

Simulation on the Spreading of Infectious Disease HIV/AIDS in Central Java Using SIR Epidemic Model (Susceptible, Infected, Removed)

Ely Desyanawati
Informatika, Fakultas MIPA
Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No.36 A Surakarta
ely.desyanawati12017@student.
uns.ac.id

Sarngadi Palgunadi
Informatika, Fakultas MIPA
Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No.36 A Surakarta
palgunadi@staff.uns.ac.id

Hasan Dwi Cahyono
Informatika, Fakultas MIPA
Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami No.36 A Surakarta
hasandc@staff.uns.ac.id

ABSTRAK

HIV/AIDS termasuk penyakit menular yang mengancam kesehatan masyarakat di dunia. Provinsi Jawa Tengah menempati posisi enam tertinggi dalam jumlah kasus HIV/AIDS di Indonesia. Pengendalian penyakit yang tepat sasaran diperlukan untuk memantau perubahan penyebaran penyakit. Pada penelitian ini, pemodelan SIR (Susceptible, Infected, Removed) dilakukan untuk mengetahui penyebaran jumlah kasus HIV dan endemisitas HIV/AIDS di Jawa Tengah. Data yang digunakan adalah data kependudukan dan jumlah kasus HIV/AIDS tahun 2010 s.d 2014. Dari hasil simulasi diperoleh model penyebaran HIV/AIDS di Jawa Tengah yaitu $y = 0.6e^{-0.125x}$, dimana y adalah jumlah penderita dan x adalah waktu penyebaran. Hasil perhitungan sistem menunjukkan rata-rata error pengujian data sebesar 13%. Sedangkan hasil penentuan daerah potensi endemik menunjukkan terdapat dua daerah yang memiliki nilai $R_0 > 1$ yaitu Kabupaten Cilacap dan Kota Semarang.

Kata kunci

endemik, HIV/AIDS, simulasi, SIR

ABSTRACT

HIV/AIDS is an infectious disease threatening human health all over the world. Central Java Province ranks as 6th in terms of the most HIV/AIDS cases in Indonesia. A precise disease control is needed to monitor the spreading of disease infection. A mathematical model which works based on the changing from susceptible into the infected population is needed. In this research, SIR (Susceptible, Infected, Removed) model is used to empirically understand of HIV dispersion cases and HIV/AIDS endemism in Central Java. The demographic data and the number of HIV/AIDS cases in 2010 to 2014 are used as the dataset. The result shows that HIV/AIDS infection model in Central Java is $y = 0.6e^{-0.125x}$, where y is the number of infectious and x is the spreading time. The result shows the average data test error is 13%, and the potential endemic regions having $R_0 > 1$ are Cilacap Regency and Semarang City respectively.

Keywords

endemic, HIV/AIDS, simulation, SIR

1. LATAR BELAKANG

Penyebaran penyakit menular merupakan fenomena yang melibatkan variabel lingkungan dan kependudukan. Penyebaran suatu penyakit menular yang tidak terkendali dapat berakibat fatal bagi penduduk dan lingkungannya. Sehingga diperlukan sebuah sistem yang dapat membantu melakukan analisis penyebaran penyakit di suatu wilayah. Sistem ini dapat melakukan penyebaran penyebaran penyakit dan menentukan

endemisitas penyakit di setiap daerah. Sehingga kebijakan pengendalian dan pencegahan dapat dilakukan dengan tepat [1].

HIV/AIDS termasuk penyakit menular yang menyerang sistem kekebalan tubuh manusia yang disebabkan oleh virus *Human Immunodeficiency Virus* dan menjadi salah satu masalah kesehatan yang mengancam masyarakat di dunia. Provinsi Jawa Tengah menempati posisi enam tertinggi dalam jumlah kasus HIV/AIDS di Indonesia (per Desember 2014), yakni sebanyak 9.830 kasus HIV dan 4.079 kasus AIDS yang tersebar di 35 Kabupaten/kota. Jumlah ini mengalami peningkatan dari tahun 2011 sampai 2014 sebanyak 1.800 kasus HIV [2].

Pengolahan data penyebaran penyakit tersebut disajikan terbatas dalam bentuk tabel dan grafik. Akibatnya, sulit untuk mengetahui pola atau *trend* penyebarannya [3]. Untuk mengatasi kelemahan tersebut maka diperlukan sebuah model yang dapat mengetahui penyebaran penyakit dalam suatu wilayah tertentu secara otomatis dan mudah dipahami, yaitu model yang dibangun berdasarkan prinsip matematis yang bekerja berdasarkan perubahan dari populasi rentan ke populasi terinfeksi. Salah satu pemodelan yang digunakan untuk memodelkan penyebaran penyakit adalah dengan model *Susceptible-Infected-Removed* (SIR).

Penelitian menggunakan SIR telah banyak dilakukan untuk memodelkan berbagai penyakit menular. Seperti penelitian yang dilakukan oleh [4] yaitu menganalisis model SIR dengan memperhitungkan variabel kependudukan dan lingkungan pada penyebaran penyakit Hepatitis A. Hasilnya penyakit akan endemik di Kabupaten Jember dengan nilai R_0 sebesar 1,09. Penelitian mengenai pemodelan penyebaran HIV/AIDS dengan SIR sebelumnya telah dilakukan untuk memodelkan penyebaran HIV/AIDS di Sulawesi Utara [5]. Hasil penelitian menunjukkan penyakit akan meningkat menjadi wabah dalam kurun waktu 100 tahun. Penyebaran menggunakan grafik ini tidak menunjukkan jumlah kasus untuk setiap daerah, sehingga sulit untuk melakukan pemerataan pengendalian. Sementara pemodelan SIR untuk penyebaran telah dilakukan dengan membuat simulasi penyebaran kasus DBD yang divisualisasikan dalam peta [6]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model SIR dapat digunakan untuk penyebaran dengan nilai β tertentu.

Melalui penelitian ini dibuat sebuah simulasi penyebaran penyakit HIV/AIDS menggunakan model SIR dengan mengambil studi kasus penyebaran HIV/AIDS di Provinsi Jawa Tengah. Dalam masa penyebaran virus HIV, individu yang tidak terinfeksi HIV akan masuk ke dalam kelas *Susceptible* (S). Kemudian setelah individu terinfeksi virus HIV, maka akan masuk ke kelas populasi *Infected* (I). Setelah individu terinfeksi HIV, maka individu tersebut akan terjangkit AIDS dan masuk ke dalam kelas *Removed* (R). Simulasi

dilakukan untuk mengetahui jumlah kasus HIV di Jawa Tengah berdasarkan *trend* laju penularan sebagai pembandingan dengan jumlah kasus asli dari tahun 2010 s.d 2014 yang tersaji dalam visualisasi peta. Simulasi juga menggambarkan daerah potensi endemik HIV/AIDS di Jawa Tengah. Pembuatan peta penyebaran kasus HIV dan potensi endemik HIV/AIDS ini dapat memudahkan pihak pengelola kesehatan dalam melakukan analisis untuk mengambil kebijakan pengendalian dan pencegahan yang tepat sasaran di setiap daerah di Provinsi Jawa Tengah.

