

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini akan dijelaskan tahapan-tahapan penelitian yang akan digunakan untuk memodelkan dinamika jumlah penyalah guna narkoba menggunakan sistem persamaan diferensial. Penelitian ini berfokus pada penggambaran fenomena penyebaran penyalah guna narkoba melalui model yang dikembangkan, kemudian didukung oleh nilai awal dan nilai parameter yang relevan agar dapat melihat dinamika jumlah individu pada setiap subpopulasi dalam model. Selanjutnya, dilakukan simulasi numerik untuk memahami perilaku sistem serta mengevaluasi dampak dari parameter-parameter yang terlibat.

#### **3.1 Identifikasi Masalah**

Penyalahgunaan narkoba telah mencapai tingkat yang sangat mengkhawatirkan. Jumlah penyalah guna narkoba terus meningkat, tidak hanya masyarakat dari status ekonomi atas, tetapi juga menjangkau masyarakat dari status ekonomi bawah menengah. Bahkan remaja dan anak-anak juga terlibat dalam penyalahgunaan narkoba. Penyalahgunaan narkoba menyebabkan berbagai akibat, mulai dari gangguan kesehatan hingga masalah sosial dan ekonomi, seperti penurunan produktivitas, peningkatan angka kriminalitas, serta kerusakan hubungan sosial di masyarakat. Dalam penelitian ini, pemodelan matematika digunakan untuk memahami dinamika jumlah penyalah guna narkoba yang dipengaruhi oleh faktor ekonomi dan faktor edukasi. Faktor ekonomi, seperti pengangguran, kemiskinan, dan tekanan finansial dapat meningkatkan kerentanan seseorang untuk menyalahgunakan narkoba. Sementara itu, faktor edukasi meliputi kampanye antinarkoba untuk meningkatkan kesadaran masyarakat tentang bahaya narkoba, serta penguatan psikologi diri, seperti membangun kepercayaan diri, efikasi diri, dan keterampilan menghadapi tekanan sebagai bagian dari upaya pemulihan dan upaya pencegahan kambuh bagi individu yang telah selesai menjalani rehabilitasi.

Dengan mempertimbangkan kedua faktor tersebut dalam model matematika, diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam terkait dinamika jumlah penyalah guna narkoba dan membantu merumuskan strategi intervensi yang lebih efektif.

### 3.2 Pembentukan Model Matematika

Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah modifikasi dari model *SIR* (*Susceptible, Infected, Recovered*), yaitu model *SAHTR* (*Susceptible, Light users, Heavy users, Treatment, Recovered*). Dalam model ini, kategori *infected* (*I*) dibagi menjadi dua, yaitu *A* (*light users*/penyalah guna tingkat ringan) dan *H* (*heavy users*/penyalah guna tingkat berat) untuk menggambarkan tingkat keparahan pemakaian narkoba. Selain itu, model ini juga menambahkan kategori *T* (*treatment*) yang merupakan kategori bagi populasi yang sedang menjalani rehabilitasi.

#### 3.2.1 Asumsi

Adapun asumsi-asumsi yang digunakan dalam pembentukan model pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Populasi bersifat dinamis, artinya jumlah total individu dalam sistem dapat berubah seiring waktu karena adanya rekrutmen individu baru ke dalam populasi serta kematian individu.
2. Setiap subpopulasi mengalami kematian alami dan hanya subpopulasi *heavy users* saja yang mengalami kematian yang diakibatkan oleh ketergantungan narkoba.
3. Individu pada subpopulasi *light users* bertambah karena adanya interaksi antara individu yang rentan dengan penyalah guna tingkat ringan dan penyalah guna tingkat berat yang dipengaruhi oleh faktor ekonomi dan efektifnya penerapan kampanye antinarkoba.
4. Individu pada subpopulasi *light users* berpindah ke subpopulasi *heavy users* karena meningkatnya dosis atau frekuensi pemakaian.

