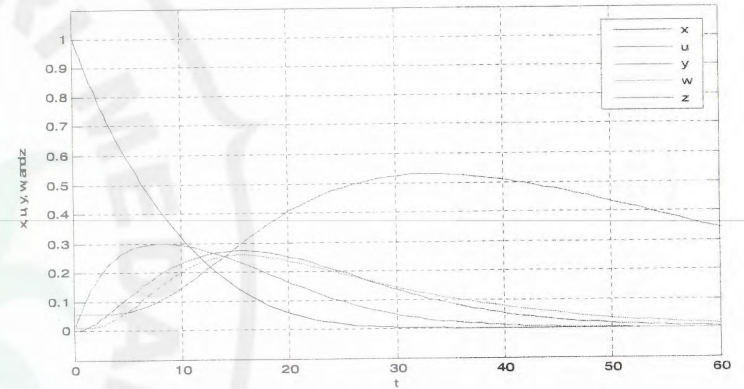
Gambar 6.4. Jumlah kasus DBD di Sulawesi Selatan dan Kabupaten Bone

**a. Model SIR**



Gambar 6.5. Penularan DBD menggunakan model SIR di Kabupaten Bone

**b. Model SEIR**



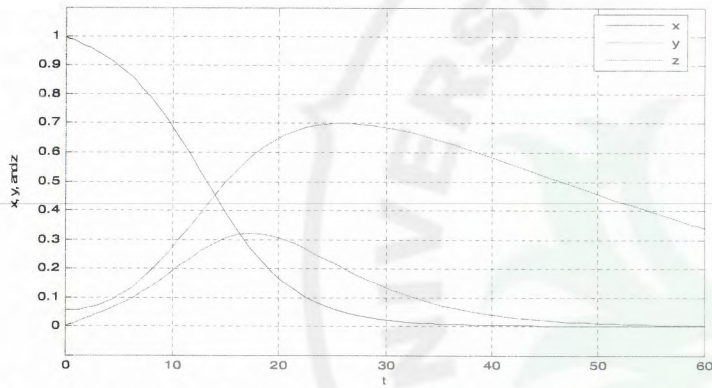
Gambar 6.6. Penularan DBD menggunakan model SEIR di Kabupaten Bone

**2. Kotamadya Makassar**



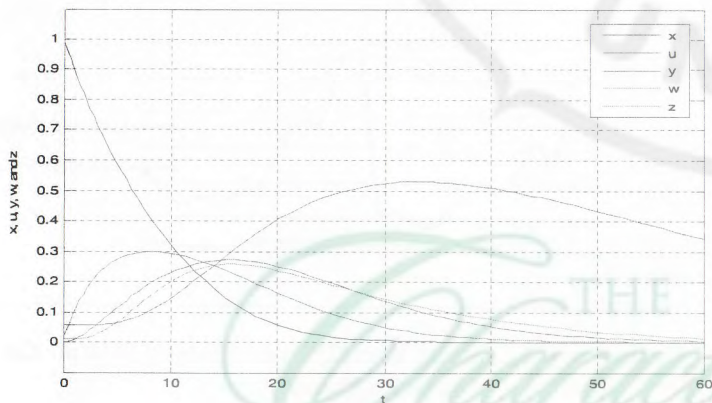
Gambar 6.7. Jumlah kasus DBD di Sulawesi Selatan dan Kotamadya Makassar

**a. Model SIR**



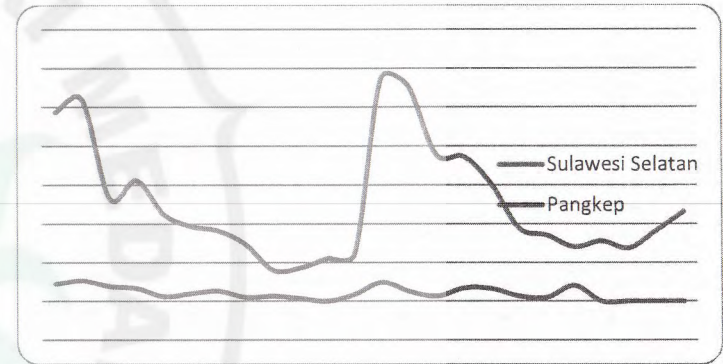
Gambar 6.8. Penularan DBD menggunakan model SIR di Kotamadya Makassar