2. HIV/AIDS

HIV atau *Human Immunodeficiency Virus* adalah sejenis virus yang menginfeksi sel darah putih yang menyebabkan turunnya kekebalan tubuh manusia. Sedangkan AIDS atau *Acquire Immune Deficiency Syndrome* adalah sekumpulan gejala penyakit yang timbul karena turunnya kekebalan tubuh yang disebabkan infeksi oleh HIV. Akibat menurunnya kekebalan tubuh maka orang tersebut sangat mudah terkena berbagai penyakit infeksi yang sering berakibat fatal [7].

Setelah seseorang terinfeksi HIV, 2-6 minggu kemudian terjadilah sindrom *retroviral* akut. Setelah 2-6 minggu gejala menghilang disertai *serokonversi*. Selanjutnya merupakan fase asimtomatik, tidak ada gejala, selama rata-rata 8 tahun. Sebagian besar pengidap HIV saat ini berada pada fase ini. Kemudian penderita akan mengalami fase simptomatik sebagai tanda memasuki stadium AIDS dan berlangsung rata-rata 1,3 tahun yang berakhir dengan kematian [8].

3. EPIDEMIOLOGI

Epidemiologi merupakan studi tentang penyebaran penyakit dan determinan penyakit pada populasi manusia. Model matematika epidemiologi penularan HIV/AIDS terdiri dari persamaan diferensial yang dirumuskan berdasarkan pada asumsi-asumsi tertentu tentang dinamika penularan virus [9]. Epidemiologi mendeskripsikan tentang penyakit Epidemik dan Endemik. Epidemik merupakan penyakit yang datang secara mendadak dalam jumlah banyak melebihi perkiraan normal. Sedangkan Endemik merupakan penyakit yang menetap di dalam populasi secara konstan dalam jumlah sedikit atau sedang [10].

4. Model SIR (*Susceptible, Infectious, Removed*)

Model *Susceptible, Infected, Removed* (SIR) pertama kali diperkenalkan oleh Kermarck dan Kendrick pada tahun 1927. Pada model SIR, populasi manusia dibagi menjadi tiga kelas, yaitu *Susceptible* atau individu rentan, *Infected* atau individu yang terinfeksi, dan *Removed* atau individu yang telah sembuh atau meninggal karena penyakit tersebut. Diagram model SIR ditunjukkan pada Gambar 1 [11].

Dunnes mengadaptasi model SIR pada pemodelan penyebaran penyakit HIV/AIDS menjadi 3 kategori yaitu *Susceptible* (S), *Infected* (I), dan *AIDS Cases* (A). Hal ini didasarkan pada model SIR dengan mengubah kelas *Removed* (R) menjadi kelas *AIDS Cases* (A) dikarenakan pada penyebarannya, setelah individu terinfeksi penyakit HIV (*Infected*) maka dalam kurun waktu tertentu individu akan terjangkit AIDS, sehingga kasus AIDS menjadi diperhitungkan dalam model ini [9].

Model SIR ditulis dalam bentuk persamaan diferensial biasa. Probabilitas laju penularan penyakit individu rentan dengan individu terinfeksi adalah β , sedangkan laju perkembangan AIDS untuk individu terinfeksi dinyatakan

dengan α , dengan masa inkubasi rata-rata $\frac{1}{\alpha}$. Berikut persamaan diferensial untuk masing-masing kelas SIR dalam waktu t :

$$\frac{dS_t}{dt} = -\beta I_t S_t \quad (1.1)$$

$$\frac{dI_t}{dt} = \beta I_t S_t - \alpha I_t \quad (1.2)$$

$$\frac{dA_t}{dt} = \alpha I_t \quad (1.3)$$



Gambar 1. Diagram model SIR.

5. BILANGAN REPRODUKSI DASAR (R_0)

Bilangan reproduksi dasar atau *Basic Reproduction Number* (R_0) menyatakan rata-rata banyaknya kasus individu *infectious* baru yang disebabkan satu individu *infectious* selama masa terinfeksi dalam keseluruhan populasi *susceptible* [12].

Beberapa kondisi yang akan timbul berdasarkan bilangan reproduksi dasar, yaitu [13]:

1. Jika $R_0 < 1$, maka penyakit akan menghilang. Setiap penderita hanya dapat menyebarkan penyakit kepada rata-rata kurang dari satu penderita baru, sehingga pada akhirnya penyakit akan hilang;
2. Jika $R_0 = 1$, maka penyakit akan menetap;
3. Jika $R_0 > 1$, maka penderita dapat menyebarkan penyakit kepada rata-rata lebih dari satu penderita baru, sehingga pada akhirnya akan terjadi epidemik.

6. Mean Relative Error (MRE)

Perhitungan error diperlukan untuk mengetahui nilai perbandingan dari perhitungan sistem dengan data asli. Metode yang digunakan adalah *Mean Relative Error* (MRE). Semakin kecil nilai MRE yang diperoleh maka semakin kecil *error* yang dihasilkan dari perhitungan. Rumus untuk menghitung MRE sebagai berikut [14]:

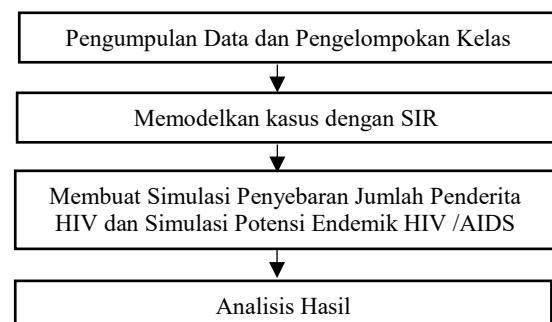
$$MRE = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{x-y}{y} \right| \times 100\%, \quad (1.4)$$

dimana:

- n = banyaknya sampel data;
- x = nilai perhitungan sistem;
- y = nilai sebenarnya.

7. METODOLOGI

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur metodologi penelitian.

