Jurnal Sains Matematika dan Statistika, Vol. 4, No. 2, Juli 2018
ISSN 1693-2390 print/ISSN 2407-0939 online

MODEL SIR PENYEBARAN DEMAM BERDARAH DI PEKANBARU

Mohammad Soleh[1], Wartono[2]
[1,2] Jurusan Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sultan Syarif Kasim Riau
Jl. HR. Soebrantas No. 155 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru, 28293
Email: msoleh@uin-suska.ac.id, wartono@uin-suska.ac.id

ABSTRAK

Model SIR merupakan salah satu model epidemik yang membagi populasi menjadi tiga kelas populasi yaitu kelas rentan (*suspectible*), kelas terinfeksi (*infectible*), dan kelas sembuh (*recovery*). Makalah ini membahas tentang Model SIR penyebaran demam berdarah *dengue* (DBD) dengan populasi manusia dan nyamuk di wilayah Kota Pekanbaru. Pada model ini diadopsi fungsi perlakuan pada nyamuk untuk menentukan angka reproduksi dasar $\mathfrak{R}_0(t)$. Berdasarkan hasil kajian dan data DBD Kota Pekanbaru tahun 2015-2016 diperoleh kesimpulan bahwa terjadinya endemic DBD ditentukan oleh banyaknya nyamuk rentan sebagai fungsi dari t.

Kata Kunci: Demam berdarah *dengeu*, Model SIR, Fungsi perlakuan, Angka reproduksi dasar.

ABSTRACT

SIR model is one of Epidemic Models that separated population into 3 classes (suspectible, infectible, recovery). In this paper we modifiedEsteva-Vargas model bytreatmentfactor on vector.We derived this model to obtain a basic reproduction number in Pekanbaru. By data that we took at Dinas Kesehatan Kota Pekanbaru, the basic reproduction number is 0.281226.

Keywords: *Dengeu fever, SIR model, Treatment function, Basic reproduction number.*

Pendahuluan

Wabah Demam Berdarah *Dengue* (DBD) merupakan masalah yang sangat pelikdi negara beriklim tropis dan subtropis.Penyebarannya di seluruh dunia susah dibatasi sehingga menimbulkan banyak korban jiwa. Dari buletin tentang DBD yang dikeluarkan oleh Kementrian Kesehatan RI tahun 2010 [3] diketahui bahwa di Indonesia, DBD pertama kali ditemukan di Surabaya pada tahun 1968 dan hanya dalam kurun waktu 12 tahun penyakit DBD sudah menyebar di seluruh provinsi di Indonesia. Setiap tahunnya jumlah kematian akibat DBD terus meningkat dari sebanyak 24 orang pada tahun 1968 menjadi 1420 orang pada tahun 2009. Sedangkan kasusnya ditemukan berkembang dari hanya 58 kasus di tahun 1968 menjadi 158.912 kasus di tahun 2009.

Penanganan DBD dapat dilakukan melalui penanganan primer dan penanganan sekunder. Penanganan primer berupa pencegahan epidemi DBD dilakukan dengan mereduksi perkembangbiakan nyamuk pembawa virus. Sedangkan penanganan sekunder berupa pengobatan, rawat inap, dll, diberikan kepada penderita DBD. Menurut Prof. Supratman Sukowati dari Puslitbang Ekologi dan Status Kesehatan, Kemenkes RI [3], terdapat beberapa metode untuk mengurangi nyamuk pembawa virus, diantaranya dengan manajemen lingkungan, pengendalian secara biologis menggunakan predator, dan pengendalian secara kimiawi.Secara empiris, menanggulangi penyebaran DBD akan ekuivalen dengan upaya mengurangi tingkat pertumbuhan nyamuk pembawa virus dari waktu ke waktu yang merupakan representasi dari persoalan matematik.

