

DINAMIKA PERKEMBANGAN HIV/AIDS DI KABUPATEN KUDUS MENGUNAKAN MODEL PERSAMAAN DIFERENSIAL NONLINEAR SIR (SUSCEPTIBLE, INFECTIOUS AND RECOVERED)

Ivanna Isty Nursani^{a,*}, Nur Alisa^a, Irma Latifah, Melvin Dewi Rosita

^aUniversitas Muhammadiyah Kudus

Jl. Ganesha 1 Purwosari Kudus Indonesia

Email : ivannaisty@umkudus.ac.id

Abstrak

HIV/AIDS adalah Human Immunodeficiency Virus, atau sering disingkat HIV adalah virus mematikan dari dua spesies lentivirus penyebab. Virus menyerang manusia dan menyerang system kekebalan tubuh, sehingga tubuh menjadi lemah dalam melawan infeksi. HIV/AIDS juga terjadi di Kabupaten Kudus pada 2021, tercatat penambahan penderita HIV/ AIDS di Kudus ada 124 kasus. Namun untuk tahun ini, mulai dari Januari hingga Oktober 2022, angka terkonfirmasi tumbuh sebesar 184 kasus. Kabid pencegahan dan Pengendalian Penyakit, Dinas Kesehatan Kabupaten (DKK) Kudus, Darsono, menyebut fenomena maraknya 'open BO' menjadi satu di antara faktor cepat bertumbuhnya kasus HIV/AIDS. Oleh karena itu, dilakukan penelitian untuk mengetahui dinamika perkembangan HIV/AIDS di Kabupaten Kudus menggunakan model persamaan diferensial nonlinear SIR. Data yang digunakan adalah data jumlah penderita HIV/AIDS dan jumlah penduduk di Kabupaten Kudus tahun 2020 – 2021 dari Badan Pusat Statistik dan Dinas Kesehatan Kabupaten Kudus. Dalam penelitian ini didapatkan kesimpulan bahwa akan terjadi epidemi penyakit HIV/AIDS dalam kurun waktu hingga 50 tahun.

Kata Kunci : Penyakit HIV/AIDS, Kestabilan, Model SIR

Abstract

HIV/AIDS is the Human Immunodeficiency Virus, or HIV is often abbreviated as a deadly virus from two lentivirus species that cause it. The virus attacks humans and attacks the immune system, so that the body becomes weak in fighting infection. HIV/AIDS will also occur in Kudus Regency in 2021, there will be an additional 124 cases of HIV/AIDS sufferers in Kudus. But for this year, from January to October 2022, the number of confirmed cases has grown by 184. Head of Disease Prevention and Control, Kudus District Health Office (DKK), Darsono, said the phenomenon of the rise of 'open BO' was one of the factors for the rapid growth of HIV/AIDS cases. Therefore, a study was conducted to determine the dynamics of HIV/AIDS development in Kudus District using the SIR nonlinear differential equation model. The data used is data on the number of people living with HIV/AIDS and the total population in Kudus Regency for 2020 – 2021 from the Central Statistics Agency and the Kudus District Health Office. In this study, it was concluded that there would be an epidemic of HIV/AIDS in a period of up to 50 years.

Keywords : HIV/AIDS Disease, Stability, SIR Model

I. PENDAHULUAN

HIV adalah jenis virus yang menyerang atau menginfeksi sel darah putih yang menyebabkan turunnya kekebalan tubuh manusia. AIDS adalah sekumpulan gejala penyakit yang timbul karena turunnya kekebalan tubuh (Negara & Prabowo, 2018). HIV/AIDS adalah penyakit defisiensi imun sekunder yang paling umum di Indonesia dan sekarang menjadi masalah epidemic dunia