5. Individu pada subpopulasi *light users* dan subpopulasi *heavy users* memiliki peluang untuk masuk ke subpopulasi *treatment*.
6. Pada subpopulasi *treatment* terdapat individu yang gagal menjalani rehabilitasi sehingga kembali ke subpopulasi *light users*.
7. Individu yang telah selesai menjalani program rehabilitasi atau sudah pulih dari ketergantungan narkoba masuk ke subpopulasi *recovered*.
8. Penyalah guna narkoba yang sudah pulih dapat kembali ke subpopulasi *susceptible* (rentan menggunakan narkoba) atau kembali ke subpopulasi *light users* karena individu mengalami kambuh atau *relapse*.

### 3.2.2 Variabel dan Parameter yang Digunakan dalam Model

Berikut variabel dan parameter yang digunakan dalam model penyebaran penyalah guna narkoba dengan faktor ekonomi dan faktor edukasi.

**Tabel 3.1 Daftar Variabel yang Digunakan**

Variabel	Keterangan	Syarat	Satuan
$S(t)$	Jumlah individu rentan menggunakan narkoba pada waktu ke- $t$	$S(t) \geq 0$	Individu
$A(t)$	Jumlah penyalah guna tingkat ringan pada waktu ke- $t$	$A(t) \geq 0$	Individu
$H(t)$	Jumlah penyalah guna tingkat berat pada waktu ke- $t$	$H(t) \geq 0$	Individu
$T(t)$	Jumlah penyalah guna narkoba yang menjalani rehabilitasi pada waktu ke- $t$	$T(t) \geq 0$	Individu
$R(t)$	Jumlah individu pulih dari ketergantungan narkoba pada waktu ke- $t$	$R(t) \geq 0$	Individu

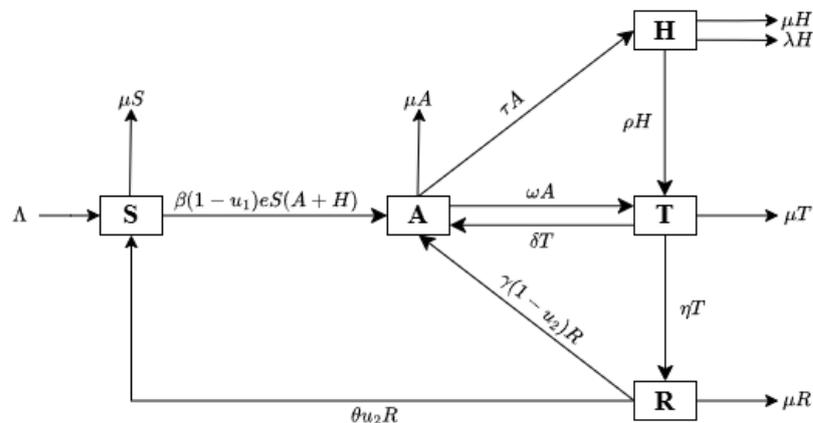
**Tabel 3.2 Daftar Parameter yang Digunakan**

Parameter	Definisi	Syarat
$\Lambda$	Laju rekrutmen individu ke dalam subpopulasi <i>susceptible</i> dengan usia produktif, yaitu 15–64 tahun.	$\Lambda > 0$
$\beta$	Laju kontak efektif antara individu rentan dengan penyalah guna narkoba.	$\beta > 0$

Parameter	Definisi	Syarat
$\mu$	Laju kematian alami individu	$\mu > 0$
$\tau$	Laju perpindahan dari subpopulasi <i>light users</i> menjadi subpopulasi <i>heavy users</i> .	$\tau > 0$
$\lambda$	Laju kematian akibat ketergantungan narkoba.	$\lambda > 0$
$\omega$	Laju perpindahan individu dari subpopulasi <i>light users</i> menjadi subpopulasi <i>treatment</i> .	$\omega > 0$
$\rho$	Laju perpindahan individu dari subpopulasi <i>heavy users</i> menjadi subpopulasi <i>treatment</i> .	$\rho > 0$
$\delta$	Laju perpindahan individu dari subpopulasi <i>treatment</i> menjadi subpopulasi <i>light users</i> .	$\delta > 0$
$\eta$	Laju perpindahan individu dari subpopulasi <i>treatment</i> menjadi subpopulasi <i>recovered</i> .	$\eta > 0$
$\gamma$	Laju perpindahan individu dari subpopulasi <i>recovered</i> menjadi subpopulasi <i>light users</i> .	$\gamma > 0$
$\theta$	Laju perpindahan individu dari subpopulasi <i>recovered</i> menjadi subpopulasi <i>susceptible</i> .	$\theta > 0$
$u_1$	Efektivitas penerapan kampanye antinarkoba	$0 < u_1 < 1$
$u_2$	Efektivitas penerapan penguatan psikologi diri melalui konseling	$0 < u_2 < 1$
$e$	Faktor ekonomi yang memengaruhi penyalahgunaan narkoba	$e > 0$