7.1 Pengumpulan Data dan Pengelompokan Kelas

Data yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Dinas Kesehatan Provinsi Jawa Tengah dan Badan Pusat Statistik Jawa Tengah tahun 2010 sampai tahun 2014, dikarenakan data jumlah kasus HIV/AIDS tidak disajikan secara konsisten sebelum tahun 2010, ada data yang hanya menyajikan data AIDS atau HIV saja, ada pula data yang tidak menyajikan kedua jumlah kasus tersebut.

Data yang digunakan antara lain jumlah penduduk, jumlah kasus baru HIV, dan jumlah penduduk terjangkit AIDS di setiap kabupaten/kota dari 35 kabupaten/kota di Jawa Tengah. Selanjutnya, data yang telah diperoleh tersebut dikelompokkan ke dalam 3 kelas sesuai dengan model SIR, yaitu:

1. Kelas *Susceptible* (S) merupakan selisih dari data jumlah penduduk per kabupaten pada tahun t dengan data jumlah penderita HIV tiap kabupaten/kota pada tahun t ;
2. Kelas *Infected* (I) adalah data jumlah kasus HIV tiap kabupaten/kota pada tahun t ;
3. Kelas *AIDS Cases / Removed* (R) adalah data jumlah penderita HIV yang telah terjangkit AIDS di setiap kabupaten/kota pada tahun t .

7.2 Memodelkan Kasus dengan SIR

Alur pemodelan SIR ditunjukkan pada Gambar 3.

7.2.1 Menghitung Laju Penularan

Nilai laju penularan (β) di setiap kabupaten/kota per tahun dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\beta = \frac{I_t}{(N_t - I_{t-1}) \times 365}, \quad (1.5)$$

dengan:

β = Laju penularan;
 I_t = Jumlah kasus HIV pada tahun t ;
 I_{t-1} = Jumlah kasus HIV pada tahun sebelumnya ($t-1$);
 N_t = Jumlah individu dalam populasi pada tahun t .

Setelah nilai β tiap tahun pada masing-masing kabupaten/kota diketahui, selanjutnya menghitung median dari nilai β per tahun. Nilai α yang merupakan nilai laju perkembangan penyakit diperoleh dari $\frac{1}{a}$, dimana a adalah masa atau waktu inkubasi rata-rata penderita terjangkit AIDS yaitu 8 tahun, sehingga nilai α untuk semua waktu dan daerah adalah sama yaitu $\frac{1}{8}$ atau 0.125.

7.2.2 Memodelkan Kasus dengan Maple 18

Setelah memperoleh nilai median β pada masing-masing kabupaten/kota dan nilai α , maka masing-masing nilai tersebut dimasukkan ke dalam kelas SIR. Selanjutnya persamaan diferensial SIR dihitung dengan *software* Maple 18 untuk memperoleh grafik SIR hubungan antara jumlah kasus dengan waktu. Selanjutnya mencari fungsi yang sesuai dengan grafik SIR menggunakan *software* Microsoft Excel dengan menginputkan nilai x dan y yang diperoleh dari Grafik SIR.

7.3 Membuat Simulasi

Simulasi dilakukan untuk mengetahui penyebaran jumlah penderita HIV di setiap kabupaten/kota dan mengetahui daerah yang berpotensi endemik HIV/AIDS di Provinsi Jawa Tengah yang kemudian divisualisasikan dalam peta penyebaran HIV dan peta potensi endemik dengan warna yang berbeda sesuai dengan jumlah kasus HIV dan nilai bilangan reproduksi dasar. Program simulasi dibuat dengan bahasa pemrograman *Java*.

Penentuan nilai endemisitas dilakukan dengan menghitung bilangan reproduksi dasar (R_0). Bilangan reproduksi dasar dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$R_0 = \frac{\beta \times S}{\alpha}, \quad (1.6)$$

dimana:

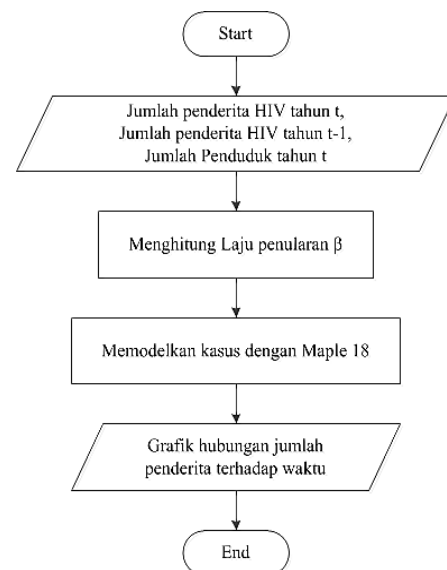
R_0 = Bilangan reproduksi dasar;
 β = Laju penularan;
 S = Jumlah populasi rentan;
 α = Laju perkembangan penyakit.

Pembuatan program simulasi penyebaran jumlah kasus HIV dilakukan sesuai dengan diagram alur yang ditunjukkan pada Gambar 4. Sedangkan alur pembuatan simulasi potensi endemik HIV/AIDS ditunjukkan pada Gambar 5.

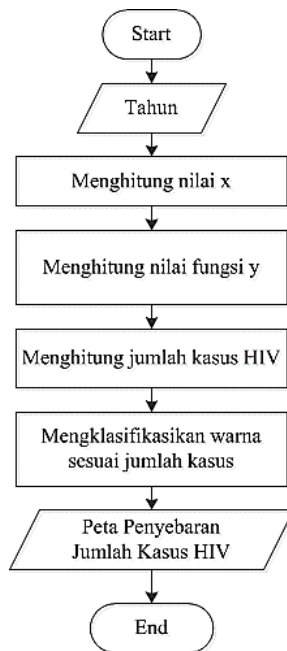
7.4 Analisis Hasil

Hasil pemodelan menggunakan SIR divisualisasikan dalam peta simulasi. Pengujian pada simulasi penyebaran jumlah kasus HIV dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan penyebaran dengan data asli pada kasus HIV tahun 2010 sampai 2014. Hasil dari penyebaran dan data asli tersebut ditampilkan dalam peta perbandingan data penyebaran dan data asli, sehingga dapat lebih mudah untuk membandingkan hasil penyebaran dengan data asli. Selanjutnya nilai *error* dihitung untuk mengetahui ketepatan penyebaran menggunakan SIR.