yang serius. Menurut UNAIDS WHO (2009), total orang hidup dengan positif HIV di dunia adalah 33,4 juta (Kambu, Waluyo, 2016). Kasus HIV/AIDS berkembang sangat cepat di seluruh dunia, terlihat dari besarnya jumlah orang telah terinfeksi dan lebih dari 20 juta orang meninggal. Di seluruh dunia, setiap hari diperkirakan sekitar 2000 anak di bawah 15 tahun tertular virus HIV dan telah menewaskan 1400 anak di bawah usia 15

tahun, serta menginfeksi lebih dari 6000 orang usia produktif. HIV/AIDS merupakan penyakit infeksi yang sangat berbahaya karena tidak saja membawa dampak buruk bagi kesehatan manusia namun juga pada Negara secara keseluruhan.

Sejak kasus HIV/AIDS pertama kali ditemukan di Bali pada tahun 1987, jumlah kasus terus bertambah dan menyebar di hampir seluruh provinsi di Indonesia, baik di daerah perkotaan maupun perdesaan (Sunarti, 2008). Sebagai salah satu kota yang ada di Indonesia, Kabupaten Kudus juga terkena dampak penyebaran penyakit HIV. Komisi Penanggulangan AIDS Kabupaten Kudus, Jawa Tengah (Jateng), mencatat ada sekitar 21 anak penderita AIDS di Kudus hingga pertengahan tahun 2022 ini dan dua anak diantaranya meninggal dunia. Kasus kematian pertama terjadi awal tahun ini dan terbaru pada bulan Agustus 2022. Anak penderita AIDS yang meninggal baru baru ini berusia delapan tahun dan berasal dari Kecamatan Jekulo. Anak tersebut tertular virus HIV/AIDS dari orang tua yang sudah meninggal lebih dulu.

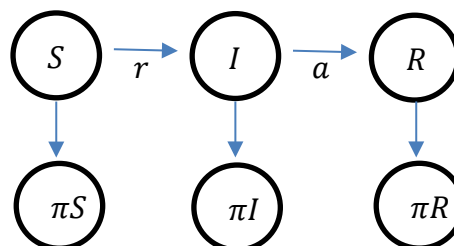
Beberapa penelitian dilakukan untuk mengetahui bagaimana virus HIV ini berkembang (Mardiah & Priambodo, 2017), (Aryani & Pramitasari, 2018), dan (Hel Minah et al., 2022). Oleh karena itu, beberapa ahli matematika melakukan penelitian tentang penyebaran penyakit HIV/AIDS (Zahwa et al., 2022), (Djafriakat, 2015), (Amin et al., 2018), dan (Side et al., 2016). Pada penelitian ini, kami ingin menggunakan Metode SIR sebagai metode penelitian untuk mengetahui tentang penyebaran penyakit HIV/AIDS. Dengan menggunakan metode SIR ini diharapkan dapat mengetahui lama waktu HIV/AIDS di Kudus akan musnah atau kah malah akan menjadi penyakit endemik baru di Kudus.

II. LANDASAN TEORI

A. Model Epidemio SIR

Murray (2002) dan Chaharborj et al. (2010) menjelaskan bahwa model epidemic SIR pertama kali diperkenalkan oleh Kermack dan McKendrick pada tahun 1927.

Model tersebut terdiri dari tiga kategori yaitu: *susceptible* (S) atau individu yang rentan terserang penyakit, *infected* (I) atau individu yang terinfeksi dan dapat menyebarkan penyakit tersebut kepada individu yang rentan dan *recovered* (R) atau individu yang diasumsikan telah kembali normal sehingga kebal terhadap penyakit.



Model epidemic SIR dirumuskan sebagai berikut:

$$\frac{ds}{dt} = -rSI \tag{1}$$

$$\frac{dI}{dt} = rSI - aI \tag{2}$$

$$\frac{dR}{dt} = aI \tag{3}$$

dimana:

S = jumlah individu yang rentan dalam populasi pada waktu t.

I = jumlah individu yang terinfeksi dalam populasi pada waktu t.

