

RAMALAN INTYERAKSI HANTAVIRUS DAN TIKUS MENGUNAKAN KAEDAH RUNGE-KUTTA PERINGKAT 4

Mohammad Khatim Hasan dan Nuraisyah Rosman

ABSTRAK

Hantavirus adalah sejenis virus bawaan tikus tanpa memberi kesan terhadap kesihatan tikus tersebut malah mampu memberi ancaman terhadap kesihatan manusia. Sebuah simulasi akan dibina dengan menggunakan perisian SCILAB yang akan digunakan untuk meramal penyebaran jangkitan hantavirus. SCILAB adalah perisian sumber terbuka dan bahasa pengaturcaraan aras tinggi yang bersesuaian dengan masalah berasaskan matematik. Set data dari tahun 2001 hingga 2009 berkenaan penyakit hantavirus akan diproses dengan menggunakan perisian WEKA. Seterusnya set data tersebut akan dikelompok mengikut tahun dan digunakan bagi mendapatkan nilai parameter yang akan digunakan dalam model matematik Abramson dan Kenkre dengan cara pengoptimuman bukan linear. Seterusnya, kaedah berangka Runge Kutta peringkat empat, RK4 akan digunakan untuk menyelesaikan model matematik yang bentuknya dalam persamaan terbitan biasa. Hasilnya merupakan ramalan penyebaran jangkitan hantavirus. Simulasi ini dapat membantu para penyelidik dalam kajian untuk meramal penyebaran jangkitan hantavirus disamping dapat mengurangkan kos eksperimen di dalam makmal dan dapat mengurangkan masa eksperimen.

1 PENGENALAN

Hantavirus adalah sejenis virus yang dibawa oleh tikus tanpa memberi kesan terhadap kesihatan tikus tersebut. Sebaliknya jika virus tersebut tersebar kepada manusia, ianya boleh mendatangkan ancaman kepada manusia. Faktor utama hantavirus boleh tersebar adalah dengan melalui kencing tikus, air liur (gigitan tikus), dengan sentuhan langsung dengan haiwan tersebut atau oleh udara dan debu yang tercemar dengan kencing tikus. Rumah atau bangunan yang mudah dimasuki ataupun kawasan yang mungkin menjadi tempat perlindungan bagi tikus (contohnya, ruang merangkak, bangunan yang dikosongkan, tapak pembinaan) mungkin juga meningkatkan risiko jangkitan hantavirus merebak kepada manusia. Kawasan luar bandar yang

mempunyai hutan dan ladang yang boleh menyokong populasi tikus adalah kawasan yang tingginya risiko pendedahan kepada hantavirus.

Kebanyakan pesakit didiagnos dengan hantavirus biasanya dijaga dalam unit rawatan intensif. Secara eksperimental, ubat antivirus ribavirin digunakan terhadap pesakit yang dijangkiti hantavirus. Tetapi tidak ada data yang jelas pada masa ini yang menegaskan bahawa ubat tersebut berkesan sepenuhnya terhadap pesakit. Tidak ada vaksin yang tersedia untuk melindungi daripada penyakit hantavirus ini. Cara yang terbaik adalah dengan mencegah daripada jangkitan hantavirus dengan cara penghapusan tempat-tempat yang berpotensi untuk tikus membiak. Langkah yang berjaga-jaga seperti pemakaian sarung tangan dan topeng muka boleh mengurangkan kemungkinan jangkitan ketika berhadapan dengan tempat-tempat yang berpotensi adanya jangkitan hantavirus. Maklumat berkenaan Hantavirus tersebut diperoleh daripada laman sesawang Centers for Disease Control and Prevention Website.

Oleh yang demikian, matlamat kajian ini adalah untuk meramal penyebaran jangkitan hantavirus menggunakan kaedah berangka melalui simulasi komputer. Simulasi komputer adalah program komputer yang cuba mensimulasikan model abstrak sistem tertentu. Simulasi komputer menjadi sebahagian daripada pemodelan matematik bagi banyak sistem semulajadi dalam fizik, kimia dan biologi, sistem manusia dalam bidang ekonomi, psikologi, dan sains sosial dan dalam proses kejuruteraan teknologi baru untuk mendapatkan gambaran mengenai operasi sistem tersebut.

Kaedah berangka merupakan bidang matematik dan sains komputer yang mencipta, menganalisis, dan melaksanakan algoritma untuk mendapatkan penyelesaian berangka bagi masalah yang melibatkan pembolehubah yang berterusan. Set data berkaitan hantavirus akan digunakan dalam kajian ini bagi mendapatkan nilai parameter dan seterusnya akan digunakan untuk meramal penyebaran dengan menggunakan kaedah berangka.

2 PENYATAAN MASALAH

Pelbagai kaedah telah digunakan oleh penyelidik untuk membuat ramalan mengenai penyebaran jangkitan hantavirus. Salah satunya adalah dengan kaedah biologi di dalam makmal. Eksperimen di dalam makmal terhadap tikus yang dijangkiti hantavirus mungkin mengambil masa yang lama dan melibatkan kos yang tinggi.

3 OBJEKTIF KAJIAN

Objektif-objektif bagi kajian ini adalah seperti berikut:

1. Untuk menganalisis set data yang diperoleh bagi mendapatkan nilai parameter yang akan digunakan dalam sistem simulasi.
2. Untuk mengenalpasti model matematik dan kaedah berangka yang sesuai bagi ramalan penyebaran jangkitan hantavirus.
3. Untuk membangunkan sebuah sistem simulasi bagi meramal penyebaran jangkitan hantavirus.

