

Analisis Model Matematika dan Simulasi Penyebaran dan Penanganan Penyalahgunaan Narkoba di Indonesia

Rifki Ristiawan¹, Endaryono², Mahyudi³

^{1,2,3} Department of Informatic, Universitas Indraprasta PGRI, Indonesia

Article Info

Article history:

Received Aug 29, 2024

Revised Jan 28, 2025

Accepted Feb 04, 2025

Keywords:

Mathematical Model

Drugs Abuse

Basic Reproduction Number

ABSTRACT

The increasing abuse of narcotics, psychotropics and other addictive substances is a major problem in Indonesia today. The spread of drugs is increasingly rapid to the point that it can be considered a disaster. This study uses a literature study method with the stages of collecting information, forming assumptions, making compartment flow diagrams and models, finding equilibrium points and basic reproduction numbers and conducting numerical simulations. Mathematical models are made to see the pattern of the spread of drug abuse and are analyzed analytically to determine the existence of an equilibrium point, namely $E^0 = (1,0,0,0,0)$ and $E^* = (s^*, d^*, p^*, r_1^*, r_2^*)$ and its type of stability, and to obtain the basic reproduction number, namely $R_0 = \frac{\alpha\omega}{(\mu+\sigma)(\beta+\mu+\omega)}$. Numerical simulations are carried out to see the distribution pattern in the next few years. From the results of the numerical simulation, the implications obtained are that to suppress the spread of drug abuse, efforts that can be made are to suppress the rate of recruitment of vulnerable classes by dealers and the rate of change of users to become dealers at the same time.

Copyright © 2024 Universitas Indraprasta PGRI.

All rights reserved.

Corresponding Author:

Rifki Ristiawan,

Department of Informatic,

Universitas Indraprasta PGRI,

Jl. Nangka No. 58 C, Tanjung Barat, Jagakarsa, Jakarta Selatan.

Email: rifki2889@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan hasil penelitian United Nations On Drugs and Crime (UNODC), pada tahun 2022 sekitar 284 juta orang atau sekitar 5 persen penduduk dunia adalah pengguna NAPZA, dengan usia antara 15-64 tahun [1]. Dari 284 juta pengguna NAPZA diperkirakan 209 juta merupakan pengguna narkoba, 61 juta pengguna opium, dan 14 juta pengguna obat terlarang lainnya seperti ekstasi, sabu-sabu dan pil psikotropika. Dari hasil penelitian UNODC narkoba merupakan jenis NAPZA yang paling banyak dikonsumsi, di mana dalam 10 tahun terakhir diperkirakan 265 juta orang di seluruh dunia pernah menjadi pecandu narkoba [2].

Dalam awal perkembangannya, narkotika, psikotropika, dan zat adiktif lainnya (NAPZA) dikenal dan dipergunakan manusia untuk mengatasi berbagai masalah kesehatan dan sosial. Namun selain memiliki dampak positif, NAPZA memiliki efek samping yang berdampak negatif bagi kelangsungan hidup pengguna maupun lingkungannya [3]. Penyebab penyalahgunaan NAPZA dipengaruhi oleh faktor internal seperti kepribadian, keluarga dan ekonomi, dan faktor eksternal seperti pergaulan dan sosial masyarakat [4].

Meningkatnya penyalahgunaan narkotika, psikotropika dan bahan adiktif merupakan permasalahan besar di Indonesia saat ini. Penyebaran narkoba semakin berkembang hingga dapat dianggap sebagai sebuah bencana karena peningkatan peredaran narkoba setiap tahun dan peningkatan jumlah kematian akibat narkoba semakin tinggi [5]. Menurut hasil penelitian dan survei Badan Narkotika Nasional (BNN) karena penyalahgunaan Narkoba, rata-rata 50 orang meninggal setiap harinya atau sekitar 18.000 orang setiap

tahunnya. Di Indonesia, terdapat 3,6 juta orang yang menggunakan narkoba, dan 70% di antaranya berusia antara 16 dan 65 tahun [6].