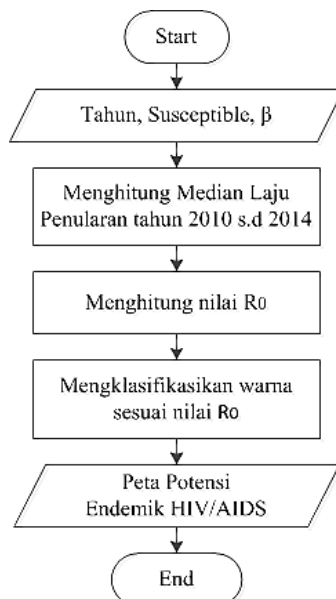
Simulasi daerah potensi endemik HIV/AIDS juga disimulasikan dalam peta potensi endemik untuk menunjukkan daerah yang berpotensi endemik HIV/AIDS di Jawa Tengah dalam kurun waktu 5 tahun.



Gambar 3. Alur pemodelan SIR.



Gambar 4. Diagram alur program pembuatan simulasi penyebaran jumlah kasus HIV.



Gambar 5. Diagram alur pembuatan simulasi potensi endemik HIV/AIDS.

8. HASIL DAN PEMBAHASAN

8.1 Data Penelitian dan Pengelompokan Kelas

Data yang digunakan dalam penelitian adalah data jumlah penduduk, jumlah penderita HIV, dan jumlah penderita AIDS di Jawa Tengah. Data yang telah diperoleh tersebut kemudian dikelompokkan ke dalam tiga kelas yaitu *Susceptible*, *Infected*, dan *AIDS Cases / Removed*.

8.2 Menghitung Laju Penularan

Laju penularan dihitung untuk mengetahui probabilitas penularan antara populasi terinfeksi dengan populasi rentan. Nilai β masing-masing kabupaten/kota dari

setiap tahun dicari sesuai dengan data masing-masing kabupaten/kota. Selanjutnya dicari nilai median β dari setiap tahun dengan mengurutkan nilai β secara menaik. Pseudocode untuk menghitung nilai β dan mediannya ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Setelah program menghitung nilai β dan mediannya, maka nilai tersebut dapat digunakan untuk menentukan jumlah kasus HIV berdasarkan laju penularan dan nilai endemisitas. Contoh hasil perhitungan laju penularan HIV/AIDS tahun 2010 dan median laju penularan setiap kabupaten/kota ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

```

array infected[];
array penduduk[];
array infected_before[];

for(var i=0;i<infected.length;i++){
    array beta[i] =
        (infected[i]/(penduduk[i]-infected_before[i])*365);
}
  
```

Gambar 6. Pseudocode menghitung laju penularan.

```

array beta[];
var middle = beta.length/2;
sorting(beta[]);

if(beta.length mod 2 := 1)
{
    array median[] = beta(middle);
}
else if(beta.length mod 2 := 0)
{
    var m = beta(middle-1);
    var n = beta(middle);
    array median [] = (m+n)/2;
}

function sorting(array[]){
    for(var i=0;i<array.length;i++)
    {
        var small = array[i];
        for(var j = i+1; j<array.length;j++)
        {
            if(array[j]<array[small])
            {
                small = array[j];
            }
        }
        var temp = array[i];
        array[i] = array[small];
        array[small]=temp;
    }
}
  
```

Gambar 7. Pseudocode menghitung median laju penularan.

Tabel 1. Hasil perhitungan laju penularan tahun 2010.

No	Kabupaten/ kota	S	β
1	Cilacap	1641338	1.96×10^{-7}
2	Banyumas	1555305	0
3	Purbalingga	850259	0
4	Banjarnegara	869687	0
5	Kebumen	1158825	0.07×10^{-7}
...			
35	Kota Tegal	242190	0.79×10^{-7}

Tabel 2. Hasil perhitungan median laju penularan.

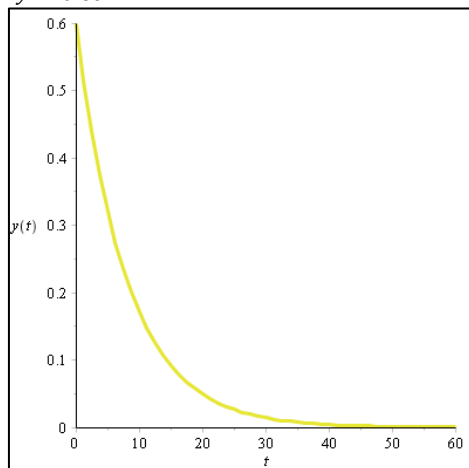
No	Kabupaten/kota	Median β ($\times 10^{-7}$)
1	Cilacap	0.83
2	Banyumas	0.77
3	Purbalingga	0.22
4	Banjarnegara	0.06
5	Kebumen	0.49
...		
35	Kota Tegal	0.79

8.3 Memodelkan Kasus dengan Maple 18

Data kasus yang telah dihitung laju penularan dan median selama 5 tahun kemudian dimasukkan ke dalam persamaan SIR yang selanjutnya persamaan ini digunakan untuk mencari grafik model SIR menggunakan *software* Maple 18. Nilai median β dan α dimasukkan ke dalam persamaan S dan I. Misalnya untuk kasus di Kabupaten Cilacap diperoleh nilai median β adalah 0.83×10^{-7} dan laju α adalah 0.125, maka nilai-nilai tersebut dimasukkan ke dalam persamaan SIR pada Maple 18 hingga diperoleh grafik SIR yang ditunjukkan pada Gambar 8.

Langkah selanjutnya adalah menginputkan titik-titik x dan y yang diperoleh dari grafik ke dalam Microsoft Excel 2013 untuk mendapatkan fungsi yang sesuai dengan grafik. Titik-titik yang diperoleh dari Maple ditunjukkan pada Gambar 9. *Trendline* yang sesuai dengan grafik diatas ditunjukkan pada Gambar 10, yaitu *trendline* Eksponensial dengan persamaan umum $y = a^{bx}$. Sehingga model yang digunakan untuk menghitung penyebaran jumlah penderita HIV di Kabupaten Cilacap adalah $y = 0.6e^{-0.125x}$, dengan y adalah jumlah kasus dan x adalah waktu.

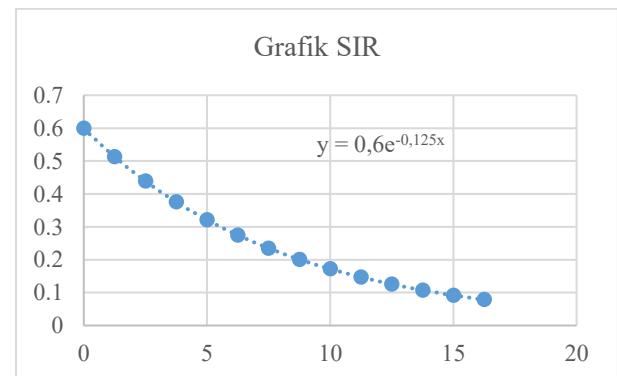
Dengan langkah yang sama, untuk memperoleh model yang sesuai di kabupaten/kota lainnya maka nilai median β dan α di kabupaten/kota tersebut juga dimodelkan ke dalam persamaan SIR pada Maple 18. Hasil yang diperoleh menunjukkan titik-titik yang hampir sama untuk setiap kabupaten/kota. Sehingga model SIR untuk menghitung penyebaran jumlah penderita HIV di Provinsi Jawa Tengah adalah $y = 0.6e^{-0.125x}$.