4 METOD KAJIAN

Penggunaan model pembangunan yang sesuai penting untuk memastikan perjalanan projek berjalan dengan lancar dan menjamin hasil kerja yang berkualiti. Model Kitar Hayat Pembangunan Perisian akan digunakan sebagai model pembangunan untuk kajian ini. Model ini dipilih kerana mempunyai fasa yang jelas serta mudah untuk diikuti dari satu fasa ke fasa seterusnya. Model ini mempunyai 5 fasa iaitu, fasa perancangan, fasa analisis, fasa rekabentuk, fasa pembangunan dan implementasi dan akhir sekali fasa pengujian.

4.1 Fasa Perancangan

Tujuan utama kajian ini dibuat adalah untuk membina sistem simulasi yang bertujuan untuk meramal penyebaran jangkitan hantavirus dengan menggunakan kaedah berangka dan menggunakan nilai parameter yang diperoleh dari set data. Dalam fasa ini, pencarian set data yang bersesuaian berkaitan penyakit hantavirus akan dijalankan. Model - model matematik dan kaedah berangka yang digunakan dalam penyelidikan yang lepas akan dikumpul dan analisis kesesuaiannya untuk digunakan dalam kajian ini.

4.2 Fasa Analisis

Fasa ini adalah fasa dimana semua model dan kaedah berangka yang diperoleh dari kertas penyelidikan lepas dikumpul dan dianalisis. Model matematik yang paling sesuai untuk mewakili penyebaran jangkitan hantavirus akan dikenalpasti dan digunakan dalam kajian ini.

Begitu juga dengan kaedah berangka. Kaedah berangka yang paling sesuai perlu dikenalpasti untuk digunakan bagi meramal penyebaran jangkitan hantavirus.

4.3 Fasa Reka Bentuk

Dalam fasa ini, terdapat 4 aspek rekabentuk akan dikenalpasti dan digunakan dalam kajian ini. Antaranya adalah, rekabentuk antara muka, rekabentuk data, rekabentuk proses dan rekabentuk algoritma. Sistem ini terdiri daripada dua bahagian iaitu penganggaran parameter dan simulasi ramalan. Reka bentuk antara muka untuk bahagian tersebut dapat memudahkan pengguna untuk memahami sistem dan dibuat dengan menggunakan fungsi perisian SCILAB. Rekabentuk data untuk sistem ini diwakili dengan rajah hubungan entiti. Rekabentuk proses untuk perisian ini diwakili dengan carta alir manakala algoritma menunjukkan model matematik yang digunakan dalam sistem ini.

4.4 Fasa Pengujian

Dalam fasa pengujian, hasil nilai ramalan sistem simulasi yang dibina akan diuji dengan menggunakan ralat mutlak maksimum. Hal ini bagi memastikan sistem simulasi yang dibina ini menghasilkan nilai ketepatan ramalan penyebaran jangkitan hantavirus yang baik dan hampir tepat.

5 HASIL KAJIAN

Bahagian ini akan menjelaskan mengenai hasil daripada pelaksanaan sistem simulasi meramal penyebaran jangkitan hantavirus yang telah dibangunkan dengan menggunakan SCILAB. Simulasi dan penganggaran parameter telah dijalankan terhadap sistem yang dibangunkan dengan menggunakan model matematik Abramson dan Kenkre (2002) dan diselesaikan dengan kaedah berangka *Runge Kutta* peringkat empat.

5.1 Hasil Kaedah Berangka

Kaedah *Runge Kutta* peringkat empat, RK4

$$k_1 = f(t_i, y_i)$$

$$k_2 = f\left(t_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{h}{2}k_1\right)$$

$$k_3 = f\left(t_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{h}{2}k_2\right)$$

$$k_4 = f(t_i + h, y_i + hk_3)$$

Untuk $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{6}(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4)$$

5.2 Hasil Model Matematik

Abramson & Kenkre (2002)

$$\frac{dr_s}{dt} = br - cr_s - \frac{r_s r}{k} - ar_s r_i$$

$$\frac{dr_i}{dt} = -cr_i - \frac{r_i r}{k} - ar_s r_i$$

r_s – populasi yang terdedah

r_i – tikus yang dijangkiti

$ar_s r_i$ – mewakili bilangan tikus yang mudah dijangkiti mendapat jangkitan disebabkan interaksi dengan tikus yang telah dijangkiti

b – mewakili kelahiran tikus

c – mewakili kadar kematian semulajadi

k – parameter yang bergantung kepada masa dan persekitaran

$r(t) = r_s(t) + r_i(t)$ – jumlah populasi tikus

5.3 Hasil data dan graf

Terdapat dua bahagian dalam sistem ini iaitu bahagian penganggaran parameter dan simulasi peramalan. Kedua-dua bahagian ini memerlukan pengguna memasukkan set data yang terdiri daripada 2 pembolehubah seperti yang terdapat dalam model matematik Abramson & Kenkre (2002) iaitu populasi yang terdedah dan tikus yang dijangkiti.