Berdasarkan laporan badan narkotika nasional (BNN) penyalahgunaan narkoba telah mencapai 2,57% atau sekitar 4,8 juta orang dari total populasi penduduk (yang berusia 15-64 tahun), dengan jenis narkoba yang paling banyak digunakan adalah varians ganja [7]. Faktor tingginya penyalahgunaan narkoba di Indonesia diantaranya disebabkan karena geografis yang terbuka menyebabkan narkoba mudah masuk dan menyebar di seluruh wilayah Indonesia, selain itu demografis yang sangat besar (250 juta jiwa) yang menasar bukan hanya orang dewasa dan remaja melainkan juga anak-anak [8]. Menurut WHO efek jangka pendek dari penyalahgunaan narkoba secara psikologis adalah efek euphoria, perasaan relaks dan efek disforik lainnya seperti hilangnya perasaan cemas yang dialami oleh beberapa pengguna. Sedangkan efek Kesehatan jangka Panjang dari penyalahgunaan narkoba adalah ketergantungan. Gangguan kognitif, gangguan mental (psikosis, depresi, kecemasan dan perilaku bunuh diri), dan efek kesehatan fisik seperti penyakit kardiovaskular (CVD), penyakit kronis pada paru-paru dan sistem pernapasan, kanker dan lainnya [9].

Berdasarkan data penyebaran penyalahgunaan narkoba di atas, fokus dalam penelitian ini adalah melakukan pemodelan dan simulasi numerik untuk menemukan faktor apa yang paling berpengaruh dalam penyebaran dan penanganan penyalahgunaan narkoba. Pemodelan matematika merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk memperoleh solusi alternatif dari suatu masalah kehidupan nyata seperti pada penyebaran penyalahgunaan narkoba di Indonesia. Salah satu pemodelan matematika yang dapat digunakan untuk menganalisis pola sebaran dan penanganan penyebaran narkoba di Indonesia adalah model SIR (*Susceptible, Infected and Recovered*). Model SIR seringkali digunakan untuk untuk memprediksi pola sebaran suatu wabah/penyakit yang menyebar pada suatu daerah pada kurun waktu tertentu. [10]. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan model matematika penyebaran dan penanganan penyalahgunaan narkoba di Indonesia. Selain itu, penggunaan software Mathematica 12.2 diharapkan dapat menunjukkan hasil simulasi numerik dari model matematika tersebut sebagai alat bantu untuk interpretasi hasil analisis atau solusi yang didapat.

2. METODE

Penelitian yang dilakukan termasuk dalam bidang penelitian pemodelan dan simulasi. Tinjauan literatur, pengumpulan informasi, analisis model, dan simulasi numerik merupakan langkah-langkah yang dilakukan untuk menetapkan asumsi dan model penyebaran [11]. Tinjauan literatur dilakukan pada tahap pembentukan model untuk mengumpulkan data tentang penyebaran penyalahgunaan narkoba dan pola penanggulangannya. Informasi ini digunakan untuk mengembangkan model matematika yang mengatasi masalah yang ada. Pada tahap ini, diagram alur dibentuk untuk memudahkan dalam membuat persamaan diferensial dari variabel dan parameter yang sudah ditetapkan. Titik kesetimbangan sistem yang terbentuk dan bilangan reproduksi dasar keduanya ditentukan pada tahap analisis model. Dari bilangan reproduksi dasar yang ditemukan, dilihat parameter-parameter yang mempunyai pengaruh terbesar terhadap penyebaran, dan ditentukan parameter-parameter yang akan dikontrol untuk mengendalikan penyebaran. Simulasi numerik kemudian digunakan untuk menentukan nilai parameter model dari model yang dibangun dan dianalisis. Tujuan dari simulasi numerik ini adalah untuk mengamati pola sebaran penyalahgunaan narkoba dalam beberapa tahun ke depan [12].