### 3.2.3 Diagram Model Matematika Dinamika Penyalah Guna Narkoba dengan Faktor Ekonomi dan Faktor Edukasi

Proses penyebaran penyalah guna narkoba dengan faktor ekonomi dan faktor edukasi disajikan dalam diagram pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Model Matematika Dinamika Jumlah Penyalah Guna Narkoba dengan Faktor Ekonomi dan Faktor Edukasi

Berdasarkan diagram pada Gambar 3.1, penjelasan mengenai perubahan jumlah individu dalam setiap subpopulasi adalah sebagai berikut.

1. Banyak individu dalam subpopulasi *susceptible* (S).
  - a. Penambahan banyak individu dipengaruhi oleh
    - i. Laju rekrutmen individu ( $\Lambda$ ), yaitu individu usia produktif 15–64 tahun yang masuk ke dalam subpopulasi *susceptible*.
    - ii. Laju perpindahan individu dari subpopulasi *recovered* menjadi subpopulasi *susceptible* yang dipengaruhi oleh tingginya penerapan penguatan psikologi diri melalui konseling ( $\theta u_2 R$ ).
  - b. Pengurangan banyak individu dipengaruhi oleh
    - i. Laju kontak efektif antara individu rentan dengan penyalah guna narkoba yang dipengaruhi oleh rendahnya efektivitas penerapan kampanye antinarkoba dan faktor ekonomi yang meningkatkan penyalahgunaan narkoba ( $\beta(1 - u_1)eS(A + H)$ ).
    - ii. Laju kematian alami ( $\mu S$ ).

Sehingga diperoleh model matematika untuk laju perubahan subpopulasi *susceptible* (S) terhadap waktu adalah

$$\frac{dS}{dt} = \Lambda - \beta(1 - u_1)eS(A + H) - \mu S + \theta u_2 R$$

2. Banyak individu dalam subpopulasi *light users* (A).
  - a. Penambahan banyak individu dipengaruhi oleh
    - i. Laju kontak efektif antara individu rentan dengan penyalah guna narkoba yang dipengaruhi oleh rendahnya efektivitas penerapan kampanye antinarkoba dan faktor ekonomi yang meningkatkan penyalahgunaan narkoba ( $\beta(1 - u_1)eS(A + H)$ ).
    - ii. Laju perpindahan individu dari subpopulasi *recovered* yang dipengaruhi oleh rendahnya efektivitas penerapan penguatan psikologi diri melalui konseling ( $\gamma(1 - u_2)R$ ).
    - iii. Laju perpindahan individu dari subpopulasi *treatment* menjadi subpopulasi *light users* karena gagal menjalani rehabilitasi atau *dropout* ( $\delta T$ ).
  - b. Pengurangan banyak individu dipengaruhi oleh
    - i. Laju kematian alami ( $\mu A$ )
    - ii. Laju perpindahan individu ke subpopulasi *heavy users* karena meningkatnya dosis atau frekuensi pemakaian ( $\tau A$ ).
    - iii. Laju perpindahan individu ke subpopulasi *treatment* ( $\omega A$ )

Sehingga diperoleh model matematika untuk laju perubahan subpopulasi *light users* (A) terhadap waktu adalah

$$\frac{dA}{dt} = \beta(1 - u_1)eS(A + H) + \gamma(1 - u_2)R + \delta T - (\mu + \tau + \omega)A$$