**b. Model SEIR**



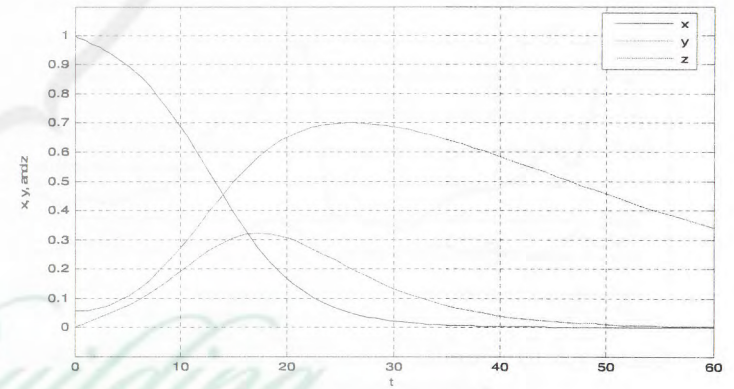
Gambar 6.9. Penularan DBD menggunakan model SEIR di Kotamadya Makassar

**3. Kabupaten Pangkep**



Gambar 6.10. Jumlah kasus DBD di Sulawesi Selatan dan Kabupaten Pangkep

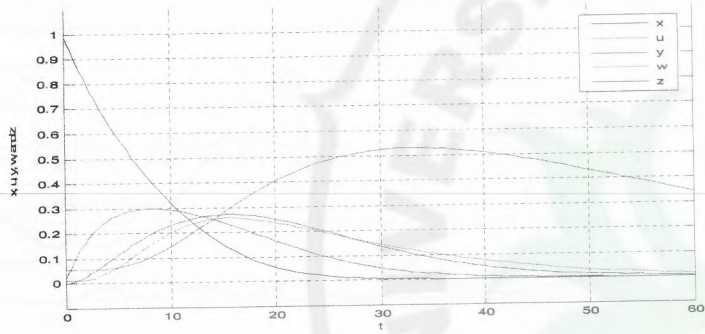
**a. Model SIR**



Gambar 6.11. Penularan DBD menggunakan model SIR di Kabupaten Pangkep

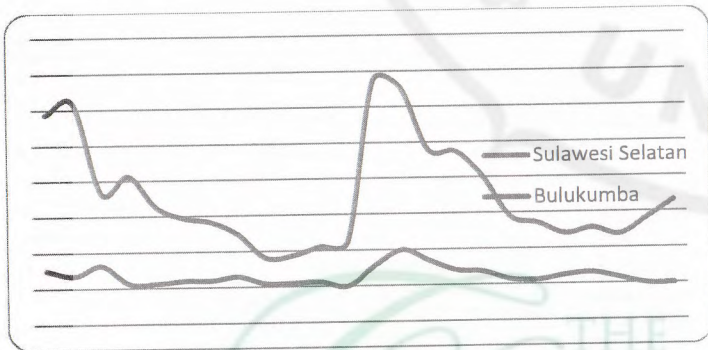


**b. Model SEIR**



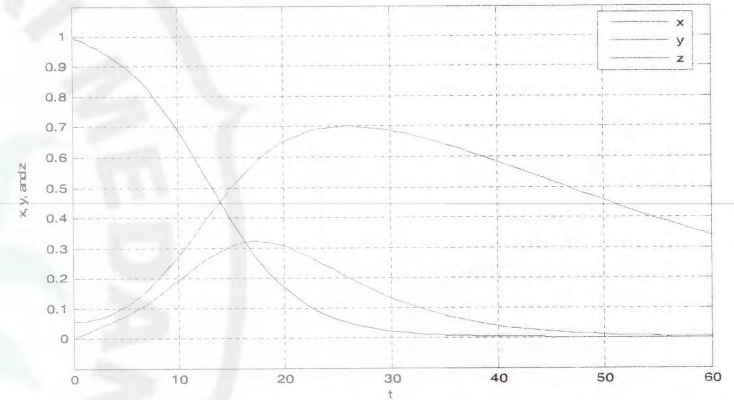
Gambar 6.12. Penularan DBD menggunakan model SEIR di Kabupaten Pangkep