R = jumlah individu yang sembuh dalam populasi pada waktu t.

a = laju kesembuhan dari *infectious* menjadi *recovered*.

r = laju penularan penyakit dari *susceptible* menjadi *infectious*.

diasumsikan bahwa tidak ada kematian pada populasi SIR.

B. Sistem Persamaan Diferensial Biasa Nonlinear

Suatu persamaan diferensial biasa nonlinear adalah persamaan diferensial biasa yang tak linier. Misalkan suatu sistem persamaan diferensial biasa dinyatakan sebagai :

$$\dot{x} = \frac{dx}{dt} = f(t, x) \tag{4}$$

dengan $x = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ \vdots \\ x_n(t) \end{bmatrix}$

$$\text{dan } f(x, t) = \begin{bmatrix} f_1(t, x_1, x_2, \dots, x_n) \\ f_2(t, x_1, x_2, \dots, x_n) \\ \vdots \\ f_n(t, x_1, x_2, \dots, x_n) \end{bmatrix}$$

adalah fungsi tak linier dalam x_1, x_2, \dots, x_n . Sistem persamaan (4) disebut sistem persamaan diferensial biasa nonlinier (Braun, 1983).

C. Linearisasi

Misalkan diberikan sistem persamaan diferensial biasa nonlinier berikut :

$$\dot{x} = f(x), x \in R^n \tag{5}$$

dengan $x(t) \in R^n$ adalah suatu fungsi bernilai vektor dalam t dan $f: U \rightarrow R^n$ adalah suatu fungsi mulus yang terdefinisi pada subhimpunan $U \subset R^n$.

Dengan menggunakan ekspansi Taylor di sekitar titik tetap \bar{x} , maka sistem persamaan (5) dapat ditulis sebagai berikut :

$$\dot{x} = \dot{\eta} = J\eta + \varphi(\eta) \tag{6}$$

dengan J adalah matriks Jacobi yang dinyatakan sebagai berikut :

$$J = \frac{\partial f(\bar{x})}{\partial x} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix}$$

dan $\varphi(\eta)$ adalah suku berorde tinggi yang bersifat $\lim_{\eta \rightarrow 0} \varphi(\eta) = 0$, dengan $\eta = x - \bar{x}$. $J\eta$ pada sistem persamaan (6) disebut pelinearan sistem persamaan (5) (Tu, 1994).

D. Nilai Eigen dan Vektor Eigen

Diberikan matriks koefisien konstan A berukuran $n \times n$ dan sistem persamaan diferensial biasa homogen $\dot{x} = Ax, x(0) = x_0, x \in R^n$. Suatu vektor tak nol x di dalam R^n disebut vektor eigen dari A jika untuk suatu scalar λ berlaku :

$$Ax = \lambda x \tag{7}$$

Nilai skalar λ dinamakan nilai eigen dari A . Untuk mencari nilai λ dari A , maka sistem persamaan (7) dapat ditulis :

$$(A - \lambda I)x = 0 \tag{8}$$

dengan I adalah matriks identitas. Sistem persamaan (8) mempunyai solusi tak nol jika dan hanya jika

$$p(\lambda) = |a - \lambda I| = 0 \tag{9}$$

Persamaan (9) merupakan persamaan karakteristik matriks I (Anton, 1995). sistem persamaan (5) (Tu, 1994).

E. Kestabilan Titik Tetap

Misalkan diberikan sistem persamaan diferensial biasa sembarang $\dot{x} = f(x), x \in R^n$. Titik disebut titik tepat jika. Titik tetap disebut juga titik kritis atau titik kesetimbangan (Tu, 1994).