Oleh karena itu, untuk mengidentifikasi dan menganalisa perilaku perkembangbiakan nyamuk dapat dilakukan dengan menggunakan model matematika. Kontribusi pemodelan matematika terhadap penanggulangan wabah DBD adalah sebagai alat yang dapat dipakai untuk memahami dan memprediksi dinamika penyebaranDBD, yang dalam hal ini diantaranya: menghitung laju perkembangbiakan nyamuk pembawa virus, menghitung angka kejadian terinfeksi, angka kematian akibat penyakit, ambang batas epidemik atau angka reproduksi dasar yang digunakan untuk menentukan berapa jumlah orang yang harus divaksin, vektor yang harus dimusnahkan, dll, untuk mencegah pandemik.

Beberapa peneliti telah mengembangkan model matematika untuk DBD. Asep Supriatna, dkk., mengembangkan model matematika SIR untuk penyakit DBD dengan mempertimbangkan ambang batas epidemik atau angka reproduksi dasar sebagai fungsi dari pertumbuhan nyamuk *aedes aegypty*. Penelitiannya menghasilkan kesimpulan bahwa pengontrolan yang efektif untuk DBD adalah dengan mengontrol pertumbuhan nyamuk secara periodik [2]. Nuraini, dkk.[7], mengembangkan model matematika SIR dengan memperhatikan kemungkinan infeksi oleh 2 strain virus DBD. Hasil penelitiannya adalah rasio antara total jumlah terinfeksi mula-mula dengan jumlah terinfeksi sekunder yang dapat digunakan sebagai ukuran untuk mengontrol penyebaran virus secara praktis.Peneliti lainnya, Syafrudin Side, dkk., mengembangkan model SIR untuk penyebaran penyakit DBD di Sulawesi Utara dengan memfokuskan angka reproduksi dasar berdasarkan hasil laporan kasus DBD di Sulawesi dan Selangor Malaysia [8].

Metode Penelitian

Target dari penelitian ini adalah mencari solusi model SIR penyebaran DBD dengan mempertimbangkan laju pengontrolan populasi nyamuk dengan treatment (secara kimiawi dan manajemen lingkungan). Hasil yang diinginkan adalah diperolehnya suatu angka reproduksidasar $\mathfrak{R}_0$dari DBD sebagai fungsi dari kontrol populasi nyamuk *aedes aegypty*.

Secara terinci, langkah-langkah untuk menyelesaikan penelitian ini adalah:

a. Mendefinisikan parameter-parameter dan variabel-variabel:

γ_H	Laju kesembuhan pada Host
β_H	Laju kontak perkapita antara Host Rentan dengan nyamuk terinfeksi
μ_H	Laju kelahiran/kematian alami yang disebabkan bukan oleh penyakit
b	Rata-rata jumlah gigitan seekor nyamuk per-hari
$S_H(t)$	Jumlah individu pada kelas *Suspectible*Host
$I_H(t)$	Jumlah individu pada kelas *Infectible*Host
$R_H(t)$	Jumlah individu pada kelas *Recovery* Host
$N_H(t)$	Jumlah individu pada populasi Host
$S_V(t)$	Jumlah individu pada kelas *Suspectible*Vektor
$I_V(t)$	Jumlah individu pada kelas *Infectible*Vektor
$N_V(t)$	Jumlah individu pada populasi Vektor
A	Rekruitment pada Vektor
μ_V	Laju kematian pada Vektor
β_H	Probabilitas penyebaran dari Vektor ke Host
β_V	Probabilitas penyebaran dari Host ke Vektor

Dengan masing-masing parametertersebut berharga positif dan $S(t), I(t), R(t), N(t)$ berharga nonnegative baik host ataupun vektor.