5.3.1 Set data

Set data latihan yang digunakan adalah set data pada tahun 2001 hingga 2003, set data pada tahun 2004 hingga 2006 dan set data pada tahun 2007 hingga 2009 yang telah diproses daripada data asal yang diperoleh dari laman sesawang Nature Website. Data asal tersebut telah melalui proses penyatuan data, pembersihan data dan pengurangan data dengan menggunakan perisian WEKA (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*) dan disimpan menggunakan *Microsoft Excel* dalam format CSV (*“comma-separated values”*). Jadual 1 memaparkan set data yang telah melalui pra-pemprosesan data yang digunakan dalam kajian ini.

Jadual 1 Jadual berkenaan set data yang digunakan dalam kajian ini.

Set data	Jumlah data latihan	Jumlah data pengujian	Jumlah data
Data 2001 hingga 2003	70	45	115
Data 2004 hingga 2006	98	45	143
Data 2007 hingga 2009	60	29	89

5.3.2 Penganggaran parameter

Untuk bahagian ini, pengguna perlu memasukkan set data yang digunakan serta 4 nilai awal parameter seperti yang terdapat dalam model matematik Abramson & Kenkre. Sistem akan menyelesaikan model matematik dengan menggunakan kaedah berangka Runge Kutta peringkat empat berdasarkan nilai parameter awal yang dimasukkan oleh pengguna. Seterusnya, sistem akan melakukan pengoptimuman bukan linear menggunakan fungsi SCILAB iaitu *fminsearch* untuk mengoptimum hasil nilai parameter yang dimasukkan oleh pengguna bagi mendapatkan nilai anggaran parameter yang baik.

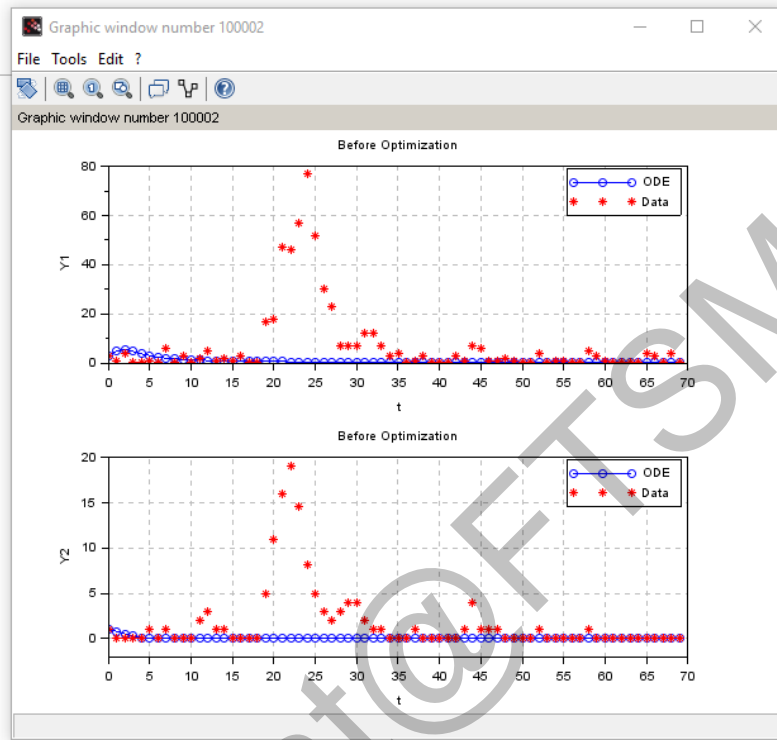
Hasil daripada bahagian ini adalah nilai parameter yang telah dioptimum berdasarkan set data yang dimasukkan. Nilai ralat mutlak maksimum digunakan untuk menguji jumlah perbezaan

antara set data dan nilai akhir yang dihasilkan. Jadual 2 menunjukkan nilai parameter awal dan parameter optimum bagi set data latihan yang telah diuji dalam sistem ini.

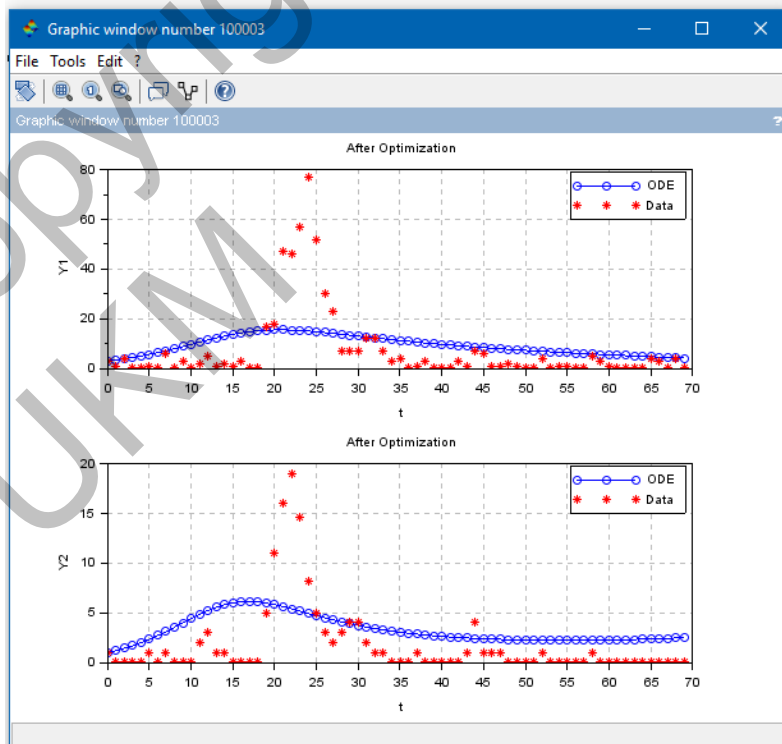
Jadual 2 Jadual nilai parameter awal dan parameter optimum bagi set data latihan yang digunakan.

