



## PEMODELAN MATEMATIKA PENYAKIT CHIKUNGUNYA PADA POPULASI KONSTAN

Retno Dwi Astuti ✉, Muhammad Kharis dan Moch. Chotim

Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Semarang, Indonesia  
Gedung D7 lantai 1 Kampus Sekaran, Gunungpati, Semarang, 50229

### Info Artikel

Sejarah Artikel:  
Diterima Juli 2012  
Disetujui Agustus 2012  
Dipublikasikan  
Nopember 2012

Keywords:  
Analysis of Stability  
Chikungunya Epidemic  
Models  
The Equilibrium Point.

### Abstrak

Chikungunya merupakan penyakit endemik atau penyakit menular. Penyakit menular dapat dimodelkan dengan menggunakan model epidemi. Chikungunya adalah penyakit mirip demam dengue disebabkan oleh virus chikungunya (CHIK) yang merupakan virus dari famili *Togaviride* dengan genus *Alphavirus*, dan virus ini ditularkan oleh nyamuk *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus*. Pada penelitian ini diasumsikan laju kelahiran sama dengan laju kematian. Kemudian akan ditentukan analisis kualitatif dari model penyebaran chikungunya untuk angka/bilangan reproduksi dasar  $R_0$ , di mana  $R_0$  bertujuan mengetahui adanya penyebaran penyakit atau tidak adanya penyebaran penyakit melalui analisis kestabilan dari titik ekuilibrium bebas penyakit dan titik ekuilibrium endemik. Simulasi diberikan sebagai bentuk pendekatan model terdapat nilai-nilai parameter yang diberikan sebagai bentuk pengecekan terhadap hasil analisis yang dilakukan. Diharapkan hasil kajian ini dapat bermanfaat dalam mencegah penyebaran penyakit chikungunya.

### Abstract

Chikungunya is a disease endemic or infectious diseases. Infectious diseases can be modeled by using an epidemic model. Chikungunya is a disease similar to dengue fever caused by chikungunya virus (CHIK) which is a virus of *Togaviride* family, *Alphavirus* genus and the virus is transmitted by the mosquito *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. In this research the birth rate is assumed equal to death rate therefore will be determined qualitativ analysis of chikungunya spread models figures  $R_0$  basic reproductive number, where  $R_0$  attempt to find out there is spread of disease there is not spread of disease through the stability analysis that disease-free  $\lambda_1$  equilibrium and endemic equilibrium point. Simulation is given as a form of  $\lambda_1$  modeling approaches are parameter values are given as a form of checks on the results of analyzes performed. Expected results of this study can be useful in preventing the spread of chikungunya.

## Pendahuluan

Chikungunya adalah penyakit mirip demam dengue disebabkan oleh virus chikungunya (CHIK) yang merupakan virus dari famili *Togaviride* dengan genus *Alphavirus*, dan virus ini ditularkan oleh nyamuk *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus* (Mahes, 2009 dan Kumar, 2010). Chikungunya dalam bahasa swahili berarti kejang urat. Chikungunya tersebar di daerah tropis dan subtropis yang berpenduduk padat seperti Afrika, India dan Asia Tenggara. Di Afrika, virus ini dilaporkan menyerang di Zimbabwe, Kongo, Angola, Kenya, dan Uganda. Negara selanjutnya yang terserang adalah Thailand pada tahun 1958, Kamboja, Vietnam, Sri Lanka, dan India pada tahun 1964. Pada Tahun 1973 chikungunya dilaporkan menyerang di Philipina dan Indonesia (Widoyono, 2008).

Dalam Laras (2004) disebutkan bahwa pada September 2001 sampai Maret 2003, 24 orang yang diduga terserang virus CHIK dilaporkan di Indonesia. Kebanyakan (83%) terjadi dipulau Jawa, hampir setengahnya (46%) terjadi di Jawa Tengah. Wabah CHIK juga terjadi di Aceh (1 kasus yang dilaporkan), di Sumatera Utara (1 kasus dilaporkan) dan di Pulau Lombok (2 kasus yang dilaporkan). Gejala utama dari penyakit ini adalah demam mendadak, nyeri pada persendian dan ruam makulopapuler (kumpulan bintik-bintik kemerahan) pada kulit yang kadang-kadang disertai rasa gatal (Oktikasari et al., 2008).

Pada penelitian ini akan dibentuk model penyebaran Chikungunya, kemudian model tersebut akan dianalisis sehingga dapat diketahui bagaimana perilaku penyakit ini di masa yang akan datang. Pada penulisan ini, permasalahan dibatasi dengan laju kelahiran dan laju kematian diasumsikan sama pada setiap kelas populasi. Selain itu penyebaran penyakit terjadi pada populasi yang bersifat tertutup sehingga imigrasi diabaikan. Jumlah populasi diasumsikan konstan. Nilai Parameter yang digunakan pada simulasi tidak sesuai dengan fakta.