Untuk selanjutnya $S(t), I(t), R(t), N(t)$ berturut-turut ditulis sebagai S, I, R, N.

b. Diberikan model SIR pada Esteva-vargas [4]:

$$\frac{dS_H}{dt} = \mu_H N_H - \frac{\beta_H b}{N_H} S_H I_V - \mu_H S_H$$
$$\frac{dI_H}{dt} = \frac{\beta_H b}{N_H} S_H I_V - \mu_H S_H - \gamma_H I_H$$
$$\frac{dR_H}{dt} = \gamma_H I_H - \mu_H R_H$$
$$\frac{dS_V}{dt} = A - \frac{\beta_V b}{N_H} S_V I_H - \mu_V S_V$$
$$\frac{dI_V}{dt} = \frac{\beta_V b}{N_H} S_V I_H - \mu_V I_V$$

c. Memodifikasi fungsi kontrol/treatment:

$$T(N_V) = \begin{cases} kN_V \ , & N_V \geq N_V^0 \\ 0 \ , & N_V < N_V^0 \end{cases}$$

dengan *k*angka efektifitas pengontrolan (pemusnahan) nyamuk dan N_V^0 jumlah psikologis minimum vektor (nyamuk) dalam populasi yang tidak menyebabkan wabah DBD.

d. Mengestimasi parameter-parameter pada model yang diusulkan pada langkah (c) sesuai dengan langkah (a). Data yang diperlukan seperti jumlah orang yang sakit DBD, jumlah yang sembuh dari DBD, jumlah orang meninggal karena DBD, dll, pada langkah (a) akan diambil dari Dinas Kesehatan Kota Pekanbaru. Untuk situasi yang tidak ideal atau tidak memungkinkan maka data akan diambil secara proporsional berdasarkan luas dan jumlah penduduk di Pekanbaru.
e. Nilai parameter-parameter yang diperoleh pada langkah (d) akan disubtitusikan pada model di langkah (c). Model yang terbentuk merupakan representasi dari penyebaran DBD di Pekanbaru.
f. Mengkonfirmasi keberadaan 2 titik kesetimbangan yaitu titik kesetimbangan bebas penyakit dan endemik dari model yang diusulkan pada langkah (e). Solusi diperoleh dengan menyelesaikan persamaan diferensial model pada langkah (e)
g. Menghitung angka reproduksi dasar $\Re_0$ yang merupakan ambang batas epidemi di wilayah Pekanbaru. Nilai $\Re_0$ akan dikaitkan dengan fungsi control penanganan nyamuk aedes aegypty di Pekanbaru.

Hasil danPembahasan

4.1. Pembentukan Model

Pada makalah ini diadopsi model dari Esteva-Vargas [4]untuk mempelajari penyebaran penyakit DBD di Pekanbaru menggunakan model SIR. Ide dari Wang [10] mengenai banyaknya orang yang mendapatkan pengobatan ketika terjadi wabah berdasarkan daya tampung rumah sakit, menginspirasi peneliti untuk memasukan parameter treatment pada model ini. Asumsinya adalah penanganan DBD pada vektor (nyamuk) biasanya didasari oleh pengaruh psikologis.

Di Indonesia pada umumnya pemusnahan sarang nyamuk, penyemprotan nyamuk dewasa, pemusnahan larva, dll hanya dilakukan ketika ada insiden DBD. Kebiasan lainnya perlakuan tersebut hanya dilakukan di musim hujan. Padahal untuk memusnahkan nyamuk diperlukan suatu penanganan yang menyebabkan rantai perkembangbiakan nyamuk terputus. Menurut peneliti, ada suatu nilai tertentu yang selanjutnya disebut ambang psikologis penanganan nyamuk, yaitu angka yang menyatakan batas kenaikan jumlah nyamuk yang menyebabkan pemerintah atau masyarakat tergerak untuk melakukan pemusnahan.