**4. Kabupaten Bulukumba**



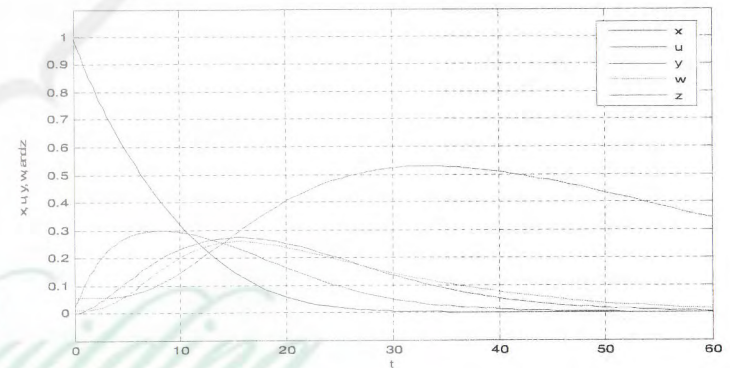
Gambar 6.13. Jumlah kasus DBD di Sulawesi Selatan dan Kabupaten Bulukumba

**a. Model SIR**



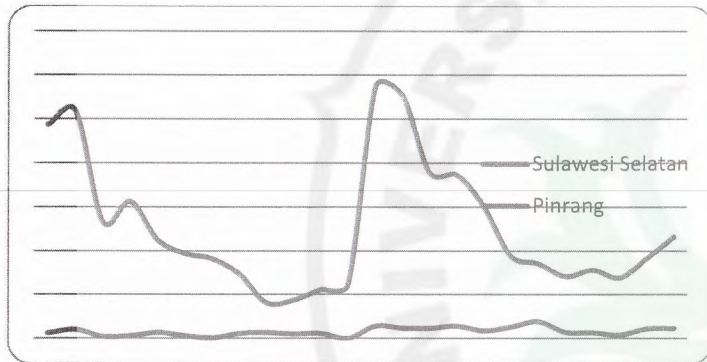
Gambar 6.14. Penularan DBD menggunakan model SIR di Kabupaten Bulukumba

**b. Model SEIR**



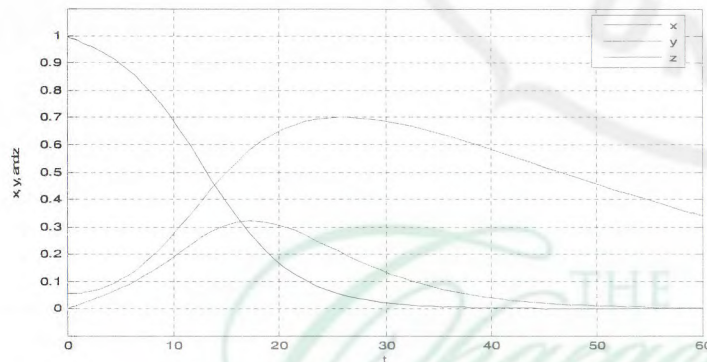
Gambar 6.15. Penularan DBD menggunakan model SEIR di Kabupaten Bulukumba

### 5. Kabupaten Pinrang



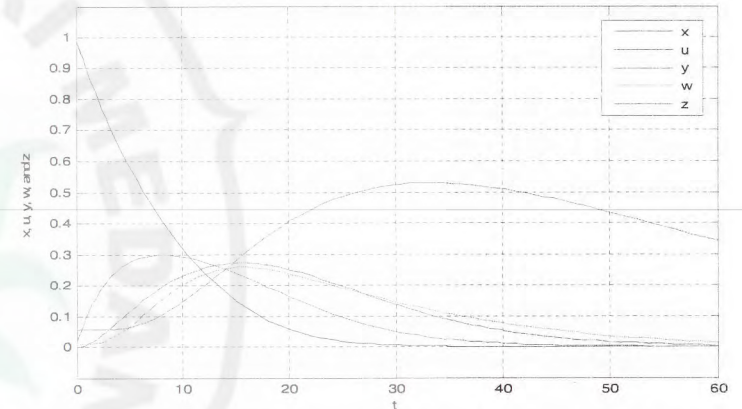
Gambar 6.16. Jumlah kasus DBD di Sulawesi Selatan dan Kabupaten Pinrang