## Pembahasan

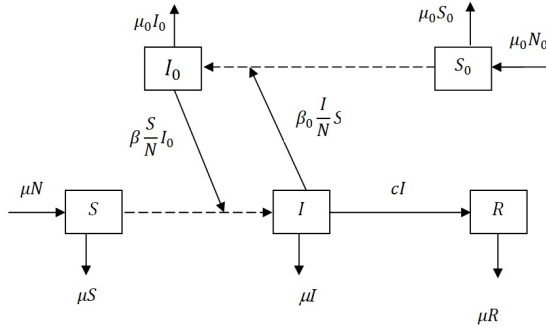
Menurut Ma dan Li (2009), kejadian penularan penyakit (epidemi) dapat dimodelkan ke dalam bentuk matematis. Dalam memodelkan penyebaran penyakit chikungunya pada populasi konstan memperhatikan beberapa fakta dan asumsi.

Dalam Mahesh (2009) dan Kumar (2010) disebutkan bahwa demam chikungunya disebabkan oleh virus chikungunya (CHIKV) yang menyebar melalui gigitan dari nyamuk *Aedes aegypti* dan *Aedes albopictus*. Dalam Charrel (2007), Lalitha (2007), Lanciotti (2007), Power dan Logue (2007), dan Tsetsarkin (2006) disebutkan bahwa transmisi/penularan yang terjadi adalah transmisi Manusia-Nyamuk-Manusia. Arti dari transmisi tersebut adalah manusia yang rentan dapat terinfeksi oleh virus CHIK apabila digigit oleh nyamuk terinfeksi. Kemudian nyamuk rentan akan menjadi terinfeksi apabila menggigit manusia yang terinfeksi

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam model penyebaran penyakit chikungunya sebagai berikut. (1) Populasi manusia dan nyamuk dianggap konstan. (2) Populasi manusia ( $N$ ) dibagi menjadi 3 kelompok yaitu kelompok *Susceptibles*, *Infective*, dan *Recovered*. (3) Populasi nyamuk ( $N_0$ ) dibagi menjadi 2 kelompok yaitu kelompok *Susceptible*, dan *Infective*. (4) Laju kelahiran dan kematian diasumsikan sama pada setiap kelas populasi. (5) Setiap manusia yang lahir sehat, karena chikungunya bukan penyakit turunan. (6) Setiap nyamuk yang menetas sehat. (7) Manusia yang telah sembuh tidak dapat terinfeksi kembali. (8) Tidak terjadi kematian karena infeksi virus pada kedua populasi. (9) Nyamuk yang terinfeksi tidak akan pernah sembuh, ini dikarenakan umur nyamuk yang pendek.

Parameter-parameter yang digunakan sebagai berikut. Parameter  $\beta_0$  menyatakan tingkat efektifitas kontak infeksi antara nyamuk yang rentan dengan manusia yang terinfeksi,  $\beta$  tingkat efektifitas kontak infeksi antara manusia yang rentan dengan nyamuk yang terinfeksi,  $\mu_0$  tingkat kelahiran dan kematian pada populasi nyamuk,  $\mu$  tingkat kelahiran dan kematian pada populasi manusia, dan  $c$  tingkat kesembuhan tiap individu. Semua parameter tersebut bernilai positif.

Berdasarkan fakta dan asumsi maka dapat dibuat diagram transfer untuk penyebaran penyakit Chikungunya seperti pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Diagram Transfer Penyebaran Penyakit Chikungunya

pada Populasi Konstan. Model matematika dari diagram transfer di atas selengkapnya dapat diekspresikan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= \mu N - \mu S - \beta \frac{S}{N} I_0 \\ \frac{dI}{dt} &= \beta \frac{S}{N} I_0 - (\mu + c) I \\ \frac{dR}{dt} &= cI - \mu R \\ \frac{dS_0}{dt} &= \mu_0 N_0 - \mu_0 S_0 - \beta_0 \frac{I}{N} S_0 \\ \frac{dI_0}{dt} &= \beta_0 \frac{I}{N} S_0 - \mu_0 I_0 \end{aligned} \quad (1)$$

$N = S + I + R$  dan  $N_0 = S_0 + I_0$

Dari sistem (1) diperoleh  $\frac{dN}{dt} = 0$  sehingga  $N(t) = k$  untuk  $k$  bilangan real. Karena  $N(t)$  konstan, sistem (1) dapat diskala dengan total populasi  $N$  untuk menyederhanakan sistem (1) dan memudahkan analisis yang dilakukan. Proporsi banyaknya individu pada masing-masing kelompok dapat dinyatakan

$$\begin{aligned} s &= \frac{S}{N}, \quad i = \frac{I}{N}, \quad r = \frac{R}{N}, \\ s_0 &= \frac{S_0}{N_0}, \text{ dan } i_0 = \frac{I_0}{N_0}. \end{aligned} \quad (2)$$

Tulis  $\frac{N_0}{N} = k_1$  dan  $\beta \cdot k_1 = b$  dengan  $k_1 \in \mathbb{R}$ .