3. Banyak individu dalam subpopulasi *heavy users* (H).
  - a. Penambahan banyak individu dipengaruhi oleh laju perpindahan individu dari subpopulasi *light users* karena meningkatnya dosis atau frekuensi pemakaian ( $\tau A$ ).
  - b. Pengurangan banyak individu dipengaruhi oleh
    - i. Laju kematian alami ( $\mu H$ )

- ii. Laju kematian akibat ketergantungan narkoba ( $\lambda H$ )
- iii. Laju perpindahan individu ke subpopulasi *treatment* ( $\rho H$ ).

Sehingga diperoleh model matematika untuk laju perubahan subpopulasi *heavy users* (H) terhadap waktu adalah

$$\frac{dH}{dt} = \tau A - (\mu + \lambda + \rho)H$$

4. Banyak individu dalam subpopulasi *treatment* (T).
  - a. Penambahan banyak individu dipengaruhi oleh
    - i. Laju perpindahan individu dari subpopulasi *light users* yang menjalani rehabilitasi ( $\omega A$ ).
    - ii. Laju perpindahan individu dari subpopulasi *heavy users* yang menjalani rehabilitasi ( $\rho H$ ).
  - b. Pengurangan banyak individu dipengaruhi oleh
    - i. Laju kematian alami ( $\mu T$ ).
    - ii. Laju perpindahan individu ke subpopulasi *recovered* karena sudah selesai menjalani rehabilitasi atau pulih dari ketergantungan narkoba ( $\eta T$ ).
    - iii. Laju perpindahan individu ke subpopulasi *light users* karena gagal menjalani rehabilitasi atau *dropout* ( $\delta T$ ).

Sehingga diperoleh model matematika untuk laju perubahan subpopulasi *treatment* (T) terhadap waktu adalah

$$\frac{dT}{dt} = \omega A + \rho H - (\mu + \eta + \delta)T$$

5. Banyak individu dalam subpopulasi *recovered* (R).
  - a. Penambahan banyak individu dipengaruhi oleh laju perpindahan individu dari subpopulasi *treatment* ( $\eta T$ ).
  - b. Pengurangan banyak individu dipengaruhi oleh
    - i. Laju kematian alami ( $\mu R$ ).
    - ii. Laju perpindahan individu ke subpopulasi *light users* yang dipengaruhi oleh rendahnya efektivitas penerapan penguatan psikologi diri melalui konseling ( $\gamma(1 - u_2)R$ ).

- iii. Laju perpindahan individu ke subpopulasi *susceptible* yang dipengaruhi oleh tingginya efektivitas penerapan penguatan psikologi diri melalui konseling ( $\theta u_2 R$ ).

Sehingga diperoleh model matematika untuk laju perubahan subpopulasi *recovered* (R) terhadap waktu adalah

$$\frac{dR}{dt} = \eta T - (\gamma(1 - u_2) + \mu + \theta u_2)R$$

Sehingga sistem persamaan diferensial adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= \Lambda - \beta(1 - u_1)eS(A + H) - \mu S + \theta u_2 R \\ \frac{dA}{dt} &= \beta(1 - u_1)eS(A + H) + \gamma(1 - u_2)R + \delta T - (\mu + \tau + \omega)A \\ \frac{dH}{dt} &= \tau A - (\mu + \lambda + \rho)H \\ \frac{dT}{dt} &= \omega A + \rho H - (\mu + \eta + \delta)T \\ \frac{dR}{dt} &= \eta T - (\gamma(1 - u_2) + \mu + \theta u_2)R \end{aligned} \quad (3.1)$$

### 3.3 Titik Ekuilibrium

Titik ekuilibrium pada model *SAHTR* diperoleh pada kondisi seluruh subpopulasi bernilai nol atau  $\frac{dS}{dt} = 0, \frac{dA}{dt} = 0, \frac{dH}{dt} = 0, \frac{dT}{dt} = 0, \frac{dR}{dt} = 0$ .