Set data latihan	Nilai parameter awal	Nilai parameter optimum	Ralat mutlak maksimum	Bilangan iterasi
Data 2001 hingga 2003	b = 1 c = 0.5 a = 0.1 k = 20	b = -0.0524985 c = -0.1958403 a = -0.0050121 k = 2858.9496	Populasi terdedah = 61.983341 Tikus dijangkiti = 13.595725	406
	b = 1 c = 0.6 a = 0.1 k = 25	Ralat	Ralat	Ralat
	b = 1 c = 0.5 a = 0.3 k = 20	b = 6.2877528 c = 6.171906 a = 0.2943668 k = 2714.9405	Populasi terdedah = 61.864223 Tikus dijangkiti = 19	449
Data 2004 hingga 2006	b = 1 c = 0.5 a = 0.1 k = 20	b = 1.7791169 c = 1.6759334 a = 0.02717 k = 10443.825	Populasi terdedah = 157.05247 Tikus dijangkiti = 49.95	386
	b = 1 c = 0.6 a = 0.1 k = 25	Ralat	Ralat	Ralat
	b = 1 c = 0.5 a = 0.3 k = 20	Ralat	Ralat	Ralat
Data 2007 hingga 2009	b = 1 c = 0.5 a = 0.1 k = 20	Ralat	Ralat	Ralat
	b = 1 c = 0.6 a = 0.1 k = 25	Ralat	Ralat	Ralat
	b = 1 c = 0.5 a = 0.3 k = 20	Ralat	Ralat	Ralat

Berikut Rajah 1 memamparkan hasil graf penyelesaian untuk nilai parameter awal dan Rajah 2 hasil graf penyelesaian untuk pengoptimuman parameter.



Rajah 1 Hasil graf penyelesaian untuk nilai parameter awal.

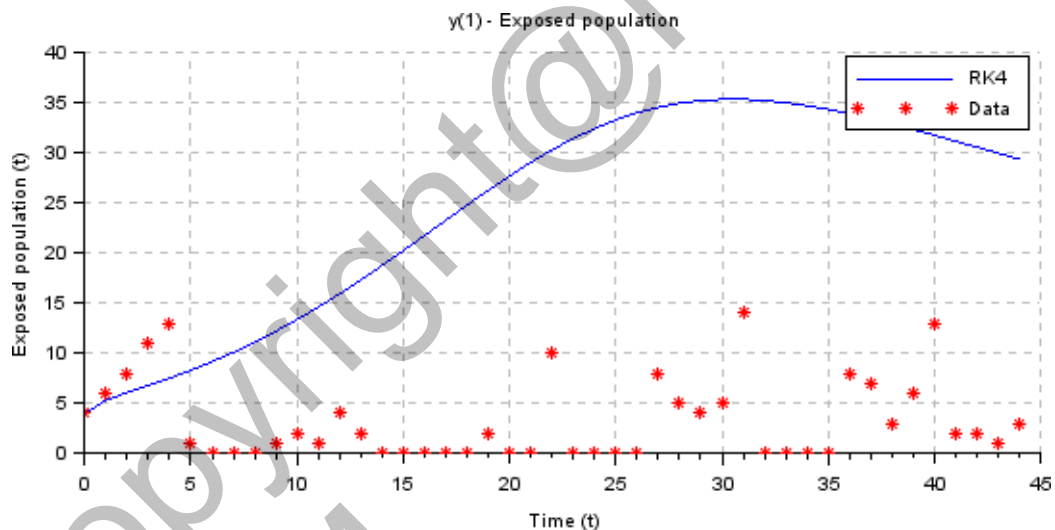


Rajah 2 Hasil graf penyelesaian untuk pengoptimuman parameter.

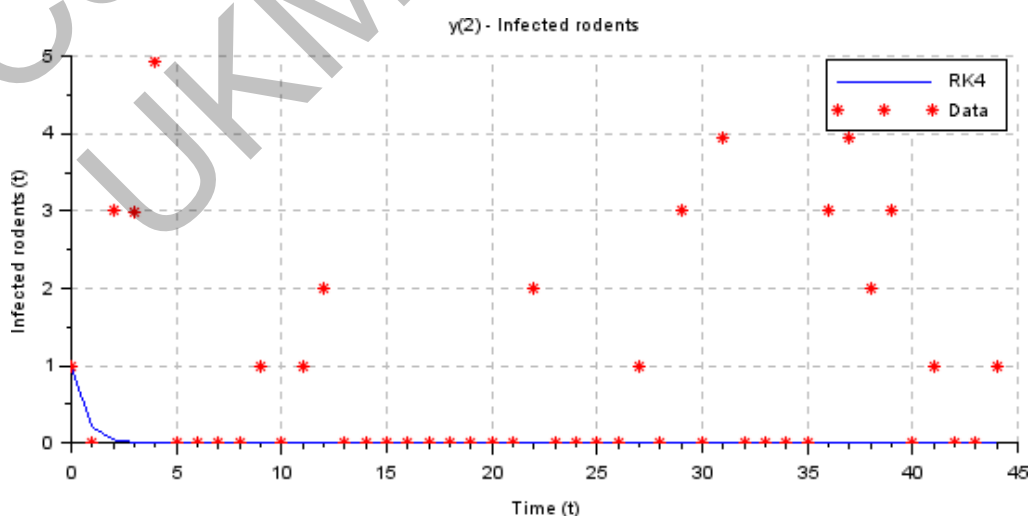
5.3.3 Simulasi peramalan

Simulasi peramalan telah dilakukan dengan menggunakan set data percubaan dan nilai parameter yang telah dioptimum. Pengguna boleh memasukkan set data percubaan, nilai parameter yang telah dioptimum serta nilai pembolehubah yang pertama dalam set data tersebut. Model matematik Abramson & Kenkre (2002) akan diselesaikan dengan menggunakan kaedah berangka *Runge Kutta* peringkat empat.