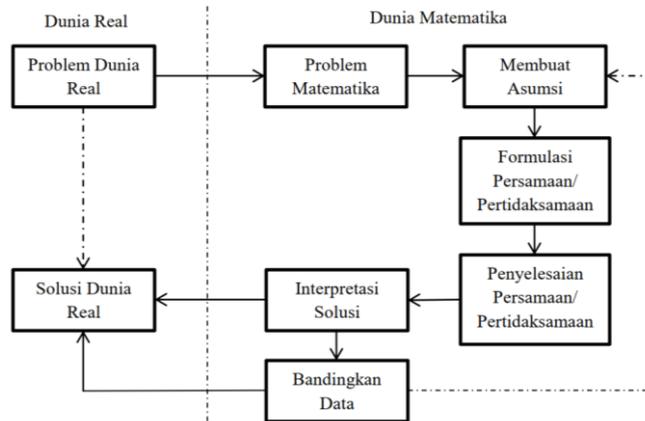
Data yang digunakan yaitu data sekunder, data sekunder adalah data yang diperoleh atau dikumpulkan dari berbagai sumber yang telah ada. Data sekunder dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti Badan Narkotika Nasional (BPS), buku, laporan, jurnal dan lain-lain [13]. Pada penelitian ini data yang digunakan diambil dari laporan BNN tahun 2022. Dari data yang terkumpul dilakukan simulasi numerik terhadap model matematika yang sudah terbentuk menggunakan software Mathematica 12.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Formulasi Model

Model matematika penyebaran penyalahgunaan narkoba dikonstruksi dalam penelitian ini dengan menggunakan pendekatan epidemiologi yang digunakan untuk merepresentasikan dan menjelaskan sistem-sistem fisik atau masalah-masalah pada dunia nyata dalam pernyataan matematik [14] dengan alur seperti pada Gambar 1. Adapun pemodelan penyebaran penyalahgunaan narkoba ini didasari dari studi literatur mengenai penyebaran dan penanganan penyalahgunaan narkoba [15] dan dengan asumsi sebagai berikut:

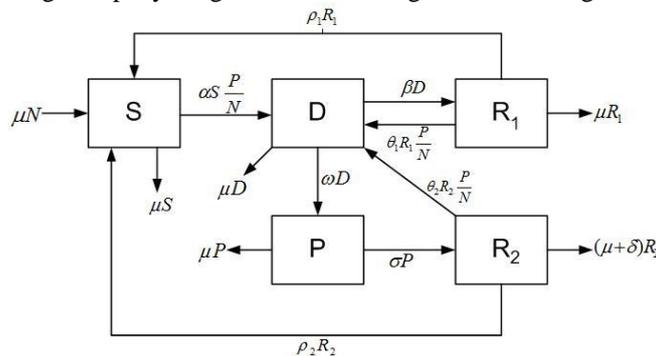
- 1) Populasi dibagi ke dalam 5 kelas, yaitu: kelas *susceptible* atau rentan (S), kelas pemakai narkoba (D), kelas pemakai sekaligus pengedar narkoba (P), kelas rehabilitasi yang dilakukan bagi pemakai narkoba yang dilakukan di lembaga rehabilitasi (R_1), kelas rehabilitasi pengedar sekaligus penyalahguna atau pecandu yang dilakukan dalam rumah tahanan (R_2).