#### a. Model SIR



Gambar 6.17. Penularan DBD menggunakan model SIR di Kabupaten Pinrang

#### c. Model SEIR



Gambar 6.18. Penularan DBD menggunakan model SEIR di Kabupaten Pinrang

Berdasarkan Gambar 6.4 sampai dengan Gambar 6.18, terlihat bahwa simulasi menggunakan model SEIR untuk kasus DBD di Sulawesi Selatan memberikan hasil yang paling sesuai. Hal ini dipengaruhi oleh variabel *exposed*. Tetapi, jika dilihat jumlah kasus yang dilaporkan sepanjang tahun 2012 hingga 2013, penyakit DBD sudah sampai ke tingkat yang sangat serius, karena jumlah kasus DBD yang dilaporkan telah mencapai 15% dari 7,675,893 jumlah populasi penduduk di Sulawesi Selatan Indonesia.

### 6.3 Kadar Reproduksi Awal di Sulawesi Selatan

Nilai bagi kadar Reproduksi awal  $R_0$  sangat penting dalam pemodelan ini karena nilai tersebut dapat menunjukkan

berapa banyak penularan yang akan terjadi kepada satu individu disebabkan satu penularan. Jika satu penularan menyebabkan penularan lain dan nilainya lebih dari satu, maka nilai  $R_0 > 1$  dan keadaan penyakit DBD ini dapat dikatakan epidemik. Penentuan kadar reproduksi awal ini telah diperkenalkan secara matematika oleh Waltman pada tahun 1974 (Murray 2001).

Dasar untuk menentukan nilai  $R_0$  adalah dengan menggunakan kaedah Diekhmann dan Heesterbeek, nilai kadar reproduksi awal untuk model SIR adalah sebagai berikut:

$R_0 = \frac{\alpha \gamma_v}{\mu_v(\mu_h + \gamma_h)}$  dan nilai kadar reproduksi awal untuk model SEIR adalah seperti berikut:

$$R_0 = \frac{\alpha \gamma_v \delta_v p \varphi_h + \mu_v (p + \mu_h)^2 (\mu_h + \gamma_h + \alpha_h) (\mu_v + \gamma_v) (\mu_h + \varphi_h)}{(p + \mu_h) \alpha \mu_h^2 N_h \gamma_v \delta_v},$$

dengan  $\alpha = \frac{b\beta_h A}{N_h \mu_v}$  dan  $\gamma_v = b\beta_v$ .

Nilai kadar reproduksi awal  $R_0$  diperoleh dengan menggunakan nilai awal dan nilai parameter di Sulawesi Selatan Indonesia dan diperoleh hasil sebagai berikut:

$R_0$  untuk Sulawesi Selatan dengan model SIR adalah:

$$R_0 = \frac{\alpha \gamma_v}{\mu_v(\mu_h + \gamma_h)} = \frac{(0.2925)(0.375)}{(0.0323)(0.000046 + 0.328833)} = 10.325676$$

$R_0$  untuk Sulawesi Selatan dengan model SEIR adalah:

$$R_0 = \frac{\alpha \gamma_v \delta_v p \varphi_h + \mu_v (p + \mu_h)^2 (\mu_h + \gamma_h + \alpha_h) (\mu_v + \gamma_v) (\mu_h + \varphi_h)}{(p + \mu_h) \alpha \mu_h^2 N_h \gamma_v \delta_v}$$

$$R_0 = 10.478261$$

Karena nilai  $R_0 > 1$  maka Sulawesi Selatan merupakan daerah dengan status epidemik (KLB). Hal ini harus menjadi perhatian serius bagi pemerintah agar segera mengontrol dan mencegah semakin merebaknya wabah DBD di kawasan ini.