**Gambar 8. Grafik pemodelan SIR pada Maple 18.**

```

([0., HFloat(0.6)], [1.250000000,
HFloat(0.51320716544083)], [2.500000000,
HFloat(0.4389693660650879)], [3.750000000,
HFloat(0.3754704219590732)], [5.000000000,
HFloat(0.32115689308338213)], [6.250000000,
HFloat(0.27470004863903863)], [7.500000000,
HFloat(0.23496339595548932)], [8.750000000,
HFloat(0.20097483820665216)], [10.00000000,
HFloat(0.1719028948807967)], [11.25000000,
HFloat(0.14703635163614817)], [12.50000000,
HFloat(0.1257668582662836)], [13.75000000,
HFloat(0.10757408710670553)], [15.00000000,
HFloat(0.09201298760807718)], [16.25000000,
HFloat(0.07870288468160047)], [17.50000000, HFl...

```

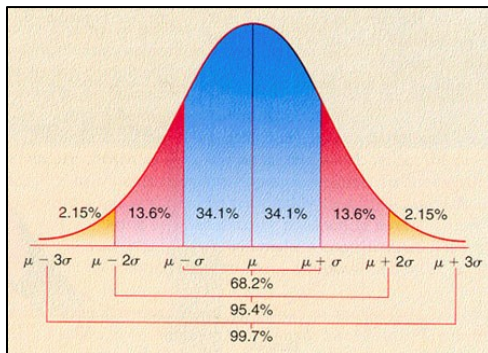
Gambar 9. Titik-titik yang diperoleh dari grafik pada Maple 18.**Gambar 10. Trendline grafik SIR pada Microsoft Excel.**

8.4 Membuat Program Simulasi

Program yang dibuat adalah program simulasi untuk menghitung penyebaran jumlah penderita HIV dan menghitung endemisitas setiap kabupaten/kota di Provinsi Jawa Tengah, dengan output berupa peta. Program dibuat dengan bahasa pemrograman JAVA menggunakan editor Netbeans IDE 8.0. Simulasi Penyebaran Jumlah Kasus HIV

Untuk menghitung penyebaran jumlah penderita HIV, program memerlukan inputan tahun untuk mengambil data kasus setiap kabupaten/kota setiap tahun dari *database*. Dengan menggunakan fungsi yang telah diperoleh dari grafik SIR, maka alur program selanjutnya adalah menghitung nilai koefisien x yang menunjukkan waktu penyebaran dan nilai y untuk mendapatkan jumlah penderita HIV, dengan pseudocode yang ditunjukkan pada Gambar 12.

Dari hasil perhitungan jumlah penderita HIV yang telah diperoleh, selanjutnya dilakukan klasifikasi warna untuk ditampilkan pada peta Provinsi Jawa Tengah yang merepresentasikan jumlah kasus HIV di setiap kabupaten/kota. Warna pada peta penyebaran dibagi ke dalam 4 warna berdasarkan nilai Distribusi Normal dari seluruh data jumlah kasus HIV di setiap kabupaten/kota di Jawa Tengah. Nilai Distribusi Normal diperoleh dari kurva distribusi normal yang ditunjukkan pada Gambar 11 dengan mengambil daerah di sebelah kanan kurva. Penentuan range jumlah kasus membutuhkan nilai rata-rata (μ) dan standar deviasi (σ) dari data jumlah kasus HIV di Jawa Tengah. Rata-rata yang diperoleh yaitu 24,806 dan nilai standar deviasi adalah 30,715. Selanjutnya masing-masing nilai disubstitusikan ke dalam luas setiap daerah kurva di sebelah kanan, hingga diperoleh nilai dan range warna seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.



Gambar 11. Kurva distribusi normal [15]

Tabel 3. Klasifikasi warna peta jumlah kasus HIV

Luas Daerah Kurva	Hasil	Pembulatan	Range Jumlah Kasus	Warna
μ	24,806	25	< 25	Biru
$\mu + \sigma$	55,520	56	25 s.d 56	Hijau
$\mu + 2\sigma$	86,235	86	57 s.d 86	Kuning
$\mu + 3\sigma$	116,950	117	87 s.d 117	Oranye
			> 117	Merah

Untuk menampilkan warna pada setiap kabupaten/kota, dilakukan dengan memberikan label yang berbeda pada piksel setiap kabupaten/kota. Label diberi nilai 0 sampai dengan 34 sesuai dengan jumlah kabupaten/kota di Jawa Tengah, yaitu sebanyak 35 kabupaten/kota. Untuk Kabupaten Cilacap diberi label 0, Kabupaten Banyumas berlabel 1, Kabupaten Purbalingga diberi label 2, dan seterusnya hingga label 34 untuk Kota Tegal. Selanjutnya program akan mengecek kondisi kabupaten/kota, jika kabupaten/kota memiliki jumlah kasus kurang dari 31 kasus maka piksel dengan label kabupaten/kota tersebut akan diubah dengan warna yang sesuai dengan range jumlah kasus yang telah ditentukan.

8.4.1 Menghitung Nilai Endemik HIV/AIDS

Perhitungan nilai endemik ditentukan berdasarkan nilai bilangan reproduksi dasar (R_0). Untuk menghitung R_0 memerlukan data populasi *susceptible*, nilai α , dan nilai median laju penularan setiap kabupaten/kota.