Gambar 1 Proses Pemodelan Matematika

- 2) Laju kelahiran bersifat konstan dan setiap kelahiran dari tiap kelas masuk ke dalam S . Hal ini berdasarkan fakta bahwa setiap individu yang baru lahir belum memiliki kecenderungan untuk menjadi pengguna narkoba meskipun lahir dari orang tua yang merupakan pengguna narkoba.
- 3) Seorang individu pada kelas S akan menjadi seorang pengkonsumsi narkoba (D) bila berinteraksi dengan pemakai yang juga seorang pengedar narkoba (P). Interaksi dengan kelas P akan menyebabkan kelas S mudah mendapatkan narkoba karena individu pada kelas P selalu memiliki narkoba untuk memenuhi kebutuhan dan diedarkan baik secara komersil maupun tidak, sehingga karena pengaruh individu di kelas P individu pada kelas S akan menjadi pemakai narkoba.
- 4) Seorang pemakai (D) bila secara rutin menggunakan narkoba akan sampai pada kondisi ketergantungan. Kondisi ini ditandai oleh dorongan untuk menggunakan Narkotika secara terus menerus dengan takaran yang meningkat agar menghasilkan efek yang sama dan apabila penggunaannya dikurangi dan/atau dihentikan secara tiba-tiba, menimbulkan gejala fisik dan psikis yang khas.
- 5) Dengan bertambahnya frekuensi penggunaan, lama kelamaan akan semakin banyak zat yang diperlukan untuk menciptakan efek euphoria terhadap zat adiktif yang terdapat dalam narkoba. Hal ini akan mengakibatkan berkembangnya toleransi fisik. Sebagai efek dari penggunaan terus menerus narkoba juga dapat menimbulkan ketergantungan psikologis dan emosional. Ketergantungan fisik, emosional dan psikologis secara bersama-sama kemudian didefinisikan sebagai kecanduan narkoba. Sehingga seiring jalannya waktu seorang penyalahguna adalah juga seorang pecandu narkoba.
- 6) Jika proses rehabilitasi berhasil maka individu dalam kelas R_1 akan kembali ke kelas S sama halnya dengan individu pada kelas R_2 baik masih dalam penjara maupun sudah bebas dari jeratan hukum yang ditetapkan. Namun jika proses rehabilitasi tersebut gagal maka individu dalam kelas R_1 dan R_2 akan masuk kembali pada kelas D .
- 7) Kematian alami dapat terjadi pada tiap kelas dengan laju sebesar μ .

Alur penyebaran dan penanganan penyalahgunaan narkoba digambarkan sebagai berikut:



Gambar 2. Alur Penyebaran dan Penanganan Penyalahgunaan narkoba

Parameter-parameter yang digunakan dalam pemodelan penyebaran dan penanganan penyalahgunaan narkoba di Indonesia didasari dari hasil studi literatur dengan melihat pola sebaran yang terjadi. Parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Daftar Parameter

Parameter	Deskripsi
-----------	-----------

α	Laju keberhasilan rekrutmen oleh anggota kelas P terhadap anggota kelas S
β	Laju pengobatan yang dilakukan terhadap anggota kelas D baik karena dorongan diri sendiri maupun lingkungan
ω	Laju perubahan anggota kelas D ke kelas P
σ	Laju keberhasilan aparat dalam melakukan penangkapan terhadap kelas P yang selanjutnya dimasukan ke kelas R_2
θ_1	Laju kekambuhan (relapse) yang dialami anggota kelas R_1 untuk kemudian kembali ke kelas D
θ_2	Laju kekambuhan (relapse) yang dialami anggota kelas R untuk kemudian kembali ke kelas D
ρ_1	Laju keberhasilan rehabilitasi yang dilakukan terhadap anggota kelas R_1
ρ_2	Laju keberhasilan rehabilitasi yang dilakukan terhadap anggota kelas R_2
μ	Laju kelahiran dan kematian alami perkapita
δ	Laju kematian akibat hukuman mati yang dijatuhkan terhadap anggota kelas R_2 dengan kriteria tertentu

Adapun model matematika penyebaran dan penanganan penyalahgunaan narkoba sebagai berikut:

$$\frac{dS}{dt} = \mu N + \rho_1 R_1 + \rho_2 R_2 - \alpha S \frac{P}{N} - \mu S, \quad (1)$$

$$\frac{dD}{dt} = \alpha S \frac{P}{N} + \theta_1 R_1 \frac{P}{N} + \theta_2 R_2 \frac{P}{N} - \beta D - \mu D - \omega D, \quad (2)$$

$$\frac{dP}{dt} = \omega D - \sigma P - \mu P, \quad (3)$$

$$\frac{dR_1}{dt} = \beta D - \theta_1 R_1 \frac{P}{N} - \rho_1 R_1 - \mu R_1, \quad (4)$$