Misalkan terdapat sistem persamaan diferensial linier $\dot{x} = Ax$ dengan $A = \begin{bmatrix} k & l \\ m & n \end{bmatrix}$ mempunyai persamaan karakteristik $\lambda^2 - \tau\lambda + \delta = 0$ dimana $\tau = k + n$ dan $\delta = \det(A) = kn - ml$. Nilai eigen dari A adalah :

$$\lambda_{1,2} = \frac{1}{2} (\tau \pm \sqrt{\tau^2 - 4\delta}) \tag{10}$$

Kestabilan titik tetap dapat ditentukan dengan memperhatikan nilai – nilai eigen, yaitu λ_i dimana $i = 1, 2, \dots, n$ yang diperoleh dari persamaan karakteristik. Secara umum, kestabilan titik mempunyai perilaku sebagai berikut :

1. Stabil, jika:
 - a) Setiap nilai eigen real adalah negatif.
 - b) Setiap komponen bagian real dari nilai eigen kompleks, lebih kecil atau sama dengan nol ($Re(\lambda_i) \leq 0$ untuk semua i).
2. Tidak stabil, jika :
 - a) Terdapat nilai eigen real yang positif (λ_i) untuk suatu i .
 - b) Ada komponen bagian real dari nilai eigen kompleks, lebih besar dari nol ($Re(\lambda_i) > \text{untuk suatu } i$)
3. Sadel atau pelana, jika perkalian dua buah nilai eigen real sembarang adalah negatif $\lambda_i \lambda_j < 0$ untuk i dan j sembarang. Titik tetap sadel ini bersifat tak stabil (Tu,1994).
4. Jika salah satu nilai eigen yang diperoleh bernilai nol ($\lambda_1 = 0, \lambda_2 \neq 1$) maka titik tetapnya akan berada dalam suatu garis. Jika maka semua solusi yang tidak dimulai dari titik tetap ini cenderung untuk bergerak menuju garis tersebut. Dan sebaliknya, jika $\lambda_2 > 0$ maka akan bergerak menjauhi garis tersebut (farlow, 1994).

F. Bilangan Reproduksi Dasar

Bilangan reproduksi dasar merupakan bilangan yang menunjukkan jumlah individu rentan yang dapat menderita penyakit yang disebabkan oleh satu individu terinfeksi. Bilangan reproduksi dasar dilambangkan dengan R_0 dan dinyatakan dengan persamaan (11) berikut :

$$R_0 = \frac{r}{a} N = \frac{r}{a} S_0 \quad (11)$$

Beberapa kondisi yang akan timbul, yaitu:

1. Jika $R_0 < 1$ maka penyakit akan menghilang.
2. Jika $R_0 = 1$ maka penyakit akan menetap.
3. Jika $R_0 > 1$ maka penyakit akan meningkat menjadi wabah (Giesecke, 1).

III. METODE PENELITIAN

A. Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder tentang jumlah penderita HIV/AIDS dan jumlah penduduk di Kota Kudus tahun 2020 – 2021 yang diperoleh dari Badan pusat Statistik (BPS) dan Dinas Kesehatan Provinsi Jawa tengah bagian Kota Kudus.

B. Prosedur Penelitian

Adapun prosedur yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menaksir parameter laju perubahan individu pada subpopulasi S (*Susceptible*), I (*Infected*) dan R (*Recovered*).
2. Menentukan titik tetap model.
3. Melakukan analisis kestabilan dengan metode linearisasi.
4. Menentukan bilangan reproduksi dasar (R^0).
5. Membuat plot subpopulasi S, I dan R serta potret fase sistem dengan menggunakan *software* Maple 12.
- 6.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Penentuan Parameter Model SIR

Data yang digunakan untuk menentukan parameter adalah data jumlah penderita AIDS dan jumlah penderita yang meninggal pada tahun 2020 – 2021.