Oleh karena itu sistem (1) ekuivalen dengan sistem berikut.

$$\begin{aligned} \frac{ds}{dt} &= \mu - \mu s - bsi_0 \\ \frac{di}{dt} &= bsi_0 - (\mu + c)i \\ \frac{dr}{dt} &= ci - \mu r \\ \frac{ds_0}{dt} &= \mu_0 - \mu_0 s_0 - \beta_0 i s_0 \\ \frac{di_0}{dt} &= \beta_0 i s_0 - \mu_0 i_0 \end{aligned} \quad (3)$$

Sistem (3) merupakan sistem persamaan diferensial nonlinear yang lebih sederhana dari sistem (1) dan secara kualitatif sama.

**Teorema 1**

Dipunyai  $R_0 = \frac{b\beta_0}{(\mu + c)\mu_0}$ .

Dari sistem persamaan (3) di atas, dan berdasarkan nilai  $R_0$  diperoleh

(1) Jika  $R_0 \leq 1$  maka sistem persamaan (3) hanya mempunyai 1 titik ekuilibrium yaitu titik ekuilibrium bebas penyakit  $T_1(s, i, r, s_0, i_0) = (1, 0, 0, 1, 0)$ .

(2) Jika  $R_0 > 1$  maka sistem persamaan (3) mempunyai 2 titik ekuilibrium yaitu titik ekuilibrium bebas penyakit  $T_1(s, i, r, s_0, i_0) = (1, 0, 0, 1, 0)$  dan titik ekuilibrium endemik  $T_2 = (s^*, i^*, r^*, s_0^*, i_0^*)$  dengan

$$\begin{aligned} s^* &= \frac{\beta_0 \mu + \mu_0 (\mu + c)}{(\beta_0 \mu + b\beta_0)}, \quad i^* = \frac{[b\beta_0 \mu - (\mu + c)\mu_0 \mu]}{(\beta_0 \mu + b\beta_0)(\mu + c)}, \\ r^* &= \frac{b\beta_0 c - (\mu + c)\mu_0 c}{(\beta_0 \mu + b\beta_0)(\mu + c)}, \quad s_0^* = \frac{(\mu_0 \mu + b\mu_0)(\mu + c)}{b\mu_0(\mu + c) + b\beta_0 \mu}, \\ i_0^* &= \frac{b\beta_0 \mu - (\mu + c)\mu_0 \mu}{b\beta_0 \mu + (\mu + c)\mu_0 b}. \end{aligned}$$

Bukti:

Titik ekuilibrium dicari dengan mengambil  $\frac{ds}{dt} = \frac{di}{dt} = \frac{dr}{dt} = \frac{ds_0}{dt} = \frac{di_0}{dt} = 0$

, sehingga diperoleh sistem (4) sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \mu - \mu s - bsi_0 &= 0, \\ bsi_0 - (\mu + c)i &= 0, \\ ci - \mu r &= 0, \\ \mu_0 - \mu_0 s_0 - \beta_0 i s_0 &= 0, \\ \beta_0 i s_0 - \mu_0 i_0 &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Dapat ditunjukkan bahwa titik  $T_1$  selalu ada untuk segala kondisi  $R_0$ .

Penentuan Titik ekuilibrium endemik dilakukan dengan mencari nilai  $i \neq 0$  dan  $i_0 \neq 0$  dan mensyaratkan  $i > 0$  serta  $i_0 > 0$ .

Dari persamaan pertama pada sistem (4) diperoleh

$$s = \frac{\mu}{\mu + bi_0} \tag{4.1}$$

Dari persamaan keempat diperoleh

$$\beta_0 i s_0 = \mu_0 i_0,$$

kemudian disubstitusikan kepersamaan ketiga. Selanjutnya disubstitusikan kepersamaan keempat diperoleh

$$i = \frac{\mu_0^2 i_0}{\beta_0 (\mu_0 - \mu_0 i_0)} \tag{4.2}$$

Dimana  $\mu_0 - \mu_0 i_0 > 0$ .

Kemudian (4.1) dan (4.2) disubstitusikan kepersamaan kedua diperoleh  $i_0 = 0$  atau

$$\left[ \frac{b\mu}{\mu + \beta i_0} - \frac{(\mu + c)\mu_0^2}{\beta_0 (\mu_0 - \mu_0 i_0)} \right] = 0$$

Saat  $i_0^* \neq 0$  diperoleh

$$i_0^* = \frac{\mu\mu_0(\mu + c)[R_0 - 1]}{b\beta_0\mu + (\mu + c)\mu_0 b}$$

Jelas saat  $R_0 > 1$  maka nilai  $i_0^* > 0$ .