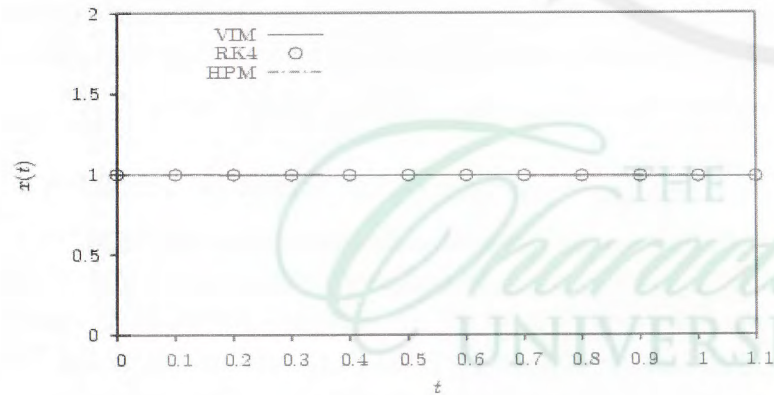
#### 6.4 Hasil Numerik Metode MPH, MIV, MAH dan MDAM untuk Model SIR di Sulawesi Selatan

Dari data yang diperoleh peneliti (KKRI, 2012-2013), rate terinfeksi bagi manusia untuk disembuhkan adalah  $(\gamma_h) = 0.3288330$ , rate kontak efektif, manusia ke nyamuk adalah  $(b\beta_v) = 0.3750000$ , rate kontak efektif, manusia ke nyamuk adalah  $(b\beta_h) = 0.7500000$ , rentang kehidupan manusia  $(\mu_h) = 0.0000460$ , rentang kehidupan nyamuk  $(\mu_v) = 0.0323000$ .

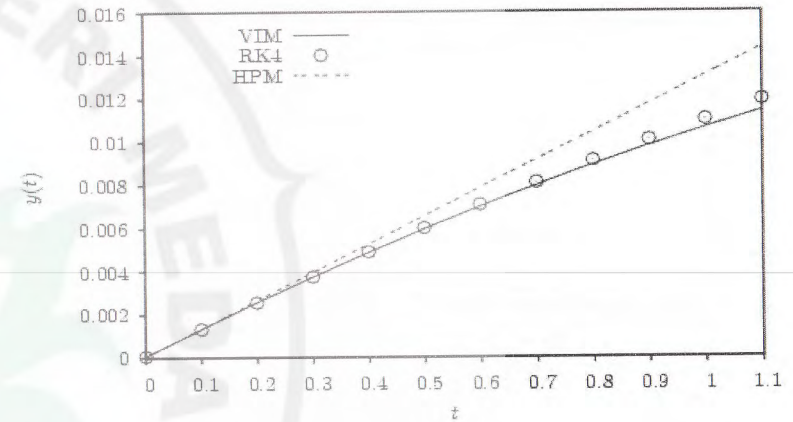
Iterasi dan term telah diawali oleh  $x(0) = \frac{7675406}{7675893}$ ,

$y(0) = \frac{487}{7675893}$ , dan  $z(0) = 0.056$ . Iterasi dari Model SIR telah dikodekan menggunakan paket MAPLE dan MATHEMATICA dengan menggunakan digit 16. MIV iterasi ke 10, MPH term ke 10, MAH term ke-10, MDAM term ke-5 RK4 pada  $\Delta t = 0.001$  digunakan untuk mendapatkan penyelesaian dari model SIR penyakit demam berdarah Kemudian ditampilkan perbandingan antara hasil dari MPH, MIV dan data real pada Gambar 6.19.