Nilai R_0 yang telah diperoleh kemudian dianalisis ke dalam tiga kondisi, yaitu jika $R_0 < 1$, maka penyakit akan menghilang; jika $R_0 = 1$, maka penyakit akan menetap; jika $R_0 > 1$, maka penderita dapat menyebarkan penyakit kepada rata-rata lebih dari satu penderita baru, sehingga pada akhirnya akan terjadi epidemi. Kondisi tersebut kemudian diklasifikasikan ke dalam tiga warna yang merepresentasikan nilai endemik untuk ditampilkan pada peta potensi endemik, yaitu warna hijau untuk kabupaten/kota yang memiliki nilai $R_0 < 1$, warna kuning untuk $R_0 = 1$, dan warna merah jika kabupaten/kota memiliki nilai $R_0 > 1$. Untuk menampilkan warna pada setiap kabupaten/kota dilakukan cara yang sama dengan subbab 7.4.1, yaitu dengan cara pelabelan. Pseudocode untuk menghitung nilai R_0 ditunjukkan pada Gambar 13.

```

var tahun;
array penduduk(tahun)[];
array infected(tahun)[];
array kabupaten[];

var bulan = hitung_bulan(tahun);
var x = hitung_x(bulan);
var y = hitung_y(x);

for(var i = 0; i < kabupaten.length; i++)
{
    array prediksi = hitung_prediksi(y, penduduk[i], infected[i]);
}

function hitung_bulan(tahun){
    return ((tahun-2010)*12)+12;
}
function hitung_x(bulan){
    return ((12/bulan)*16.25);
}
function hitung_y(x){
    return (0,6*e^-0.125*x);
}
function hitung_prediksi(y,penduduk,infected){
    return ((y*penduduk/n)-infected);
}

```

Gambar 12. Pseudocode penyebaran jumlah kasus HIV.

```

array median[];
array suscept[];
array kabupaten[];
var alpha = 0.125;

for(var i=0; i < median.length; i++){
    var ro = ((median[i]*suscept[i])/alpha);
    if(ro>1){
        setwarna = rgb(merah);
    }
    else if(ro==1){
        setwarna = rgb(kuning);
    }
    else{
        setwarna = rgb(hijau);
    }
}

```

Gambar 13. Pseudocode menghitung nilai R_0 .

8.5 Analisis Hasil

8.5.1 Hasil Simulasi Penyebaran Jumlah Kasus HIV

Hasil dari perhitungan penyebaran jumlah penderita HIV dengan model SIR disimulasikan dalam peta Provinsi Jawa Tengah. Peta hasil perhitungan disajikan dalam 2 peta, yaitu peta data asli dan data sistem untuk mengetahui adanya perbedaan dari masing-masing data.

Simulasi yang pertama dilakukan pada data kasus tahun 2010 dengan nilai β dan median setiap kabupaten/kota telah dihitung terlebih dahulu. Hasil simulasi pada tahun 2010 ditunjukkan pada Tabel 4. Selanjutnya jumlah kasus pada data asli dan data hasil perhitungan sistem divisualisasikan dalam peta dengan warna yang telah diklasifikasikan sesuai dengan jumlah kasus. Tampilan peta yang menunjukkan jumlah kasus HIV sebenarnya dan jumlah kasus HIV berdasarkan perhitungan sistem tahun 2010 ditunjukkan pada Gambar 14.

Visualisasi pada peta menunjukkan warna sesuai dengan klasifikasi yang telah ditentukan, yaitu daerah yang memiliki jumlah kasus kurang dari 25 kasus berwarna biru, sedangkan daerah yang memiliki jumlah kasus pada range antara 25-56 berwarna hijau, seperti yang ditunjukkan pada Kota Surakarta dengan jumlah data asli 43 kasus dan data hasil perhitungan sistem sebanyak 42 kasus. Pada Kabupaten Cilacap terdapat perbedaan warna karena pada data asli terdapat 118 kasus yang masuk pada range warna merah (lebih dari 117 kasus). Sementara pada data hasil perhitungan sistem menunjukkan 116 kasus yang masuk pada range warna oranye (range 87-117 kasus).

Simulasi lainnya dilakukan pada data kasus tahun 2014. Hasil perhitungan jumlah kasus HIV pada tahun 2014 ditunjukkan pada Tabel 5. Jumlah kasus pada data asli dan data hasil perhitungan sistem divisualisasikan dalam peta dengan warna yang telah diklasifikasikan sesuai dengan jumlah kasus. Tampilan peta yang menunjukkan jumlah kasus asli dan penyebaran HIV tahun 2014 ditunjukkan pada Gambar 15.

Visualisasi pada peta penyebaran HIV tahun 2014 menunjukkan warna yang sesuai dengan klasifikasi yang telah ditentukan, yaitu daerah yang memiliki jumlah kasus kurang dari 25 kasus berwarna biru, daerah yang memiliki jumlah kasus pada range antara 25-56 kasus berwarna hijau, dan daerah yang memiliki jumlah kasus pada range antara 57-86 kasus berwarna kuning yang ditunjukkan pada beberapa daerah. Warna Oranye menunjukkan jumlah kasus berada pada range antara 87-117 kasus, seperti yang ditunjukkan pada Kota Semarang dengan jumlah kasus asli adalah 108 kasus dan hasil perhitungan sistem sebanyak 101 kasus.

Dari hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 4 dan Tabel 5, terdapat perbedaan pada jumlah kasus pada data asli dan hasil perhitungan sistem. Perbedaan jumlah kasus pada kedua data tersebut disebabkan karena proses pengambilan titik-titik grafik oleh Maple. Maple hanya mengambil titik dari sebagian daerah pada grafik dan tidak semua titik pada sumbu x ditampilkan oleh Maple. Titik-titik ini yang kemudian diinputkan ke Microsoft Excel untuk mendapatkan *trendline* fungsi yang dapat digunakan untuk menghitung penyebaran jumlah kasus HIV. Oleh karena itu diperlukan perhitungan *error* yang menunjukkan persentase keakuratan perhitungan sistem menggunakan *Mean Relative Error* (MRE).

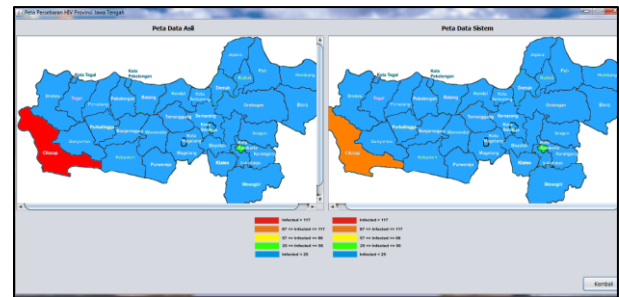
Hasil simulasi pada tahun 2010 menunjukkan *error relative* sebesar 20%, *error* tahun 2011 sebesar 17%, tahun 2012 memiliki *error* sebesar 13%, tahun 2013 memiliki *error* sebesar 8%, dan *error* hasil simulasi tahun 2014 sebesar 6%. Rata-rata *error* data simulasi perhitungan jumlah kasus HIV tahun 2010 sampai 2014 sebesar 13%.

Tabel 4. Hasil perhitungan penyebaran jumlah kasus HIV tahun 2010.