$$\frac{dR_2}{dt} = \sigma P - \theta_2 R_2 \frac{P}{N} - \rho_2 R_2 - \mu R_2 - \delta R_2 \quad (5)$$

dengan $N = S + D + P + R_1 + R_2$

Untuk mempermudah proses analisis model, maka terlebih dahulu dilakukan proses penskalaan pada model (1-5). Perhatikan $\dot{N} = 0$, sehingga N konstan. Misalkan $s = \frac{S}{N}$, $d = \frac{D}{N}$, $p = \frac{P}{N}$, $r_1 = \frac{R_1}{N}$ dan $r_2 = \frac{R_2}{N}$. Model (1-5) dapat diskala menjadi

$$\dot{s} = \mu + \rho_1 r_1 + \rho_2 r_2 - \alpha s p - \mu s, \quad (6)$$

$$\dot{d} = \alpha s p + \theta_1 r_1 p + \theta_2 r_2 p - \beta d - \mu d - \omega d, \quad (7)$$

$$\dot{p} = \omega d - \sigma p - \mu p, \quad (8)$$

$$\dot{r}_1 = \beta d - \theta_1 r_1 p - \rho_1 r_1 - \mu r_1, \quad (9)$$

$$\dot{r}_2 = \sigma p - \theta_2 r_2 p - \rho_2 r_2 - \mu r_2 - \delta r_2 \quad (10)$$

3.2 Analisis Model

Dalam bidang epidemiologi matematika, *basic reproduction number* adalah nilai ambang yang merepresentasikan bagaimana infeksi kedua yang dihasilkan dari interaksi yang terjadi antara seorang individu yang terinfeksi terhadap populasi rentan [16]. Nilai R_0 yang diperoleh dapat mengindikasikan keadaan bagaimana suatu wabah (*epidemic*) mungkin terjadi. Dalam konteks penyalahgunaan narkoba, R_0 menginterpretasikan potensi penularan yang terjadi akibat adanya interaksi antara pengedar sekaligus pemakai narkoba dan kelas rentan, selama masa penyalahgunaannya atau jumlah pengguna narkoba baru per pengedar sekaligus pengguna narkoba. *Basic reproduction number* (R_0) pada model penyebaran narkoba dicari dengan menggunakan metode yang dikembangkan oleh Diekmann [17], *basic reproduction number* pada model ini adalah $\frac{\alpha\omega}{(\mu+\sigma)(\mu+\beta+\omega)}$. Dari *basic reproduction number* yang dapat dilihat bahwa parameter α dan ω adalah parameter yang mempengaruhi penyebaran narkoba, apabila α dan ω semakin besar maka penyebaran narkoba akan semakin jauh meningkat. Parameter σ dan β dalam hal ini merupakan laju penekan penyebaran narkoba, yaitu apabila nilai parameter tersebut di tingkatkan maka penyebaran narkoba akan semakin menurun. Dalam menentukan titik ekuilibrium pada model matematika penyebaran dan penanganan narkoba, terlebih dahulu dicari titik ekuilibrium bebas penyebaran narkoba (E^0) dan titik ekuilibrium endemik narkoba (E^*). Untuk mendapatkan titik ekuilibrium pada model tersebut, tinjau $\dot{s} = \dot{d} = \dot{p} = \dot{r}_1 = \dot{r}_2 = 0$ sehingga diperoleh:

$$s = \frac{\mu + \rho_1 r_1 + \rho_2 r_2}{\mu + \alpha p} \quad (11)$$

$$d = \frac{(\alpha s + \theta_1 r_1 + \theta_2 r_2) p}{\beta + \mu + \omega} \quad (12)$$

$$p = \frac{\omega d}{\mu + \sigma} \quad (13)$$

$$r_1 = \frac{\beta d}{\theta_1 p + \rho_1 + \mu} \quad (14)$$

$$r_2 = \frac{\sigma p}{\theta_2 p + \rho_2 + \mu} \tag{15}$$

Titik ekuilibrium bebas penyebaran narkoba (E^0) diperoleh dengan mengasumsikan tidak adanya individu yang memakai dan mengedarkan narkoba $d = 0, p = 0, r_1 = 0$, dan $r_2 = 0$, Diperoleh titik ekuilibrium bebas penyalahgunaan narkoba $E^0 = (1, 0, 0, 0, 0)$.