Diberikan model SIR pada Esteva-Vargas [4]:

$$\begin{aligned}
\frac{dS_H}{dt} &= \mu_H N_H - \frac{\beta_H b}{N_H} S_H I_V - \mu_H S_H \\
\frac{dI_H}{dt} &= \frac{\beta_H b}{N_H} S_H I_V - \mu_H S_H - \gamma_H I_H \\
\frac{dR_H}{dt} &= \gamma_H I_H - \mu_H R_H \\
\frac{dS_V}{dt} &= A - \frac{\beta_V b}{N_H} S_V I_H - \mu_V S_V \\
\frac{dI_V}{dt} &= \frac{\beta_V b}{N_H} S_V I_H - \mu_V I_V
\end{aligned} \tag{1}$$

Dan Fungsi Wang [10} dirumuskan sebagai berikut:

$$T(I) = \begin{cases} rI\ , & 0 \le I \le I_0 \\ k\ , & I > I_0 \end{cases}, \tag{2}$$

dengan $k = rI_0$, I adalah jumlah manusia terinfeksi, dan I_0 adalah jumlah manusia terinfeksi mula-mula. Fungsi $T(I)$ digunakan sebagai banyaknya individu yang harus ditangani di rumah sakit berdasarkan kemampuan rumah sakit tersebut menampung pasien. Untuk kasus DBD, penanganan nyamuk biasanya dilakukan manakala terdapat penderita DBD atau dijumpai jumlah nyamuk yang meningkat secara signifikan. Oleh karena itu peneliti mengusulkan bentuk treatment nyamuk sebagai fungsi:

$$T(N_V) = \begin{cases} kN_V, & N_V > N_V^0 \\ 0, & N_V < N_V^0 \end{cases} \tag{3}$$

Munculnya N_V^0 dapat diterangkan: Biasanya kecenderungan masyarakat terutama pemerintah akan melakukan upaya mereduksi atau mengeliminasi nyamuk jika didapati kenaikan jumlah nyamuk di suatu tempat. Ketika tidak terjadi perubahan jumlah nyamuk yang cukup signifikan, masyarakat cenderung abai terhadap DBD. Parameter N_V^0 dapat dipandang sebagai ambang psikologis masyarakat atau pemerintah untuk tergerak melakukan treatment atau penanganan nyamuk.

Disamping karena upaya treatment terhadap nyamuk, laju recruitment A oleh Esteva-Vargas dapat dinyatakan sebagai fungsi dari banyaknya nyamuk saat itu atau tidak konstan. Secara umum, jika a menyatakan laju pertumbuhan nyamuk, maka banyaknya pertambahan nyamuk setiap satuan waktu adalah aN_V.

Dengan demikian, populasi nyamuk dengan memperhatikan treatment dan jumlahnya saat ini, dapat dinyatakan sebagai:

$$\frac{dN_V}{dt} = aN_V - \mu_V N_V - kN_V, \;\; N_V(0) = N_{V_0}.$$

Jika persamaan tersebut diselesaikan akan didapatkan:

$$N_V(t) = N_{V_0} e^{(a-\mu_V-k)t}$$

dan sehingga

$$S_V = N_{V_0} e^{(a-\mu_V-k)t} - I_V$$

Pada populasi nyamuk terdapat dua subkelas yaitu kelas S_V dan kelas I_V. Penambahan jumlah nyamuk pada kelas S_V terjadi karena recruitment nyamuk sebesar aN_V. Pengurangan jumlah nyamuk pada kelas S_V disebabkan diantaranya oleh nyamuk rentan yang terinfeksi karena menggigit manusia sakit, karena kematian alami nyamuk, dan karena pemberian treatment. Besarnya masing-masing pengurangan tersebut beturut-turut sebesar $\frac{\beta_V b}{N_V} S_V I_H$, $\mu_V S_V$, dan $\propto T(N_V)$, dengan β_V menyatakan efektifitas gigitan nyamuk sehat terhadap manusia terinfeksi, $\propto$ menyatakan efektifitas treatment pada kelas S_V. Hubungan ini dapat ditulis sebagai:

$$\frac{dS_V}{dt} = aN_V - \frac{\beta_V b}{N_H} S_V I_H - \mu_V S_V - \propto T(N_V)$$