Jelas diperoleh 2 titik ekuilibrium yaitu titik ekuilibrium bebas penyakit dan titik ekuilibrium endemik.

**Teorema 2**

Dipunyai  $R_0 = \frac{b\beta_0}{(\mu + c)\mu_0}$ , dan  $T_1, T_2$  adalah titik ekuilibrium sistem persamaan (3) seperti pada teorema 1.

1. Jika  $R_0 < 1$  maka titik ekuilibrium  $T_1$  stabil asimtotik lokal
2. Jika  $R_0 > 1$  maka titik ekuilibrium  $T_1$  tidak stabil dan titik ekuilibrium endemik  $T_2$  stabil asimtotik lokal.

Bukti:

Matriks jacobian model penyebaran penyakit chikungnya pada populasi konstan adalah

$$J(T) = \begin{bmatrix} -\mu - i_0 & 0 & 0 & 0 & -bs \\ bi_0 & -(\mu + c) & 0 & 0 & bs \\ 0 & c & -\mu & 0 & 0 \\ 0 & -\beta_0 s_0 & 0 & -\mu_0 - \beta_0 i & 0 \\ 0 & \beta_0 s_0 & 0 & \beta_0 i & -\mu_0 \end{bmatrix}$$

Untuk  $T_1(s, i, r, s_0, i_0) = (1, 0, 0, 1, 0)$  dan  $T_2(s^*, i^*, r^*, s_0^*, i_0^*)$  dengan

$$s^* = \frac{\beta_0\mu + \mu_0(\mu + c)}{(\beta_0\mu + b\beta_0)}, \quad i^* = \frac{[b\beta_0\mu - (\mu + c)\mu_0\mu]}{(\beta_0\mu + b\beta_0)(\mu + c)},$$

$$r^* = \frac{b\beta_0c - (\mu + c)\mu_0c}{(\beta_0\mu + b\beta_0)(\mu + c)}, \quad s_0^* = \frac{(\mu_0\mu + b\mu_0)(\mu + c)}{b\mu_0(\mu + c) + b\beta_0\mu},$$

$$i_0^* = \frac{b\beta_0\mu - (\mu + c)\mu_0\mu}{b\beta_0\mu + (\mu + c)\mu_0 b}$$

Untuk kasus  $T_1$ , diperoleh semua nilai eigen negatif apabila  $R_0 < 1$  dan ada satu nilai eigen yang positif apabila  $R_0 > 1$ . Dengan kata lain jika  $R_0 < 1$  maka titik ekuilibrium  $T_1$  stabil asimtotik lokal dan jika  $R_0 > 1$  maka titik ekuilibrium  $T_1$  tidak stabil.

Untuk kasus  $T_2$  diperoleh persamaan karakteristiknya

$$(\lambda + \mu)(\lambda + \mu_0)(c_0\lambda^3 + c_1\lambda^2 + c_2\lambda + c_3) = 0.$$

Dengan

$$c_0 = 1,$$

$$c_1 = \mu_0 + \beta_0 i^* + 2\mu + c + bi_0^*,$$

$$c_2 = 2\mu\mu_0 + 2\mu\beta_0 i^* + c\mu_0 + c\beta_0 i^* + \mu^2 + \mu c + bi_0^* \mu_0 + bi_0^* \mu + bi_0^* \beta_0 i^* + bi_0^* c - bs^* \beta_0 s_0^* = \mu\mu_0 + 2\mu\beta_0 i^* + c\beta_0 i^* + \mu^2 + \mu c + bi_0^* \mu_0 + bi_0^* \mu + bi_0^* \beta_0 i^* + bi_0^* c,$$

$$c_3 = \mu^2 \mu_0 + \mu c \mu_0 + \mu c \beta_0 i^* + bi_0^* \mu_0 \mu + bi_0^* \mu \beta_0 i^* + bi_0^* c \mu_0 + bi_0^* c \beta_0 i^* - bs^* \beta_0 s_0^* = \mu c \beta_0 i^* + bi_0^* \mu_0 \mu + bi_0^* \mu \beta_0 i^* + bi_0^* c \mu_0 + bi_0^* c \beta_0 i^*.$$

diperoleh nilai eigen yaitu

$$\lambda_1 = -\mu, \lambda_2 = -\mu_0.$$

Jelas  $c_0 > 0, c_1 > 0, c_2 > 0, c_3 > 0$  dan  $c_1 c_2 - c_0 c_1 > 0$  saat  $R_0 > 1$ ,

dengan menggunakan kriteria Routh – Hurwitz untuk polinom pangkat 3 diperoleh simpulan bahwa

$$c_0\lambda^3 + c_1\lambda^2 + c_2\lambda + c_3 = 0$$

mempunyai akar-akar dengan bagian real negatif. Maka titik ekuilibrium endemik  $T_2$  stabil asimtotik lokal.