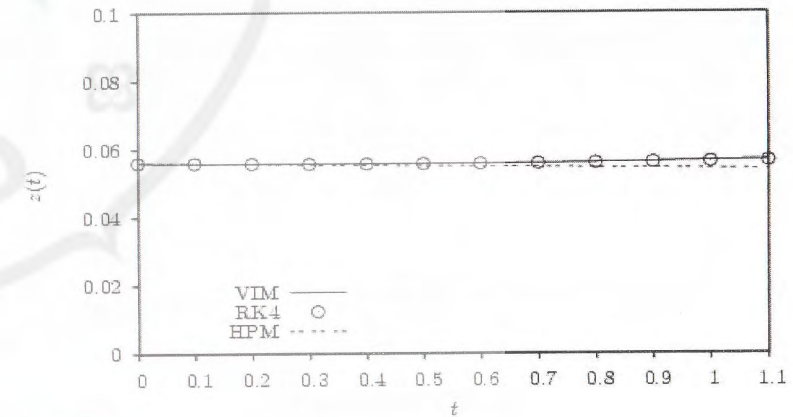
Kemudian perbandingan hasil dari penyelesaian MPH, MIV dan RK4 dalam Tabel 6.5. Dari Gambar 6.20 dapat dilihat MPH lebih akurat dibandingkan MIV. MIV akan divergen untuk interval  $t \geq 7$  dan iterasi hanya berhenti pada iterasi ke 10, sedangkan MPH akan konvergen untuk term lebih dari sepuluh. Gambar 6.21 menunjukkan jumlah manusia yang rentan ( $x(t)$ ), jumlah manusia yang terinfeksi ( $y(t)$ ) dan nyamuk yang terinfeksi dan menularkan ke manusia ( $z(t)$ ) yang diselesaikan menggunakan masing-masing MPH dan MDAM dan RK4. Dari Gambar 6.21 tampak jelas bahwa, MDAM mendekati hasil dari RK4 hingga interval  $t \in [0,64]$ , yang mana diketahui bahwa RK4 adalah benchmark untuk model SIR ini. Sedangkan MPH akan divergen pada interval waktu  $t \geq 7$ . Tabel 6.4 dan Tabel 6.5 menunjukkan galat hasil perbandingan MIV, MPH, MAH dan MDAM dengan RK4. Dari Tabel 6.4 dan Tabel 6.5 tampak jelas bahwa MDAM term ke 5 paling akurat dan penyelesaiannya lebih mendekati penyelesaian dari RK4 hingga interval waktu  $t \in [0,64]$ .



(a)

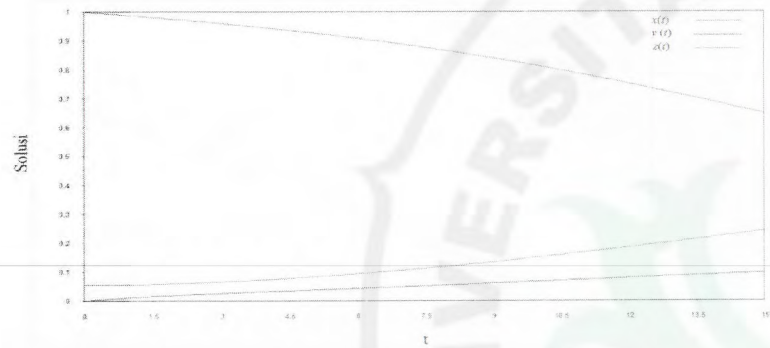


(b)

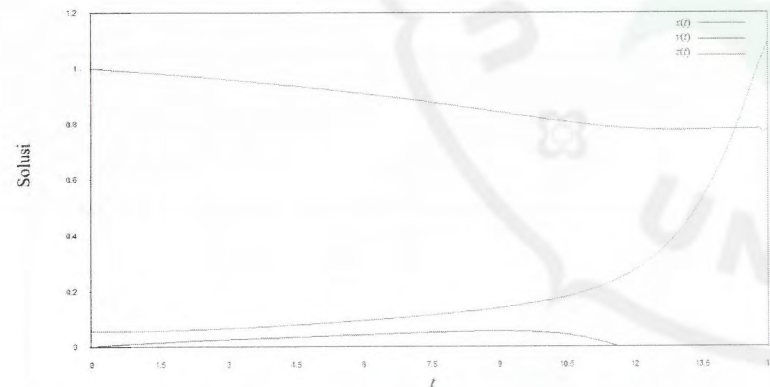


(c)