Table 1. Jumlah Penderita HIV/AIDS di Kabupaten Kudus Tahun 2020 – 2021

Tahun	Jumlah Kasus yang Ditemukan	
	HIV/AIDS	Meninggal
2020	116	21
2021	102	30

Dari tabel diatas diperoleh :

$$S(0) = S(2020) = 849.184 = N$$

$$S(t) = S(2021) = 852.443$$

$$R(t) = R(2021) = 14$$

Dimana N menyatakan jumlah penduduk di Kota Kudus pada tahun 2020 yang berjumlah 849.184 jiwa. Dengan mensubstitusi semua variabel di atas pada solusi khusus subpopulasi S yakni :

$$S(t) = S(0)e^{-\frac{R(t)}{\rho}} = S(0)e^{-\frac{R(t)r}{a}}$$

diperoleh $\frac{r}{a} = 2,9 \times 10^{-2}$,

dengan asumsi laju kesembuhan atau kematian seorang penderita HIV/AIDS dalam 10 tahun sebesar $\frac{1}{10}$ diperoleh $a = 10^{-1} = 0,1$ dan $r = 2,9 \times 10^{-3}$ artinya laju kesembuhan dari individu terinfeksi HIV/AIDS menjadi sembuh atau meninggal di Kota Kudus, berdasarkan 2020-2021 sebesar 0,1 dan laju penularan penyakit dari individu rentan menjadi $2,9 \times 10^{-3}$.

B. Penentuan Titik Tetap

Setelah dilakukan penurunan dan perhitungan diperoleh titik tetap model yaitu:

$$\begin{aligned} E(S, I) &= E\left(\frac{a}{r}, 0\right) \\ &= E\left(\frac{0,1}{2,9 \times 10^{-3}}, 0\right) = E(526.315, 0). \end{aligned}$$

Titik tetap yang diperoleh merupakan titik tetap bebas penyakit (disease free equilibrium) atau suatu keadaan dimana tidak terjadi penyebaran penyakit menular dalam populasi karena jumlah sub populasi individu terinfeksi pada waktu t sama dengan nol.

C. Analisis Kestabilan Titip Tetap

Berdasarkan nilai eigen dari matriks Jacobi yang diperoleh dari metode linearisasi diperoleh nilai eigen yang diperoleh $\lambda_1 = 0$ dan $\lambda_2 = rS - a$.

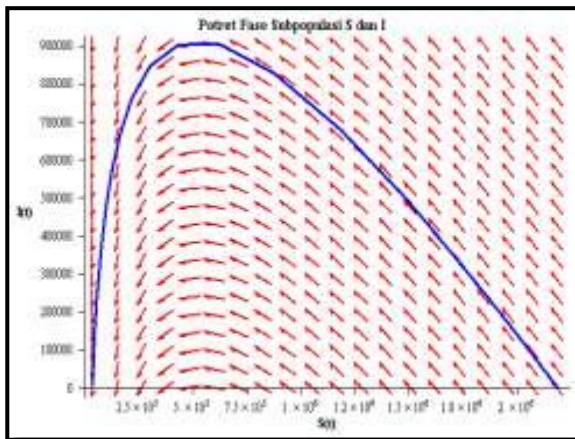
Nilai eigen $\lambda_1 = 0$ menunjukkan arah kestabilan yang netral sepanjang sumbu titik tetap. Sedangkan untuk nilai eigen $\lambda_2 = rS - a$ terdapat dua kondisi yang mungkin yakni :

- a. $\lambda_2 = rS - a$ akan bernilai positif jika $S > \frac{a}{r}$.
- b. $\lambda_2 = rS - a$ akan bernilai negatif jika $S < \frac{a}{r}$.

Jika nilai parameter dan variabel yang telah diperoleh melalui analisis data disubstitusikan ke $\lambda_2 = rS - a$ menggunakan data rentan pada tahun 2021 maka akan didapat nilai eigen yang bernilai positif yaitu $\lambda_2 = 0,32$ dari rumus nilai eigen.