#### 3.3.1 Titik Ekuilibrium Bebas Narkoba dan Titik Ekuilibrium Endemik

Titik ekuilibrium bebas narkoba diperoleh ketika tidak ada individu yang menyalahgunakan narkoba atau dengan kata lain tidak ada individu penyalah guna tingkat ringan dan penyalah guna tingkat berat ( $A = 0$  dan  $H = 0$ ). Untuk memenuhi titik ekuilibrium bebas narkoba, substitusi  $A = 0$  dan  $H = 0$  ke seluruh subpopulasi yang bernilai nol. Sedangkan titik ekuilibrium endemik diperoleh ketika masih terdapat penyalah guna narkoba, baik itu tingkat ringan maupun tingkat berat sehingga  $A \neq 0$  dan  $H \neq 0$ .

### 3.4 Analisis Kestabilan Titik Ekuilibrium Bebas Narkoba dan Titik Ekuilibrium Endemik

Analisis kestabilan titik ekuilibrium bebas narkoba dan titik ekuilibrium endemik ditentukan dengan melakukan linearisasi sistem persamaan (3.1) di sekitar titik ekuilibrium. Hasil linearisasi tersebut dinyatakan dalam bentuk matriks Jacobian. Dengan menyelesaikan sistem persamaan karakteristik dari matriks Jacobian, diperoleh nilai eigen yang akan menentukan kestabilan dari setiap titik ekuilibrium.

### 3.5 Bilangan Reproduksi Dasar

Bilangan reproduksi dasar ( $R_0$ ) akan ditentukan menggunakan *next generation matrix*. Pertama, akan diidentifikasi kompartemen-kompartemen dalam model yang merepresentasikan status individu dalam penyebaran penyakit. Kedua, matriks Jacobian dari  $F$  dan  $V$  akan dikonstruksi, di mana  $F_i$  adalah laju munculnya kasus baru yang meningkatkan populasi kompartemen penyakit  $i$  dan  $V_i$  adalah laju penurunan populasi di kompartemen penyakit akibat perkembangan penyakit, kematian, atau pemulihan. Ketiga, *next generation matrix* ( $K$ ) akan dihitung dengan mengalikan  $F$  dan  $V^{-1}$ . Terakhir, bilangan reproduksi dasar ( $R_0$ ) diperoleh dari radius spektral atau nilai terbesar dari nilai eigen. Setelah nilai bilangan reproduksi dasar ( $R_0$ ) ditemukan, jika  $R_0 < 1$  maka banyak penyalah guna narkoba akan berkurang dan akan menghilang. Jika  $R_0 > 1$ , maka banyak penyalah guna narkoba akan bertambah dan dapat menyebar.

### 3.6 Simulasi Numerik

Simulasi numerik dilakukan untuk memahami perilaku dinamika sistem yang telah dimodelkan. Penyelesaian persamaan diferensial akan diselesaikan menggunakan metode Runge-Kutta Fehlberg (RKF45) dengan memanfaatkan nilai awal dan nilai parameter yang telah ditentukan. Simulasi numerik ini dilakukan untuk melihat bagaimana perubahan sistem terhadap berbagai nilai parameter dan hasilnya akan divisualisasikan dalam bentuk grafik.

### **3.7 Validasi dan Interpretasi**

Proses validasi dilakukan dengan verifikasi antara hasil analisa kualitatif model dengan solusi numerik untuk memastikan bahwa model yang digunakan memberikan hasil yang akurat dan relevan. Lalu, interpretasi dilakukan untuk memahami pola penyebaran penyalah guna narkoba dalam suatu populasi dari hasil simulasi dan memahami faktor apa yang paling berpengaruh dalam memperlambat atau mempercepat penyebaran penyalah guna narkoba.

### **3.8 Penarikan Kesimpulan**

Membuat penarikan kesimpulan dari interpretasi solusi yang telah dilakukan agar solusi yang dihasilkan dapat memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai dinamika penyebaran penyalah guna narkoba dalam suatu populasi dan dapat membantu merekomendasikan strategi intervensi untuk mencegah dan mengendalikan penyebaran penyalah guna narkoba.