**Simulasi Model**

Simulasi dilakukan dengan memberikan nilai-nilai untuk masing-masing parameter sesuai dengan kondisi  $R_0$  dengan teorema yang telah diberikan di atas. Simulasi ini diberikan untuk memberikan gambaran geometris dari teorema eksistensi dan kestabilan dari titik-titik ekuilibrium model ini. Simulasi model ada 2 yaitu simulasi model untuk titik ekuilibrium bebas penyakit dan titik ekuilibrium endemik.

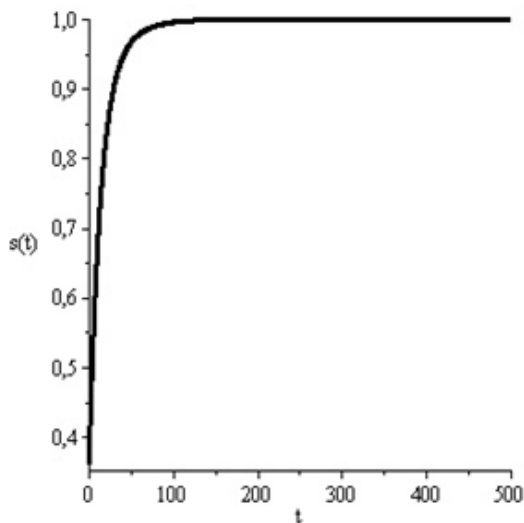
Nilai-nilai parameter yang digunakan untuk simulasi di titik ekuilibrium bebas penyakit  $T_1 = (1, 0, 0, 1, 0)$  disajikan pada tabel 1.

Tabel 1 Nilai Parameter untuk Simulasi Model

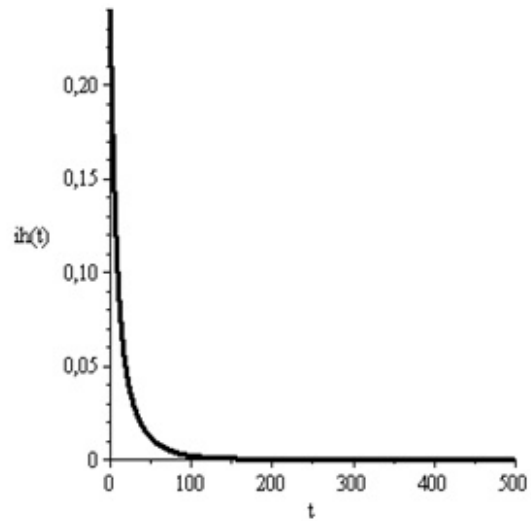
Parameter	Nilai
$\mu$	0,1
$\beta$	0,1
$\mu_0$	0,4
$\beta_0$	0,3
$c$	0,01

Dengan  $b = \beta \cdot k$ , dimana  $k = 1$

Dari nilai-nilai parameter yang diberikan, diperoleh nilai  $R_0 = 0,68 < 1$ . Ini berarti bahwa keadaan tersebut bebas penyakit. Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 2 sampai Gambar 4 berikut ini.