Jika salah satu nilai eigen yang diperoleh bernilai nol ($\lambda_1 = 0, \lambda_2 \neq 1$) maka kondisi tersebut titik tetap berada dalam suatu garis. Karena nilai $\lambda_2 = 0,32$ maka semua solusi yang tidak dimulai dari titik tetap akan cenderung untuk bergerak menjauhi garis tersebut. Titik tetap bebas penyakit yang diperoleh bersifat semi stabil.

Potret fase dari titik tetap disajikan seperti pada gambar 1 berikut ini.



Gambar 1. Potret fase subpopulasi S dan I

Melalui gambar 1 dapat dilihat bahwa beberapa segmen garis berwarna merah yang menunjukkan kemiringan (slope) $\frac{dI}{dS}$ dari penyelesaian di setiap titik (S,I) bergerak menjauhi garis sepanjang titik tetap (sumbu S) ketika $S > \frac{a}{r}$ seiring bertambahnya waktu.

Keadaan titik tetap dalam daerah $S > \frac{a}{r}$ ini akan bersifat tidak stabil karena menghasilkan salah satu nilai eigen yang bernilai $\lambda > 0$ selanjutnya, beberapa segmen garis yang lain akan bergerak mendekati garis titik tetap ketika $S < \frac{a}{r}$. keadaan titik tetap dalam daerah $S < \frac{a}{r}$ akan bersifat stabil karena menghasilkan salah satu nilai eigen yang bernilai $\lambda < 0$ ini berarti dalam daerah

stabil, jumlah individu rentan dan terinfeksi tidak akan berubah secara signifikan.

D. Penentuan Bilangan Reproduksi Dasar

Bilangan reproduksi dasar (R_0) yang diperoleh yaitu $R_0 = 4,155$ menggunakan rumus diatas. Ini berarti satu individu terinfeksi (*infectious*) rata – rata menularkan penyakit kepada empat hingga lima individu rentan (*susceptible*) dalam populasi. Nilai bilangan reproduksi dasar (R_0) yang diperoleh lebih besar dari 1, ini menunjukkan bahwa penyakit HIV/AIDS di Kabupaten Kudus akan meningkat menjadi wabah dalam kurun waktu tertentu. Sesuai dengan ketentuan di bawah

- a. $R_0 > 1$ itu menjadi wabah
- b. $R_0 = 1$ stabil antar wabah dan akan menghilang
- c. $R_0 < 1$ akan hilang

E. Plot Perubahan Subpopulasi S, I dan R Terhadap Waktu

Plot perubahan subpopulasi S, I dan R menggunakan nilai parameter dan variabel yang diasumsikan sebagai berikut : $a = 0,1; r = 2,9 \times 10^{-3};$

$$\begin{aligned}
 N(0) &= N(2020) = 849184 \\
 S(0) &= S(2020) = 849184 \\
 S(t) &= t(2021) = 852.443 \\
 I(0) &= I(2020) = 116 \\
 I(t) &= I(2021) = 102 \\
 R(0) &= R(2020) = 50 \\
 R(t) &= R(2021) = 32
 \end{aligned}$$

Model dinamika penyebaran HIV/AIDS di Kabupaten Kudus dapat diasumsikan :

$$\begin{aligned}
 \frac{dS}{dt} &= 849.184 - 2,9 \times 10^{-3} S(t)I(t) \\
 \frac{dI}{dt} &= 2,9 \times 10^{-3} S(t)I(t) - 0,1I(t) \\
 \frac{dR}{dt} &= 0,2 I(t)
 \end{aligned}$$

V. KESIMPULAN

Hasil model dinamika perkembangan HIV/AIDS di Kabupaten Kudus menggunakan model SIR diperoleh parameter – parameter sebagai berikut :

$$\frac{dS}{dt} = 849.184 - 2,9 \times 10^{-3} S(t)I(t)$$

$$\frac{dl}{dt} = 2,9 \times 10^{-3} S(t)I(t) - 0,1I(t)$$

$$\frac{dR}{dt} = 0,2 I(t)$$

Melalui analisis kestabilan berdasarkan nilai eigen matriks Jacobi diperoleh satu titik tetap bebas penyakit (diseases free equilibrium) yaitu $E = (S, I) = (526.315, 0)$ yang bersifat semi stabil eigen $\lambda_1 = 0$ dan $\lambda_2 = 0,32$.