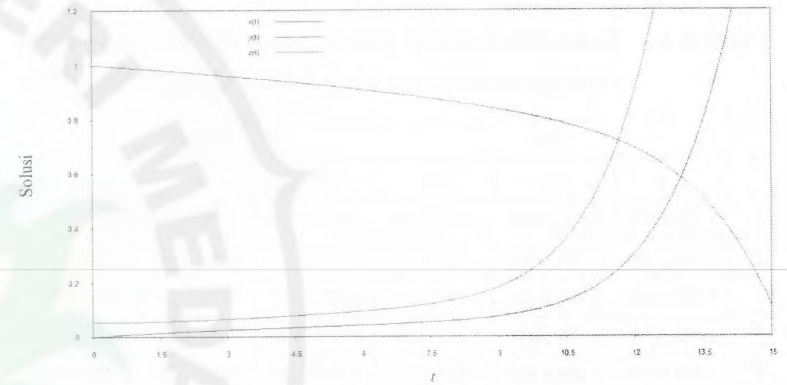
Gambar 6.19. Penyelesaian hampiran antara iterasi ke-2 dari MIV, term ke-2 dari MPH dan RK4 dengan  $\Delta t = 0.001$  untuk kasus; (a) jumlah manusia yang rentan, (b) jumlah Manusia terinfeksi (c) Jumlah nyamuk terinfeksi



(a) RK4



(b) MIV iterasi ke-10



(c) MPH term ke-10

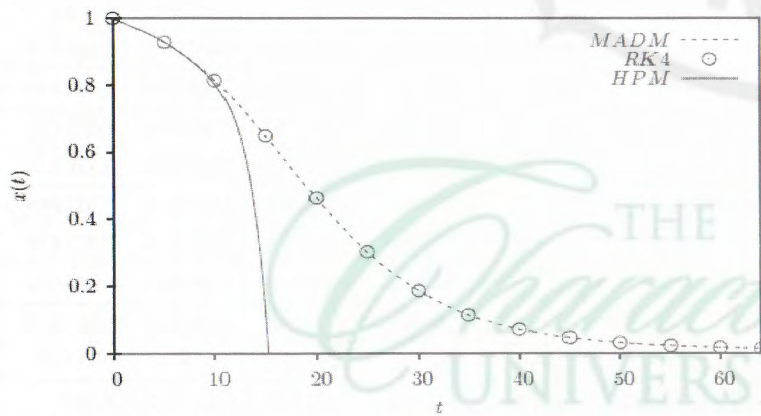
Gambar 6.20. Penyelesaian aproksimasi dari MIV iterasi ke 10, MPH term ke-10 dan RK4 untuk interval waktu  $0 \leq t \leq 13$

Tabel 6.4. Galat Mutlak dari penyelesaian MPH dan MIV yang dibandingkan kepada RK4 dengan  $h= 0,001$

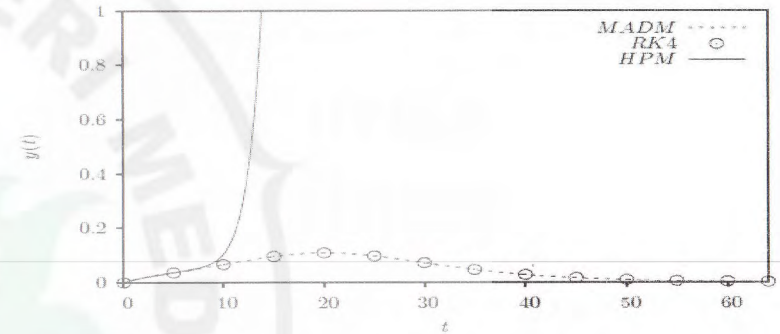
t	MIV			MPH		
	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$
1	2.401 E-11	3.934 E-10	2.852 E-10	9.358 E-10	6.462 E-10	2.329 E-08
2	7.439 E-11	7.198 E-11	6.156 E-12	3.205 E-08	2.465 E-08	3.466 E-07
3	1.514 E-08	4.335 E-08	3.289 E-08	1.846 E-07	6.190 E-08	7.005 E-07
4	3.386 E-07	9.813 E-07	7.455 E-07	1.154 E-07	3.908 E-06	1.336 E-05
5	3.704 E-06	1.082 E-05	8.220 E-06	7.576 E-06	4.063 E-05	1.532 E-04
6	2.579 E-05	7.602 E-05	5.772 E-05	5.805 E-05	2.535 E-04	9.432 E-04
7	1.313 E-04	3.912 E-04	2.968 E-04	2.872 E-04	1.166 E-03	4.219 E-03
8	5.306 E-04	1.602 E-03	1.215 E-03	1.106 E-03	4.330 E-03	1.523 E-02
9	1.791 E-03	5.506 E-03	4.188 E-03	3.582 E-03	1.37 E-02	4.69 E-02
10	5.218 E-03	1.645 E-02	1.263 E-02	1.016 E-02	3.827 E-02	0.1277
11	1.335 E-02	4.379 E-02	3.44 E-02	2.598 E-02	9.664 E-02	0.3149
12	3.008 E-02	0.1055	8.677 E-02	6.099 E-02	0.2246	0.716