Untuk memecahkan masalah model matematika penyebaran dan penanganan penyalahgunaan narkoba, di mana keadaan penyalahgunaan narkoba secara terus menerus mengalami penyebaran dan penanganan, maka ditentukan titik ekuilibrium endemik penyebaran dan penanganan penyalahgunaan narkoba, yaitu $E^* = (s^*, d^*, p^*, r_1^*, r_2^*)$. Titik ekuilibrium endemik adalah titik ekuilibrium saat $d \neq 0$ dan $p \neq 0$ atau kondisi saat penyalahgunaan narkoba menyebar dalam suatu populasi [18].

Langkah awal untuk mengidentifikasi titik ekuilibrium adalah menentukan $s = d = p = r_1 = r_2 = 0$, sehingga dari hasil substitusi dan analisis persamaan (11) – (15) diperoleh :

$$f(p) = kp^3 + lp^2 + mp + n = 0 \tag{16}$$

Dengan

$$\begin{aligned} k &= -\alpha\theta_1\theta_2(\mu + \omega + \sigma), \\ l &= -(\alpha\theta_2 + \theta_1(\alpha + \theta_2))\mu^2 - (\alpha\theta_2(\beta + \sigma + \omega + \rho_1) + \theta_1(\theta_2(\sigma + \omega) + \alpha(\sigma + \omega + \rho_2)))\mu - \\ &\quad \alpha(\sigma\omega\theta_1 + \beta\sigma\theta_2 + \sigma\theta_2\rho_1 + \omega\theta_2\rho_1 + \sigma\theta_1\rho_2 + \omega\theta_1\rho_2 - \omega\theta_1\theta_2) \\ m &= -\theta_2(\mu + \rho_1)((\beta + \mu)(\mu + \sigma) + (\mu - \alpha)\omega) - \alpha(\mu + \sigma)(\mu(\beta + \mu + \omega) + \rho_1(\mu + \omega)) - \\ &\quad \alpha\rho_2((\beta + \mu)(\mu + \sigma) + \mu\omega + \rho_1(\mu + \sigma + \omega)) - \theta_1(\mu + \rho_2)((\mu + \sigma)(\mu + \omega) - \alpha\omega) \\ n &= (\mu + \rho_1)(\mu + \rho_2)(\mu + \sigma)(\beta + \mu + \sigma)(R_0 - 1) \end{aligned}$$

Jika p_1, p_2 dan p_3 adalah solusi untuk persamaan (16), maka berdasarkan sifat perkalian akar polynomial, diperoleh jika $\sigma\omega\theta_1 + \beta\sigma\theta_2 + \sigma\theta_2\rho_1 + \omega\theta_2\rho_1 + \sigma\theta_1\rho_2 + \omega\theta_1\rho_2 - \omega\theta_1\theta_2 > 0$ maka $l < 0$ sehingga dapat disimpulkan bah saat kondisi tersebut persamaan (20) memiliki 1 solusi.

Jika solusi untuk persamaan (16) adalah p^* , maka dapat dicari nilai dari s^*, d^*, r_1^* , dan r_2^* dengan mensubstitusi nilai p^* ke dalam persamaan (11-15). Sehingga diperoleh titik ekuilibrium endemik penyebaran narkoba $E^* = (s^*, d^*, r_1^*, r_2^*)$

Jika ada nilai eigen positif, titik ekuilibrium tidak stabil dan jika semua nilai eigen negatif, maka titik ekuilibrium stabil. Nilai eigen sendiri didapat dari akar persamaan karakteristik suatu matriks Jacobi.

Teorema 1. Jika $R_0 < 1$, maka titik ekuilibrium bebas penyalahgunaan narkoba $E^0 = (1,0,0,0,0)$ stabil asimtotis lokal.