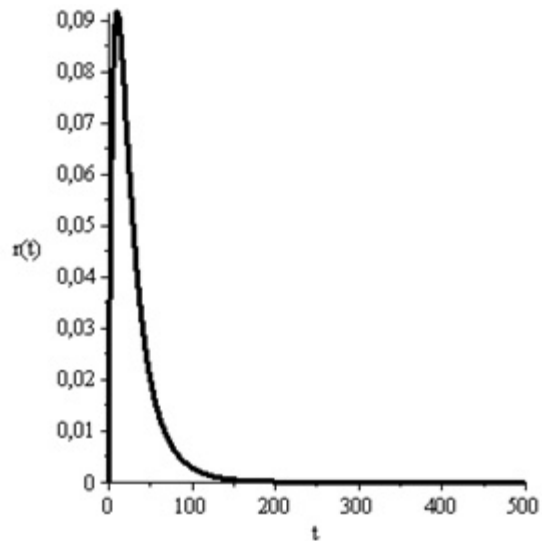


(a) Grafik  $s(t)$  terhadap  $t$

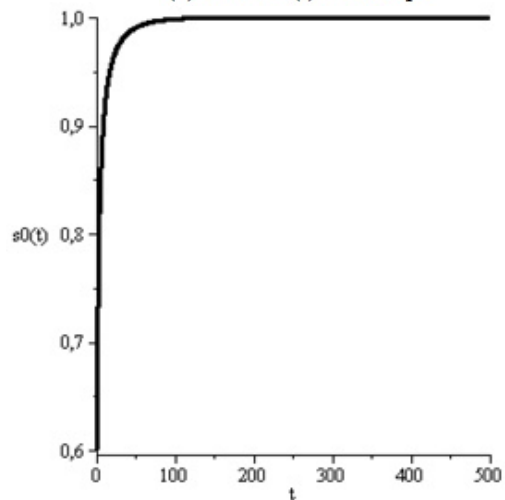


(b) Grafik  $ih(t)$  terhadap  $t$

**Gambar 2.** Grafik  $s(t)$  dan  $i(t)$  terhadap  $t$  untuk titik ekuilibrium bebas penyakit.

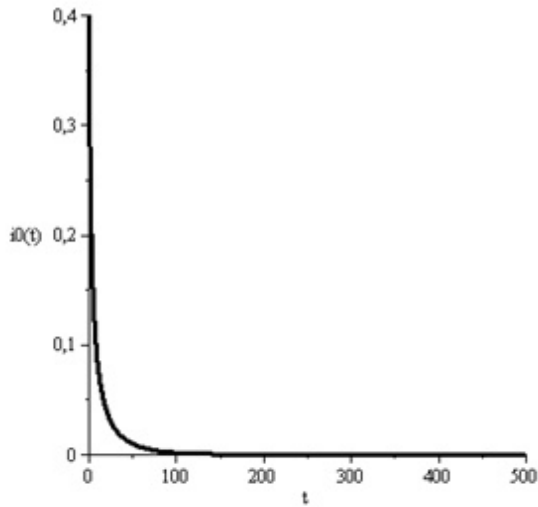


(c) Grafik  $r(t)$  terhadap  $t$



(d) Grafik  $s_0(t)$  terhadap  $t$

**Gambar 3.** Grafik  $r(t)$  dan  $s_0(t)$  terhadap  $t$  untuk titik ekuilibrium bebas



Grafik  $i_0(t)$  terhadap  $t$

**Gambar 4.** Grafik  $i_0(t)$  terhadap  $t$  untuk titik ekuilibrium bebas penyakit.

Berdasarkan hasil simulasi untuk  $R_0 = 0,68 < 1$ . Proporsi kelompok manusia *susceptible* mengalami kenaikan ini disebabkan karena adanya kelahiran dari semua kelas yang masuk ke manusia *susceptibles*. Proporsi kelompok manusia *infective* mengalami penurunan karena manusia *infective* sembuh dan menjadi manusia *recovered*, untuk waktu yang lama penyakit akan hilang. Karena tidak ada lagi manusia yang terinfeksi maka manusia *recovered* akan konstan pada titik nol. Kelompok nyamuk *susceptible* mengalami kenaikan ini karena adanya laju kelahiran lebih besar dari laju infeksi dan tidak ada nyamuk yang terinfeksi. Kelompok nyamuk *infective* mengalami penurunan karena mati, kemudian konstan karena tidak ada penambahan dari nyamuk *susceptible* yang terinfeksi. Ini berarti untuk jangka waktu tertentu infeksi karena virus akan menghilang dalam populasi. Hal ini berarti tidak terjadi epidemi pada populasi.

Nilai-nilai parameter yang digunakan untuk simulasi di titik ekuilibrium endemik  $T_2$  disajikan pada tabel 2.

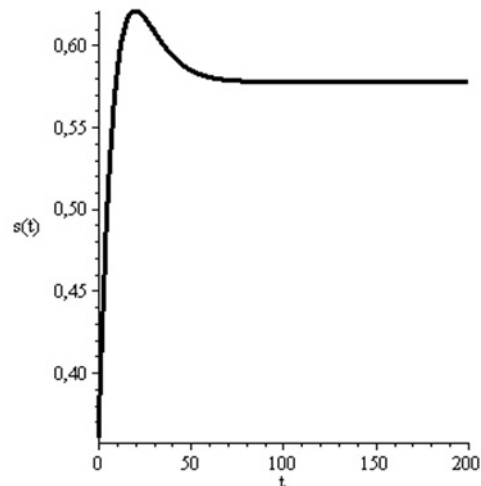
Tabel 2 Nilai Parameter untuk Simulasi Model

Parameter	Nilai
$\mu$	0,1
$\beta$	0,1
$\mu_0$	0,4
$\beta_0$	0,6
$c$	0,01

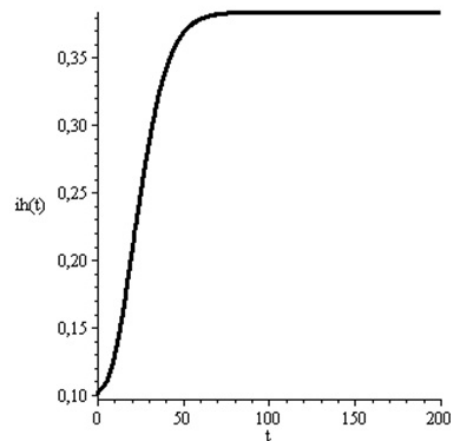
Dengan  $b = \beta \cdot k$ , dimana  $k = 2$ .