Tabel 6.5. Galat Mutlak dari penyelesaian MPH dan MDAM yang dibandingkan kepada RK4 dengan  $h= 0,001$

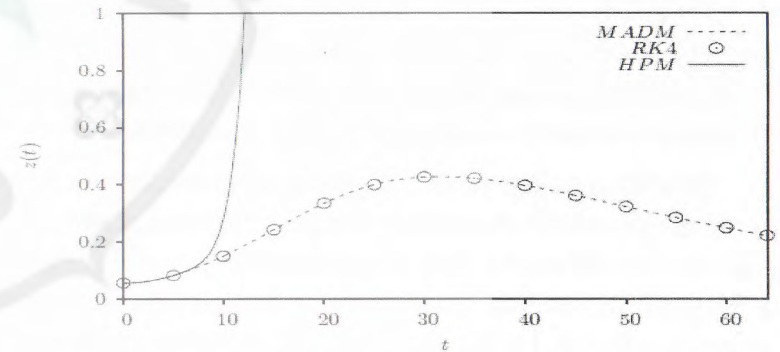
t	MAH			MDAM		
	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$	$\Delta x$	$\Delta y$	$\Delta z$
1	1.759 E-08	3.553 E-09	3.624 E-08	2.364 E-06	1.343 E-08	1.524 E-09
2	2.136 E-06	7.740 E-07	4.457 E-06	4.694 E-06	5.168 E-08	1.208 E-08
3	3.456 E-05	1.869 E-05	7.341 E-05	6.982 E-06	1.150 E-07	3.960 E-08
4	2.463 E-04	1.759 E-04	5.376 E-04	9.216 E-06	2.072 E-07	9.213 E-08
5	1.124 E-03	9.864 E-04	2.548 E-03	1.138 E-05	3.344 E-07	1.786 E-07
6	3.877 E-03	3.986 E-03	9.237 E-03	1.345 E-05	5.031 E-07	3.091 E-07
7	1.105 E-02	1.284 E-02	2.799 E-02	1.541 E-05	7.201 E-07	4.944 E-07
8	2.746 E-02	3.501 E-02	7.467 E-02	1.724 E-05	9.919 E-07	7.457 E-07
9	6.156 E-02	8.397 E-02	0.1811	1.891 E-05	1.323 E-06	1.074 E-06
10	0.1274	0.1819	0.4076	2.039 E-05	1.718 E-06	1.490 E-06
11	0.2476	0.3625	0.8636	2.167 E-05	2.175 E-06	2.000 E-06
12	0.4574	0.6736	1.739	2.273 E-05	2.693 E-06	2.610 E-06



a. Jumlah nilai pendekatan dari manusia yang rentan penyakit demam berdarah



b. Jumlah nilai pendekatan dari manusia yang terinfeksi penyakit demam berdarah



c. Jumlah nilai pendekatan dari nyamuk yang terinfeksi penyakit demam berdarah.

Gambar 6.21. Jumlah penyebaran penyakit demam berdarah untuk; (a)  $x(t)$ , (b)  $y(t)$ , (c)  $z(t)$  yang dihasilkan menggunakan MPH, MDAM dan RK4