Graf ramalan penyebaran hantavirus akan terhasil. Terdapat 3 kerangka graf yang menunjukkan ramalan bagi pembolehubah populasi terdedah, ramalan bagi pembolehubah populasi dijangkiti dan graf populasi terdedah melawan populasi dijangkiti. Rajah 3 memaparkan hasil graf ramalan bagi pembolehubah populasi terdedah dan Rajah 4 hasil graf ramalan bagi pembolehubah populasi dijangkiti.

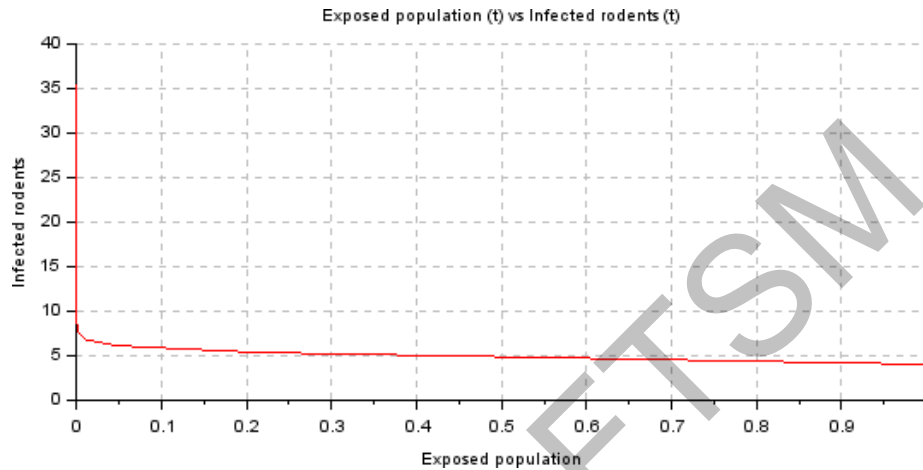


Rajah 3 Graf ramalan bagi pembolehubah populasi terdedah



Rajah 4 Graf ramalan bagi pembolehubah populasi dijangkiti

Garis berwarna biru menunjukkan pengiraan yang dilakukan dengan menggunakan kaedah berangka Runge Kutta terhadap model matematik Abramson & Kenkre manakala titik plot berwarna merah merupakan nilai data yang digunakan. Rajah 5 memaparkan kerangka graf ramalan bagi populasi terdedah melawan populasi dijangkiti.