Dari nilai-nilai parameter tersebut diperoleh nilai  $R_0 = 2,727 > 1$  yang berarti ini terjadi endemik. Sehingga diperoleh titik ekuilibrium endemik untuk penyakit chikungunya pada populasi konstan adalah  $T_2 = (0,577; 0,383; 0,038; 0,634; 0,365)$ .

Hasil simulasi dapat dilihat pada Gambar 5 sampai Gambar 7 berikut ini.

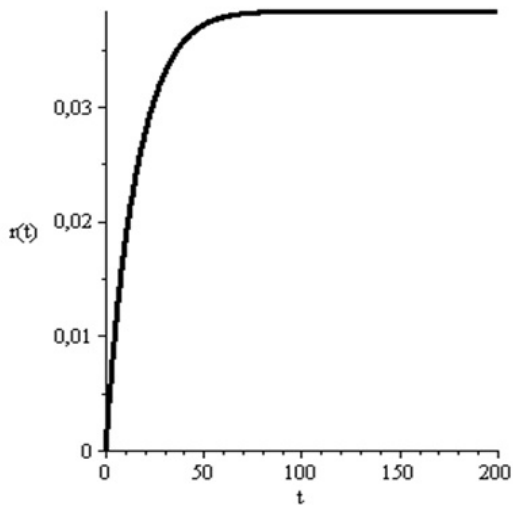


(a) Grafik  $s(t)$  terhadap  $t$

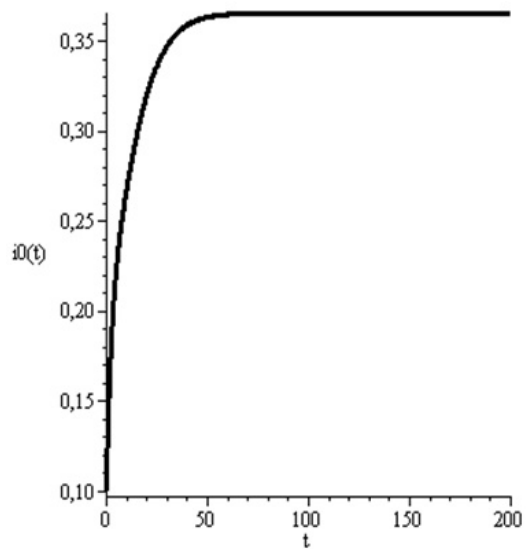


(b) Grafik  $ih(t)$  terhadap  $t$

**Gambar 5.** Grafik  $s(t)$  dan  $i(t)$  terhadap  $t$  untuk titik ekuilibrium endemik

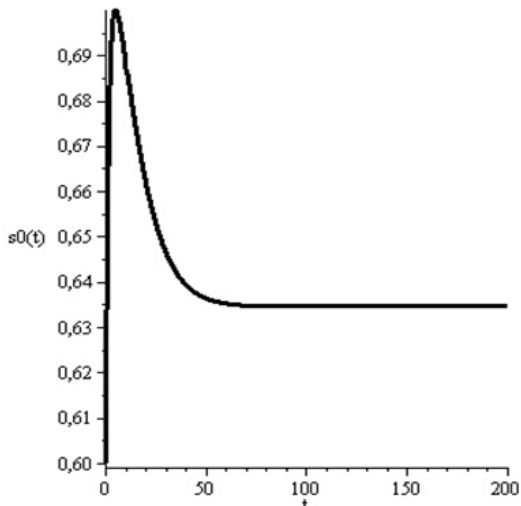


c. Grafik  $r(t)$  terhadap  $t$



e. Grafik  $i_0(t)$  terhadap  $t$

**Gambar 7.** Grafik  $i_0(t)$  terhadap  $t$  untuk titik ekuilibrium endemik.



d. Grafik  $s_0(t)$  terhadap  $t$

**Gambar 6.** Grafik  $r(t)$  dan  $s_0(t)$  terhadap  $t$  untuk titik ekuilibrium endemik

Berdasarkan hasil simulasi untuk  $R_0 = 2,727 > 1$ .