Bilangan reproduksi dasar penyakit HIV/AIDS di Kabupaten Kudus sebesar 4,155. Hasil ini menunjukkan bahwa penyakit HIV/AIDS di Kabupaten Kudus akan meningkat menjadi wabah atau menyebabkan terjadinya epidemic dalam kurun waktu hingga 50 tahun kedepan dengan perhitungan yang sudah di tentukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, K., Oktafianto, K., & Arifin, A. Z. (2018). Model Dinamik Penyakit Tuberculosis Di Kabupaten Tuban. *MODEL DINAMIK PENYAKIT TUBERCULOSIS DI KABUPATEN TUBAN MENGGUNAKAN SIR (Susceptible, Infectious, Reccovered)*, September, 438–441.
- Aryani, L., & Pramitasari, R. (2018). The Development of Hiv Cases in Semarang : Review of Characteristics and Environmental Aspects. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 13(1), 7–12.
- Djafriakat, D. (2015). Pemodelan Epidemiologi Penyakit Menular. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Andalas*, 2, 1–10.
- Hel Minah, W., Ziska, R., & Isonijaya, M. (2022). Tantangan dan Perkembangan Vaksin HIV (Human Immunodeficiency Virus). *Jurnal Health Sains*, 3(7), 819–829.
<https://doi.org/10.46799/jhs.v3i7.536>
- Kambu, Waluyo, K. (2016). Umur Orang Dengan HIV AIDS (ODHA) Berhubungan Dengan HIV / AIDS adalah penyakit defisiensi imun Metode Metode penelitian ini adalah deskriptif analitik Sampling : Consecutive Sampling . Hasil. *Jurnal Keperawatan Indonesia*, 19(3), 200–207.
<https://media.neliti.com/media/publications/104729-ID-umur-orang-dengan-hiv-aids-odha-berhubun.pdf>
- Mardiah, W., & Priambodo, A. P. (2017). Nurses' Knowledge, Attitudes, and Practices of Universal Precaution Toward Hiv/Aids Transmission. *Jurnal Ners*, 9(1), 11–18.
<https://doi.org/10.20473/jn.v9i1.2953>
- Negara, I. C., & Prabowo, A. (2018). Penggunaan Uji Chi-Square untuk Mengetahui Pengaruh Tingkat Pendidikan dan Umur terhadap Pengetahuan Penasun Mengenai HIV–AIDS di Provinsi DKI Jakarta. *Prosiding Seminar Nasional Matematika Dan Terapannya 2018*, 1(1), 1–8.
- Side, S., Sanusi, W., & Setiawan, N. F. (2016). Analisis dan Simulasi Model SITR pada Penyebaran Penyakit Tuberculosis di Kota Makassar Analysis and Simulation Of SITR Model on Tuberculosis in Makassar City. *Jurnal Sainsmat*, V(2), 191–204.
<https://ojs.unm.ac.id/sainsmat/article/download/6448/3681>
- Sunarti, S. (2008). *PERKEMBANGAN HIV DAN AIDS DI INDONESIA : Tinjauan Sosio Demografis*. III(2), 75–95.
- Zahwa, N., Nabilla, U., Tuberculosis, K., & Spread, D. (2022). *Model Matematika Sitr pada Penyebaran Penyakit Tuberculosis di Provinsi Aceh Kata Kunci : Tuberculosis , SITR , Penyebaran Penyakit , Aceh . The Sitr Mathematical Model on the Spread of Tuberculosis in Aceh Province Tuberculosis (TB) is an infectious in*. 10(1), 8–14.