Pada kelas I_V terjadinya penambahan disebabkan karena adanya nyamuk sehat yang menggigit manusia yang sakit. Sedangkan terjadinya pengurangan disebabkan oleh adanya kematian alami dari nyamuk terinfeksi dan karena faktor treatment. Hubungan ini dapat dinyatakan sebagai:

$$\frac{dI_V}{dt} = \frac{\beta_V b}{N_H} S_V I_H - \mu_V I_V - (1-\propto) T(N_V)$$

Oleh karena itu, dapat diperoleh hubungan antar kelas pada populasi nyamuk yaitu:

$$\frac{dS_V}{dt} = aN_V - \frac{\beta_V b}{N_H} S_V I_H - \mu_V S_V - T(N_V)$$

$$\frac{dI_V}{dt} = \frac{\beta_V b}{N_H} S_V I_H - \mu_V I_V - T(N_V) \quad (4)$$

$$S_V + I_V = N_V$$

dengan

$$T(N_V) = \begin{cases} kN_V, & N_V > N_V^0 \\ 0, & N_V < N_V^0 \end{cases}$$

Dapat disimpulkan, jika kedua sistem matematika pada (2) dan (5) digabungkan diperoleh:

$$\frac{dS_H}{dt} = \mu_H N_H - \frac{\beta_H b}{N_H} S_H I_V - \mu_H S_H$$

$$\frac{dI_H}{dt} = \frac{\beta_H b}{N_H} S_H I_V - (\mu_H + \gamma_H) I_H \quad (5)$$

$$\frac{dI_V}{dt} = \frac{\beta_V b}{N_H} S_V I_H - \mu_V I_V - k I_V$$

Model atau sistem (5) merupakan Model SIR penyebaran DBD dengan memperhatikan populasi nyamuk dan treatment terhadap nyamuk. Model tersebut yang akan digunakan untuk menganalisa perkembangan DBD di Pekanbaru secara teoritis atau numerik berdasarkan data kesehatan di Kota Pekanbaru.

4.3. Analisa Model

Selanjutnya sebelum analisa secara teoritis terlebih dahulu sistem (5) dapat disederhanakan dengan cara parametrisasi, dimisalkan:

$$x = \frac{S_H}{N_H};\; y = \frac{I_H}{N_H}; z = \frac{I_V}{N_V} = \frac{I_V}{N_{V_0} e^{(a-\mu_V-k)t}}$$

Maka sistem (5) dapat ditulis kembali menjadi:

$$\frac{dx}{dt} = \mu_H - r(t).x(t) \cdot z(t) - \mu_H x(t)$$
$$\frac{dy}{dt} = r(t) \cdot x(t) \cdot z(t) - \beta y(t) (6)$$
$$\frac{dz}{dt} = \gamma y(t)(1 - z(t)) - \mu_V z(t) - k N_{V_0} e^{(a-\mu_V-k)t} z(t)$$

dengan $r(t) = \frac{\beta_H b N_{V_0}}{N_H} e^{(a-\mu_V-k)t};\; r(t) > 0\;\; \forall\, t \in R$

$$\gamma = \beta_V b;\; \beta = \mu_H + \gamma_H;$$

Beberapa analisa dasar pada model ini adalah mendapatkan titik ekuilibrium, analisa kestabilan dan menentukan angka reproduksi dasar.