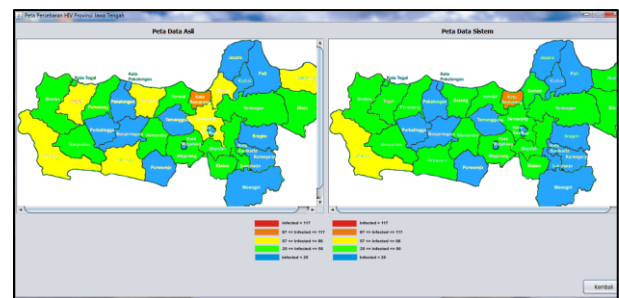
No	Kabupaten	Data Asli	Data Penyebaran
1	Cilacap	118	116
2	Banyumas	0	1
3	Purbalingga	0	0
4	Banjarnegara	0	0
5	Kebumen	3	2
⋮			
35	Kota Tegal	7	6

Tabel 5. Hasil perhitungan penyebaran jumlah kasus HIV tahun 2014.

No	Kabupaten	Data Asli	Data Penyebaran
1	Cilacap	84	77
2	Banyumas	46	39
3	Purbalingga	11	7
4	Banjarnegara	17	13
5	Kebumen	61	56
⋮			
35	Kota Tegal	9	8



Gambar 14. Hasil simulasi peta data asli dan hasil perhitungan sistem tahun 2010



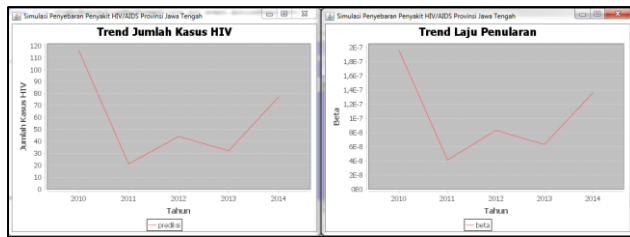
Gambar 15. Hasil simulasi peta data asli dan hasil perhitungan sistem tahun 2014

8.5.2 Trend Penyebaran HIV/AIDS

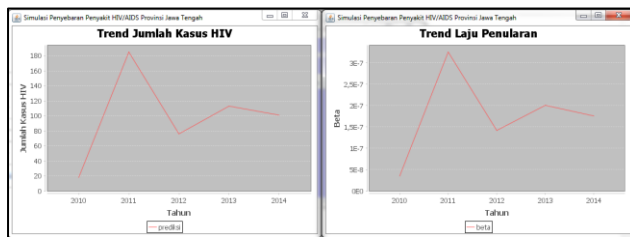
Pola atau *trend* laju penularan dapat diketahui dengan menampilkan grafik laju penularan berdasarkan hasil perhitungan laju penularan. Grafik *trend* laju penularan digunakan untuk mengetahui probabilitas penularan penyakit HIV/AIDS antara populasi terinfeksi HIV dengan populasi rentan HIV/AIDS yang terjadi pada setiap daerah per tahun.

Trend laju penularan HIV/AIDS dengan hasil perhitungan jumlah kasus HIV ditampilkan untuk mengetahui kesesuaian antara perhitungan laju penularan dengan perhitungan jumlah kasus HIV. Gambar 16 menunjukkan *trend* laju penularan dan jumlah kasus HIV di Kabupaten Cilacap per tahun yang menunjukkan bahwa *trend* jumlah kasus HIV berdasarkan perhitungan sistem dapat mengikuti laju penularan. Saat jumlah kasus HIV berada pada titik tertinggi yaitu 118 kasus pada tahun 2010, maka laju penularan pada tahun tersebut juga berada pada titik tertinggi. Begitu pula pada saat jumlah kasus HIV berada di titik terendah yaitu 21 kasus pada tahun 2011, maka laju penularan pada tahun tersebut juga berada di titik terendah.

Contoh Simulasi *trend* lainnya ditunjukkan pada Gambar 17 yang menunjukkan *trend* laju penularan dan jumlah kasus HIV di Kota Semarang per tahun. Grafik tersebut menunjukkan *trend* jumlah kasus HIV Kota Semarang juga menunjukkan kesesuaian dengan laju penularan. Jumlah kasus HIV pada tahun 2011 mengalami kenaikan dari tahun 2010 serta mengalami penurunan pada tahun 2012. Laju penularan juga menunjukkan *trend* yang sama, yaitu titik terendah penyebaran berada pada tahun 2010, dan titik tertinggi ada di tahun 2011. Dari *trend* yang ditunjukkan pada Gambar 16 dan Gambar 17 dapat disimpulkan bahwa Jumlah kasus HIV sebanding dengan laju penularannya. Semakin tinggi laju penularan, maka semakin banyak jumlah kasus HIV yang terjadi, dan sebaliknya.



Gambar 16. *Trend laju penularan dan jumlah kasus HIV Kabupaten Cilacap*



Gambar 17. *Trend laju penularan dan jumlah kasus HIV Kota Semarang*

8.5.3 Hasil Simulasi Daerah Potensi Endemik HIV/AIDS

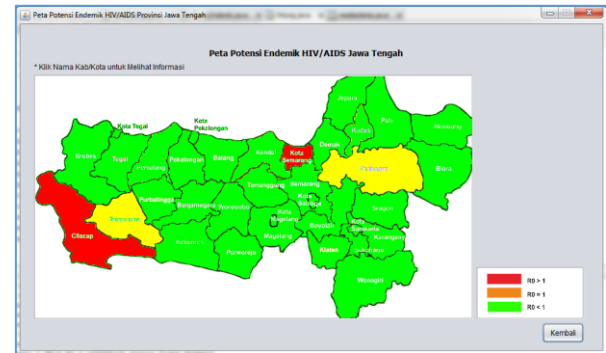
Hasil perhitungan nilai bilangan reproduksi dasar (R_0) digunakan untuk menentukan daerah yang berpotensi endemik HIV/AIDS di Jawa Tengah dalam kurun waktu 5 tahun. Perhitungan ini membutuhkan inputan berupa tahun yang akan mengambil data median laju penularan, populasi rentan (*susceptible*) pada setiap kabupaten/kota, dan laju perkembangan penyakit yang sama untuk semua data yaitu 0.125. Selanjutnya program akan mengelompokkan data kabupaten/kota berdasarkan hasil nilai bilangan reproduksi dasar yang terbagi ke dalam tiga kondisi, yaitu $R_0 < 1$, $R_0 = 1$, dan $R_0 > 1$. Tabel 6 menunjukkan hasil perhitungan bilangan reproduksi dasar setiap kabupaten/kota.