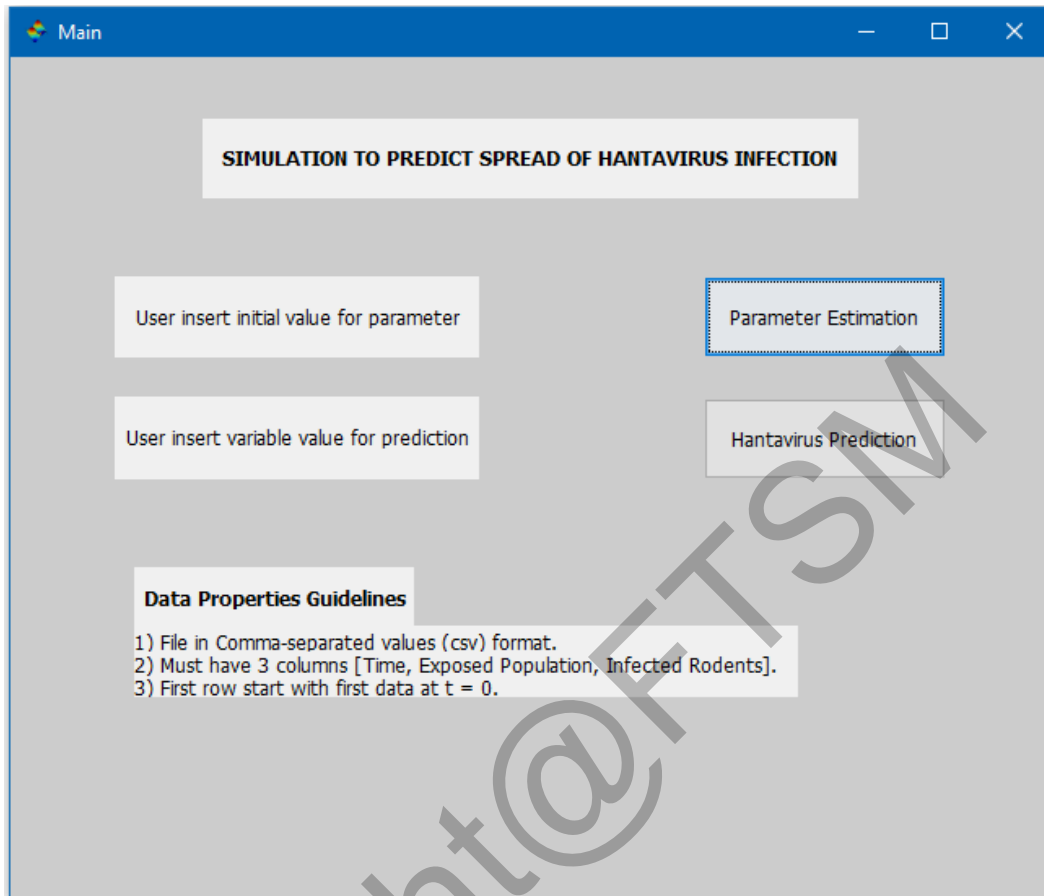


Rajah 5 Kerangka graf ramalan bagi populasi terdedah melawan populasi dijangkiti

Bagi simulasi ramalan ini, ralat mutlak maksimum turut dikira untuk mengetahui perbezaan nilai antara set data dan nilai ramalan. Sistem turut memaparkan ralat mutlak maksimum bagi pengguna mengetahui.

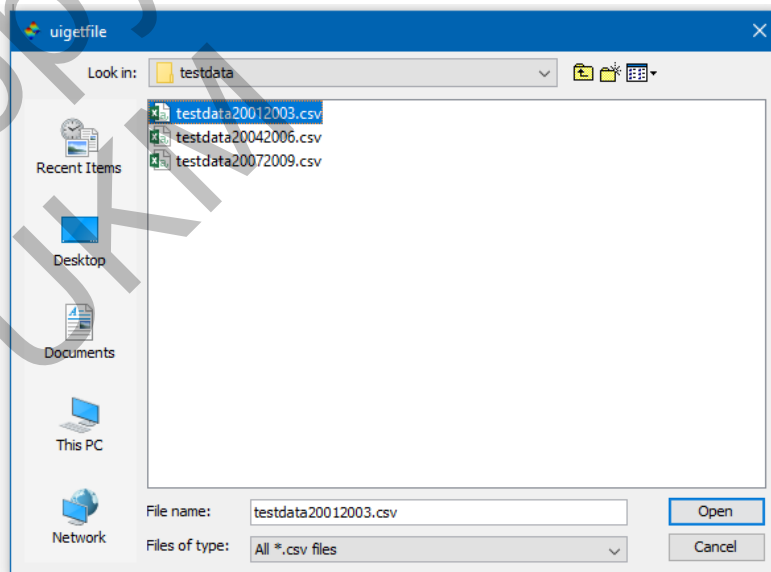
5.4 Hasil antara muka

Di dalam sistem ini, antara muka utama memaparkan butang dengan nama “Parameter Estimation” dan “Hantavirus Prediction”. Pengguna boleh menekan butang tersebut untuk ke antara muka bahagian tersebut. Rajah 6 memaparkan antara muka utama bagi sistem ini.



Rajah 6 Antara muka utama bagi sistem

Sistem ini turut memaparkan antara muka bagi pengguna memasukkan set data. Antara muka ini terdapat pada kedua-dua bahagian. Rajah 7 memaparkan antara muka bagi pengguna memasukkan set data.



Rajah 7 Antara muka bagi pengguna memasukkan set data.

Seterusnya, jika pengguna menekan butang “Parameter Estimation”, antara muka untuk penganggaran parameter akan dibuka. Rajah 8 dibawah menunjukkan paparan antara muka penganggaran parameter yang telah dilakukan.

Rajah 8 Antara muka penganggaran parameter bagi sistem simulasi

Sekiranya pengguna menekan butang “Hantavirus Prediction”, antara muka untuk penganggaran parameter akan dibuka. Rajah 9 dibawah menunjukkan paparan antara muka simulasi peramalan yang telah dilakukan.

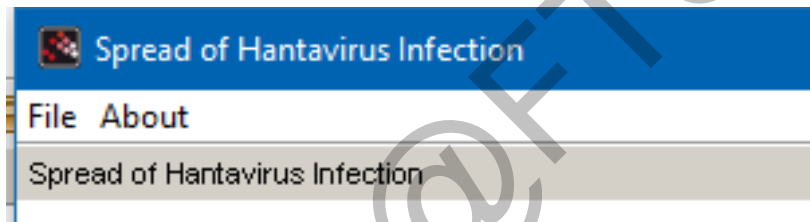
Rajah 9 Antara muka simulasi peramalan bagi sistem simulasi

5.5 Hasil komponen

Bahagian ini akan memaparkan hasil komponen menu, komponen parameter, komponen kerangka graf dan komponen butang yang terdiri daripada butang “Search”, butang “Estimate” dan butang “Predict”.

i. Komponen menu

Rajah 10 berikut memaparkan bahagian komponen menu manakala rajah 11 memaparkan contoh pengaturcaraan SCILAB bagi komponen menu.



Rajah 10 Contoh komponen menu

```

>> //New menu
>> h1 = uimenu("parent", demo_ak, "label", gettext("File"));
>> h2 = uimenu("parent", demo_ak, "label", gettext("About"));
... //h3 = uimenu("parent", demo_ak, "label", gettext("Save"));
>> |
>> //Populate menu: file
>> uimenu("parent", h1, "label", gettext("Close"), "callback", "demo
_ak=get_figure_handle(100001); delete(demo_ak);", "tag", "close_menu"
);

```

Rajah 11 Contoh pengaturcaraan SCILAB bagi komponen menu

ii. Komponen parameter

Kerangka bagi parameter membolehkan semua parameter yang telah diisytiharkan di dalam kod SCILAB. Rajah 12 berikut memaparkan bahagian komponen parameter manakala rajah 13 memaparkan contoh pengaturcaraan SCILAB bagi komponen parameter.