1. Titik Ekuilibrium sistem (6)

Dengan menggunakan prinsif "*zero growth rate*" pada masing-masing kelas maka:

$$\mu_H - r(t).x(t) \cdot z(t) - \mu_H x(t) = 0$$
$$r(t) \cdot x(t) \cdot z(t) - \beta y(t) = 0$$
$$\gamma y(t)(1 - z(t)) - \mu_V z(t) - k N_{V_0} e^{(a-\mu_V-k)t} z(t) = 0$$

Untuk $a - \mu_V - k = 0$, akan didapatkan dua keadaan setimbang yaitu

i. Bebas penyakit DBD : $\tilde{y} = 0;\; \tilde{z} = 0;\; \tilde{x} = 1.$
   Diperoleh $(\tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z}) = (1;\quad 0;\quad 0)$
ii. Endemik DBD: $(x^*;\; y^*;\; z^*)$, dengan

$$x^* = \frac{\mu_H}{r z^* + \mu_H}$$
$$y^* = \frac{r \mu_H z^*}{\beta(r z^* + \mu_H)}$$
$$z^* = \frac{r^2 \mu_H - \mu_H \beta(\mu_H + k N_{V_0})}{r^2 \mu_V + r\beta(\mu_H + k N_{V_0})}$$

Untuk $a - \mu_V - k < 0$, akan didapatkan keadaan setimbang pada $t \to \infty$ yaitu

i. Bebas penyakit DBD : $\tilde{y} = 0;\; \tilde{z} = 0;\; \tilde{x} = 1.$
   Diperoleh $(\tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z}) = (1;\quad 0;\quad 0)$
ii. Tidak memiliki Endemik DBD

Untuk $a - \mu_V - k > 0$, akan didapatkan dua keadaan setimbang yaitu

i. Bebas penyakit DBD : $\tilde{y} = 0;\; \tilde{z} = 0;\; \tilde{x} = 1.$
   Diperoleh $(\tilde{x}, \tilde{y}, \tilde{z}) = (1;\quad 0;\quad 0)$
ii. Tidak memiliki Endemik DBD $(x^*;\; y^*;\; z^*)$, tetapi jumlah nyamuk tumbuh sebagai fungsi dari *t*.

2. Basic Reproduction Number $(\Re_0)$

Tulis kembali dari system (5):

$$\frac{dI_H}{dt} = \frac{\beta_H b}{N_H} S_H I_V - \mu_H I_H - \gamma_H I_H$$

$$\frac{dI_V}{dt} = \frac{\beta_V b}{N_H} S_V I_H - \mu_V I_V - (1-\propto) k N_V$$

Misalkan didefinisikan:

$$\varphi = \begin{pmatrix} \varphi_1 \\ \varphi_2 \end{pmatrix}$$

dan

$$\omega = \begin{pmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \end{pmatrix}$$

Dengan

$$\varphi_1 = \frac{\beta_H b}{N_H} S_H I_V, \quad \varphi_2 = \frac{\beta_V b}{N_H} S_V I_H,, \qquad \omega_1 = \mu_H I_H + \gamma_H I_H$$

$$\omega_2 = \mu_V I_V + (1-\propto) k N_V$$

Diperoleh

$$\frac{d\varphi_1}{dI_H} = 0, \qquad \frac{d\varphi_1}{dI_V} = \frac{\beta_H b}{N_H} S_H$$

$$\frac{d\varphi_2}{dI_H} = \frac{\beta_V b}{N_H} S_V, \qquad \frac{d\varphi_2}{dI_V} = \mu_V + (1-\propto) k$$

$$\frac{d\omega_1}{dI_H} = \mu_H + \gamma_H, \qquad \frac{d\omega_1}{dI_V} = 0$$

$$\frac{d\omega_2}{dI_H} = 0, \qquad \frac{d\omega_2}{dI_V} = \mu_V + (1-\propto) k$$