Dari hasil perhitungan bilangan reproduksi dasar kemudian divisualisasikan ke dalam peta potensi endemik HIV/AIDS sesuai dengan pembagian warna yang telah ditentukan berdasarkan kondisi nilai R_0 . Hasil visualisasi peta potensi endemik HIV/AIDS berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 5 ditunjukkan pada Gambar 18.

Peta potensi endemik HIV/AIDS merepresentasikan hasil perhitungan bilangan R_0 dari kasus HIV/AIDS selama 5 tahun. Dari gambar peta potensi endemik dapat diketahui bahwa ada dua daerah yang berpotensi endemik yaitu Kabupaten Cilacap dan Kota Semarang (berwarna merah) dengan nilai R_0 lebih dari 1. Nilai R_0 Kabupaten Cilacap adalah 1.118676656, dan nilai R_0 Kota Semarang sebesar 2.357552. Hal ini menunjukkan bahwa di dua daerah tersebut, setiap penderita dapat menyebarkan virus kepada rata-rata satu atau lebih penderita baru, sehingga pada akhirnya akan terjadi epidemik. Sedangkan daerah yang diwaspadai akan berpotensi endemik adalah daerah yang berwarna kuning, yaitu Kabupaten Banyumas dan Kabupaten Grobogan dengan nilai R_0 masing-masing sangat mendekati 1. Hal ini menunjukkan bahwa di kedua daerah tersebut penyakit akan menetap, namun belum tentu dapat menyebar ke populasi rentan. Selain keempat kabupaten/kota yang telah disebutkan, yaitu 29 kabupaten/kota lainnya memiliki nilai $R_0 < 1$ (berwarna hijau), yang menunjukkan bahwa daerah-daerah tersebut tidak berpotensi endemik, artinya setiap penderita tidak dapat menyebarkan penyakit ke populasi rentan, sehingga pada akhirnya penyakit akan hilang.

Tabel 6. Hasil perhitungan bilangan reproduksi dasar.

No	Kabupaten	Median β ($\times 10^{-7}$)	R_0
1	Cilacap	0.83	1.118676656
2	Banyumas	0.77	0.997586128
3	Purbalingga	0.22	0.15635576
4	Banjarnegara	0.06	0.043011072
5	Kebumen	0.49	0.462768544
...			
35	Kota Tegal	0.79	0.154838104



Gambar 18. Hasil simulasi peta potensi endemik HIV/AIDS di Jawa Tengah

9. PENUTUP

9.1 Kesimpulan

Simulasi penyebaran penyakit HIV/AIDS dimodelkan menggunakan model Susceptible, Infected, Removed (SIR) dengan mengubah kelas Removed menjadi kelas AIDS Cases. Simulasi digunakan untuk mengetahui penyebaran jumlah kasus HIV dan daerah berpotensi endemik yang divisualisasikan dalam peta provinsi Jawa Tengah.

Dari hasil simulasi diperoleh model penyebaran HIV/AIDS di Jawa Tengah yaitu $y = 0.6e^{(-0.125x)}$. Hasil perhitungan menunjukkan rata-rata error pengujian data tahun 2010 sampai 2014 sebesar 13%. Sedangkan hasil penentuan daerah berpotensi endemik menunjukkan terdapat dua daerah yang memiliki nilai $R_0 > 1$ yaitu Kabupaten Cilacap dan Kota Semarang.

9.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya dapat menambahkan faktor mobilitas penduduk ke dalam model SIR, seperti perpindahan penduduk dan kepadatan penduduk karena dapat mempengaruhi jumlah penyebaran kasus dan nilai endemisitas penyakit di suatu daerah. model juga dapat mempengaruhi nilai endemisitas penyakit di suatu daerah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Achmadi, Umar Fahmi. 2009. *Manajemen Penyakit Berbasis Wilayah*. Jurnal Kesehatan Masyarakat Nasional Vol. 3, No.4, Februari 2009.
- [2] Departemen Kesehatan Provinsi Jawa Tengah. 2014. *Buku Saku Kesehatan Tahun 2014*. Semarang: Dinas Kesehatan Provinsi Jawa Tengah.
- [3] Widi, Ajeng., Nataliani, Y., & Hendry. 2011. *Deteksi dan Penyebaran Daerah Endemis Demam Berdarah Dengue (DBD) dengan Pemodelan Matematis Susceptible, Infected, Recovered (SIR) (Studi Kasus : Kabupaten Semarang)*. Jurnal Teknologi Informasi-Aiti, Vol. 8. No.2, Agustus 2011 : 101 – 200.

- [4] Anggraini, W., Hidayat, R., & Kusbudiono. 2014. *Analisis Model SIR dengan Imigrasi dan Sanitasi pada Penyakit Hepatitis A di Kabupaten Jember*. Prosiding Seminar Nasional Matematika, Universitas Jember, 19 November 2014.
- [5] Tjolleng, A., Komalig, H. A., & Prang, J. D. 2013. *Dinamika Perkembangan HIV/AIDS di Sulawesi Utara Menggunakan Model Persamaan Diferensial Nonlinear SIR*. Jurnal Ilmiah Sains Vol. 13 N .1 , 9-14.
- [6] Kartikasari., Palgunadi., & Harjito. 2015. *Pembuatan Peta Data Penyebaran Penderita Penyakit DBD Di Kota Surakarta Dengan Metode Susceptible-Infected-Removed (SIR)*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- [7] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. 2014. *Situasi dan Analisis HIV AIDS*. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia.
- [8] Departemen Kesehatan Republik Indonesia. 2006. *Situasi HIV/AIDS Di Indonesia Tahun 1997-2006*. Jakarta: Departemen Kesehatan Republik Indonesia.
- [9] Dunne, Marry T. 1995. *A Modified Mathematical Model for HIV Transmission, AIDS and Intervention Strategies in Ireland*. Dublin City University.
- [10] Murti, Bhisma. 2013. *Pengantar Epidemiologi*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- [11] Chitnis, Nakul. 2011. *Introduction to Mathematical Epidemiology: Deterministic Compartmental Models*. Swiss: Universitat Basel.
- [12] Sari, Ilmiyati., & Tasman, Hengki. 2014. *Model Epidemik SIR Untuk Penyakit Yang Menular Secara Horizontal dan Vertikal*. Prosiding Konferensi Nasional Matematika XVII – 2014, ITS, Surabaya.
- [13] Giesecke, J. 2014. *Modern Infectious Disease Epidemiology*. New York: Oxford University Press.
- [14] Young, H. D. 1962. *Statistical Treatment Of Experimental Data*. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc.
- [15] Tarigan, M. 2016. *Distribusi Teoritis* <http://www.slideshare.net/ruthdeejaupakpahan/distribusi-teoritis>, diakses pada tanggal 2 September 2016