Spread of Hantavirus Infection

File About

Spread of Hantavirus Infection

Parameter Estimation

Data

Initial Parameter

b - Birth of rodents	<input type="text" value="1"/>
c - Natural death rate	<input type="text" value="0.5"/>
a - Aggression parameter	<input type="text" value="0.1"/>
k - Environmental	<input type="text" value="20"/>

Optimize Parameter

b	<input type="text" value="0"/>
c	<input type="text" value="0"/>
a	<input type="text" value="0"/>
k	<input type="text" value="0"/>

Iterations

Optimize Maximum Absolute Error

rs - Exposed Population	<input type="text" value="0"/>
ri - Infected Rodents	<input type="text" value="0"/>

Rajah 12 Contoh bagi komponen parameter

```

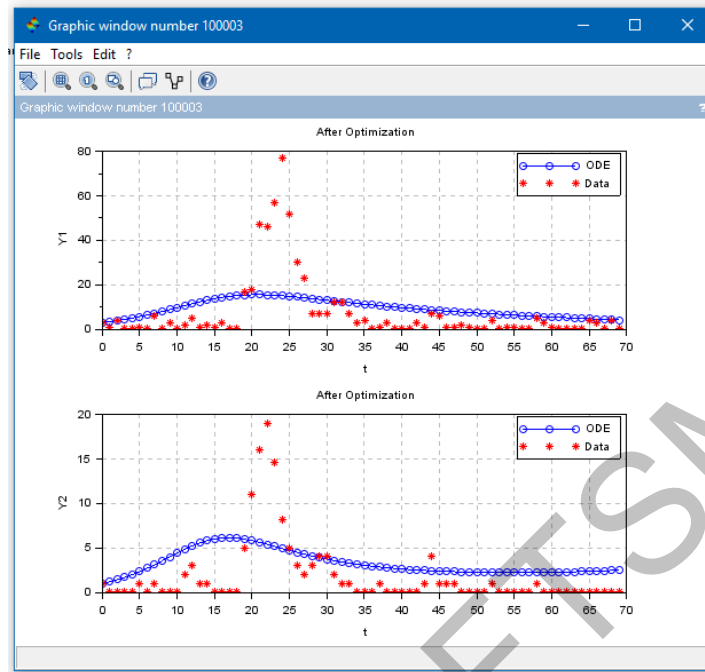
118 ---guih5 = 223;
119 ---guih5o = 223;
120 ---labels5 = ["Initial Parameter"]
121 ---l1 = 40; l2 = 200; l3 = 230;
122 >> for k=1:size(labels5,2)
123 >> >> uicontrol("parent",demo_ak, "style","text",...
124 >> >> "string",labels5(k), "position",[l1,guih5-k*20+guih5o,l2,20],...
125 >> >> "horizontalalignment","left", "fontsize",14,...
126 >> >> "background",[1 1 1]);
127 ---end
128 ---
129 >> guih2 = 210;
130 >> guih2o = 210;
131 >> labels2 = ["b-- Birth of rodents","c-- Natural death rate","a-- Aggression parameter","k-- Environmental"];
132 >> values2 = [1.0, 0.5, 0.1, 20];
133 ---//positioning
134 >> l1 = 40; l2 = 200; l3 = 230;
135 >> for k=1:size(labels2,2)
136 >> >> uicontrol("parent",demo_ak, "style","text",...
137 >> >> "string",labels2(k), "position",[l1,guih2-k*20+guih2o,l2,20],...
138 >> >> "horizontalalignment","left", "fontsize",14,...
139 >> >> "background",[1 1 1]);
140 >>
141 >> >> guientry2(k) = uicontrol("parent",demo_ak, "style","edit",...
142 >> >> "string",string(values2(k)), "position",[l3,guih2-k*20+guih2o,60,20],...
143 >> >> "horizontalalignment","left", "fontsize",14,...
144 >> >> "background",[.9 .9 .9], "tag",labels2(k));

```

Rajah 13 Contoh pengaturcaraan SCILAB bagi komponen parameter

iii. Komponen kerangka graf

Kerangka graf membolehkan graf yang telah diplot dipaparkan. Rajah 14 berikut memaparkan bahagian komponen kerangka graf manakala rajah 15 memaparkan contoh pengaturcaraan SCILAB bagi komponen kerangka graf.