Proporsi kelompok manusia *susceptible* mengalami penurunan, ini disebabkan karena kelompok manusia *susceptible* terinfeksi dan menjadi kelompok manusia *infetive*. Proporsi kelompok manusia *infetive* mengalami kenaikan, disebabkan karena kelompok *susceptible* terinfeksi dan menjadi kelompok manusia *infetive*. Proporsi kelompok manusia *recovered* mengalami kenaikan, ini disebabkan kelompok manusia *infetive* sembuh dan menjadi kelompok manusia *recovered*. proporsi kelompok nyamuk *susceptible* mengalami penurunan, ini disebabkan karena kelompok nyamuk *susceptible* terinfeksi dan menjadi kelompok nyamuk *infetive*. Proporsi nyamuk *infetive* mengalami kenaikan disebabkan karena kelompok *susceptible* terinfeksi dan menjadi kelompok nyamuk *infetive*. Dapat dilihat bahwa penyakit tidak akan hilang saat  $R_0 > 1$ , sehingga perlu adanya tindakan yang dapat menghilangkan wabah atau epidemi tersebut.

Dengan demikian penyakit akan hilang jika  $R_0 < 1$  yang berarti bahwa semakin kecil tingkat penyebaran chikungunya dan semakin besar tingkat kematian manusia, tingkat kematian nyamuk, serta tingkat kesembuhan. Tetapi jika  $R_0 > 1$  maka akan terjadi epidemi penyakit atau penyakit tidak akan meghilang.

**Daftar Pustaka**

- Charrel, R.N., de Lamballerie, X., dan Raoult, D., 2007, "Chikungunya Outbreaks The Globalization of Vectorborne Diseases", *The New England Journal of Medicine* (N ENGL J MED) 356;8 : 769-771.
- Kumar, N.CVM., Nadimpalli, M., Vardhan, V. R., dan Gopal, S.DVR., 2010, "Association of ABO blood groups with Chikungunya virus", *Virology Journal* 7: 140.
- Oktikasari, F.T., Susana, D., dan Djaja, I.M., 2008. "Faktor Sosiodemografi dan Lingkungan yang Mempengaruhi Kejadian Luar Biasa Chikungunya di Kelurahan Cinere Kecamatan Limo Depok 2006", *Makara Kesehatan*, Vol 12: 20-36.
- Lalitha, P., Rathinam, S., Banushree, K., Maheshkumar, S., Vijayakumar, R., dan Sathe, P., 2007, "Ocular Involvement Associated With an Epidemic Outbreak of Chikungunya Virus Infection", *American Journal of Ophthalmology* Vol. 144: 552-556
- Lanciotti, R.S., Kosoy, O.L., Laven, J.J., Panella, A.J., Velez, J.O., Lambert, A.J., dan Campbell, G.L., 2007, "Chikungunya Virus in US Travelers Returning from India, 2006", *Emerging Infectious Diseases* Vol. 13, No. 5: 764-767.
- Laras, K., Sukri, N.C, Larasati, R.P., Bangs, M.J., Kosim, R., Wandra, T., Mastere, J., Kosasih, H., Hartati, S., Beckett, C., Sedyaningsih, E.R., Beecham III, H.J., dan Corwin, A.L., 2004, "Tracking the emergence of epidemic chikungunya virus in Indonesia", *the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene* Vol 99: 128-141.
- Mahesh, G., Giridhar, A., Kumar, R., dan Saikumar, R.J., 2009, "A case of bilateral presumed chikungunya neuroretinitis", *Indian J Ophthalmol* Vol 57: 148-150.
- Ma, Z. dan Li, J. 2009. *Dinamical Modelling and Analysis of Epidemics*. World Scientific Publishing, Singapore.
- Ng, LC., Tan, LK., Tan, CH., Tan, S.S.Y., Hapuarachchi, H.C., Pok, KY., Lai, YL., Lam-Phua, SG., Lin, R.T.P., Leo, YS., Tan, BH., Han, HK., Ooi, PL.S., James, L., dan Khoo, SP., 2009, "Entomologic and Virologic Investigation of Chikungunya, Singapore", *Emerging Infectious Disease* Vol. 15 No. 8: 1234-1249.
- Powers, A.M., dan Longue, C.H., 2007, "Changing patterns of chikungunya virus: re-emergence of a zoonotic arbovirus", *Journal of General Virology* Vol. 88: 2363-2377.
- Tsatsarkin, K., Higgs, S., Mcgee, C.E., de Lamballerie, X., Charrel, R.N., Vanlandingham, D.L., 2006, "Infectious Clones of Chikungunya Virus (La Reunion Isolate) for Vector Competence Studies", *VEKTOR-BORNE AND ZOONOTIC DISEASES* Vol. 6 No. 6: 325-337.
- Widoyono. 2008. *PENYAKIT TROPIS Epidemiologi, Penularan, Pencegahan & Pemberantasannya*. Jakarta: Erlangga.