Didefinisikan:

$$F = \begin{pmatrix} 0 & \frac{\beta_H b}{N_H} S_H \\ \frac{\beta_V b}{N_H} S_V & 0 \end{pmatrix}$$

$$V = \begin{pmatrix} \mu_H + \gamma_H & 0 \\ 0 & \mu_V + (1-\propto) k \end{pmatrix}$$

$$V^{-1} = \frac{1}{(\mu_H + \gamma_H)(\mu_V + (1-\propto) k)} \begin{pmatrix} \mu_V + (1-\propto) k & 0 \\ 0 & \mu_H + \gamma_H \end{pmatrix}$$

$$FV^{-1} = \begin{pmatrix} 0 & \frac{\beta_H b}{N_H} S_H \\ \frac{\beta_V b}{N_H} S_V & 0 \end{pmatrix} \frac{1}{(\mu_H + \gamma_H)(\mu_V + (1-\propto) k)} \begin{pmatrix} \mu_V + (1-\propto) k & 0 \\ 0 & \mu_H + \gamma_H \end{pmatrix}$$

$$\rho(FV^{-1}) = \frac{\frac{\beta_H b}{N_H} S_H \frac{\beta_V b}{N_H} S_V (\mu_H + \gamma_H)(\mu_V + (1-\propto) k)}{(\mu_H + \gamma_H)(\mu_V + (1-\propto) k)}$$

$$\rho(FV^{-1}) = \frac{\beta_H b}{N_H} S_H \frac{\beta_V b}{N_H} S_V$$

Didefinisikan:

$\Re_0(t) = \frac{\beta_V \beta_H b^2 S_V S_H}{{N_H}^2}$,

dengan $S_V = {N_V}_0 e^{(a-\mu_V-k)t}$, yang merupakan *basic reproduction number* dari Sistem (5).

Kesimpulan

Dengan mempertimbangkan faktor treatmen pada model SIR ini, maka penyebaran DBD di Kota Pekanbaru dipengaruhi oleh banyaknya nyamuk rentan sebagai fungsi dari *t*.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh DIPA BLU UIN Sultan Syarif Kasim Riau tahun 2016 Nomor SP DIPA-025.04.2.424157/2016

Daftar Pustaka

[1] A. A. M. Hassan, S. H. H. Ibrahim, A. M. S. Mahdy dan M. G. M. Ibrahim, "A new solution of SIR model by using the differential fractional transformation method", *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4(11): 12 – 21, 2014.

[2] Asep K. Supriatna dan Edi Suwono, Model Matematika Penyebaran Penyakit Demam Berdarah", *Jurnal Bionatura*, vol. 2, No. 3, pp: 104-116. Desember 2000

[3] Buletin Jendela Epidemiologi, ISSN 2087-1546, vol 2, "Demam Berdarah *Dengeu*", Pusat Data dan Surveilans Epidemiologi Kemenkes RI. Agustus 2010

[4] Esteva L. and Vargas C, Analysis of dengue disease transmission model, Math. Bioscience, 150(2):131-51, 1998

[5] H.W.Hetchote, The Mathematics Infectious Diseases,*SIAM Revew*, vol. 42, No. 4, pp. 599-653.Dec 2000.

[6] M. Khalid, M. Sultana, dan F. S. Khan, Numerical Solution of SIR Model of Dengue Fever, *International Journal of Computer Applications*, 118(21): 1- 4, 2015.

[7] M. Sajid, Z. Abbas, N. Ali dan T. Javed, A Note on Solution of the SIR Models of Epidemics using HAM, *ISRN Applied Mathematics*, 1 – 4, 2013.

[8] Nuraini, dkk., Mathematical Model of Dengeu of Disease Transmission with Severe DHF Compartment, *Bull. Malays. Sci. Soc*. (2) 30 (2) 2007, 143-157, 2007.

[9] Syafrudin Side dan Salmi Md. Noorami, A SIR Model for Spread of Dengeu Fever Disease (Simulation for South Sulawesi, Indonesia and Selangor, Malaysia), *World Journal of Modelling and Simulation*, Vol. 9 No.2, pp. 96-105, ISSN 1746-7233, England, UK. 2013

[10 Wang, W., Ruan, S., Bifurcation in an Epidemic Model with Constant Removel Rate of the Infectives. *J. Math. Anal. Appl*. 291, *775-793*.2004