Rajah 14 Contoh bagi komponen kerangka graf

```

378
1 function plotmyODE(a,b,c,k,t0,y0,t,y_exp,mytitle,solh)
2     y_calc=ode(y0',t0,t,list(Model,a,b,c,k));
3     //rs-variable
4     subplot(2,1,1);
5     plot(t,y_calc(1,:), "bo-");
6     plot(t,y_exp(:,1), "r*");
7     legend(["ODE", "Data"]);
8     xtitle(mytitle, "t", "Y1 - (Exposed Population)");
9     col = color("grey")
10    xgrid(col)
11    //ri-variable
12    subplot(2,1,2);
13    plot(t,y_calc(2,:), "bo-");
14    plot(t,y_exp(:,2), "r*");
15    legend(["ODE", "Data"]);
16    xtitle(mytitle, "t", "Y2 - (Infected Rodents)");
17    col = color("grey")
18    xgrid(col)
19    //Put transparent marks
20    h = gcf();
21    for i = 1 : size(h.children, "x")
22        for j = 2 : 3
23            h.children(i).children(j).children.mark_background=0;
24        end
25    end
26    //Calculate max absolute error

```

Rajah 15 Contoh pengaturcaraan SCILAB bagi komponen kerangka graf

iv. Komponen butang

Fungsi butang ini adalah untuk membolehkan pengguna mendapatkan hasil akhir setelah pengguna memasukkan nilai yang diperlukan. Rajah 16 berikut memaparkan bahagian komponen kerangka graf manakala rajah 17 memaparkan contoh pengaturcaraan SCILAB bagi komponen kerangka graf.

The screenshot shows a GUI window with the following elements:

- Data:** A text input field containing ".csv".
- Search:** A cyan button located below the data field.
- Parameter:** A section containing four input fields:
 - b - Birth of Rodents: 0.1
 - c - Natural Death Rate: 1
 - a - Aggression Parameter: 0.5
 - k - Environmental Parameter: 20
- Variable:** A section containing two input fields:
 - rs - Exposed Population: 0
 - ri - Infected Rodents: 0
- Predict:** A cyan button located below the variable section.

Rajah 16 Contoh bagi komponen butang

```

111
112 --- huibutton2 = uicontrol(demo_ak, "style", "pushbutton", ....
113 >> "Position", [110 470 100 20], "String", "Search", ....
114 >> "BackgroundColor", [.6 .9 .9], "fontsize", 14, ....
115 >> "Callback", "sysdata2");

```

Rajah 17 Contoh pengaturcaraan SCILAB bagi komponen butang

6 KESIMPULAN

Sistem ini dapat membantu para penyelidik untuk meramal penyebaran penyakit hantavirus dengan penggunaan sistem simulasi. Hal ini dapat mengurangkan kos eksperimen dan membantu mengurangkan masa kajian penyebaran. Penggunaan set data akan menghasilkan nilai parameter untuk model matematik dengan menggunakan fitur dalam sistem ini sendiri. Sistem simulasi ini dapat dibina dengan menggunakan perisian SCILAB dan mampu menyokong fungsi kaedah berangka yang digunakan iaitu Runge-Kutta peringkat empat dengan menggunakan fungsi ODE iaitu fungsi persamaan pembezaan biasa. Fungsi tersebut memudahkan penghasilan graf untuk memaparkan hasil daripada pengoptimuman parameter dan simulasi peramalan. Seterusnya, fungsi toolbox GUI SCILAB membantu memudahkan dalam membangunkan reka bentuk antara muka dalam sistem ini.

Penghargaan

Penghargaan buat geran GGP-2017-023 dari UKM.

7 RUJUKAN

- Centers for Disease Control and Prevention Website. 2018. Center for Disease Control and Preventon. <https://www.cdc.gov/hantavirus/index.html> [15 Oktober 2018]
- Escudero, C., Buceta, J., De la Rubia, F.J. & Lindenberg, K. 2003. Outbreaks of Hantavirus induced by seasonality.
- Farah Aini Abdullah & Ahmad Izani Md. Ismail. 2011. Simulations of the Spread of the Hantavirus Using Fractional Diffenrential Equations. *MATEMATIKA* Volume 27, Number 2, 149-158.
- Nature Website. 2018. Temporal dynamics of Puumala hantavirus infection in cyclic populations of bank voles. <https://www.nature.com/articles/srep21323> [20 November 2018]
- Prist, P.R., Muylaert, L.R. & Prado, A. 2017. Using Different Proxies To Predict Hantavirus Disease Risk In Sao Paulo State, Brazil. *Oecologia Australis* 21(1): 42-53.
- Scilab Wiki Website. 2018. Non linear optimization for parameter fitting example. <https://wiki.scilab.org/Non%20linear%20optimization%20for%20parameter%20fittin%20example> [20 Februari 2019]
- Scilab Wiki Website. 2018. Scilab Wiki. <https://wiki.scilab.org/> [28 Oktober 2018]
- Wolf, C. 2004. A Mathematical Model For The Propagation Of A Hantavirus In Structured Populations. *Discrete And Continuous Dynamical Systems Series B* Volume 4, Number 4.
- Yusof, E.M., Md.-Ismail, A.I.B. & Ali, N.M. 2010. Modeling Population Harvesting Of Rodents for the Control of Hantavirus Infection. *Sains Malaysiana* 39(6): 935-940.
- Yusof, E.M., Md.-Ismail, A.I.B. & Ali, N.M. 2014. Effect of Predators on the Spread of Hantavirus Infection. *Sains Malaysiana* 43(7): 1045-1051.

Yusof, E.M., Md.-Ismail, A.I.B. & Yatim, Y.M. 2016. Pemodelan Matematik dan Aplikasinya Terhadap Penyebaran Jangkitan Hantavirus. Menemui Matematik Vol. 38, No. 1:13-21.

Zhang, W.Y., Fang, L.Q. & Jiang, J.F. 2009. Predicting the Risk of Hantavirus Infection in Beijing, People's Republic of China. The American Society of Tropical Medicine and Hygiene.

Copyright@FTSM
UKM