Bukti. Pertama, penentuan matriks Jakobi J dari persamaan (6) - persamaan (10). Berikut adalah matriks Jakobi J model matematika tersebut:

$$J = \begin{bmatrix} -\mu - \alpha p & 0 & -\alpha s & \rho_1 & \rho_2 \\ \alpha p & -\beta - \mu - \omega & \alpha s + \theta_1 r_1 + \theta_2 r_2 & \theta_1 p & \theta_2 p \\ 0 & \omega & -\mu - \sigma & 0 & 0 \\ 0 & \beta & -\theta_1 r_1 & -\theta_1 p - \mu - \rho_1 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma - \theta_2 r_2 & 0 & -\theta_2 p - \mu - \rho_2 \end{bmatrix}$$

dengan mensubstitusikan nilai E^0 , maka diperoleh $J(E^0)$ berikut:

$$J(E^0) = \begin{bmatrix} -\mu & 0 & -\alpha & \rho_1 & \rho_2 \\ 0 & -\beta - \mu - \omega & \alpha & 0 & 0 \\ 0 & \omega & -\mu - \sigma & 0 & 0 \\ 0 & \beta & 0 & -\mu - \rho_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\mu - \delta - \rho_2 \end{bmatrix}$$

Untuk mendapatkan nilai eigen λ dari matriks $J(E^0)$, digunakan persamaan $(\lambda I - J(E^0)) = 0$, sehingga dari $\det[\lambda I - J(E^0)] = 0$ diperoleh persamaan karakteristik berikut:

$$(\lambda + \mu)(\lambda + \mu + \rho_1)(\lambda + \mu + \delta + \rho_2)(\lambda^2 + (\beta + 2\mu + \omega + \sigma)\lambda + (\mu + \sigma)(\beta + \mu + \omega)(1 - R_0)) = 0 \tag{21}$$

dari persamaan (21) didapat jika $R_0 < 1$ maka semua akarnya bernilai negatif. Hal ini berarti bahwa sistem tersebut stabil asimptotik lokal pada titik E^0 .

Konjektur. Jika $R_0 > 1$, maka titik ekuilibrium $E^* = (s^*, d^*, p^*, r_1^*, r_2^*)$ stabil asimtotis lokal.

Untuk menunjukkan bahwa titik ekuilibrium $E^* = (s^*, d^*, p^*, r_1^*, r_2^*)$ stabil asimtotis lokal, dalam penelitian ini dilakukan pendekatan simulasi numerik. Dari hasil simulasi numerik terlihat bahwa jika $R_0 > 1$, maka $E^* = (s^*, d^*, p^*, r_1^*, r_2^*)$ stabil asimtotis lokal.

3.3 Simulasi Numerik

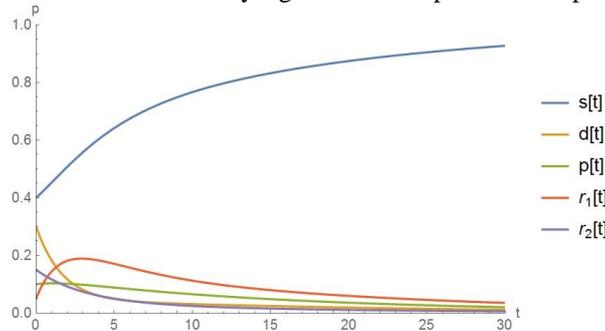
Simulasi numerik yang dilakukan menggunakan data pada Tabel 2 dan Tabel 3, untuk simulasi ini dilakukan beberapa simulasi untuk nilai awal yang berbeda. Di samping itu akan dibagi menjadi beberapa kasus untuk melihat kesesuaian hasil simulasi numerik dengan analisis yang telah dilakukan terhadap titik ekuilibrium.

3.3.1 Saat $R_0 < 1$

Tabel 2: Nilai parameter

Parameter	Nilai	Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
μ	0,01	θ_1	0,1	σ	0,075
α	0,3	θ_2	0,01	ρ_1	0,2
β	0,5	ω	0,05	ρ_2	0,3

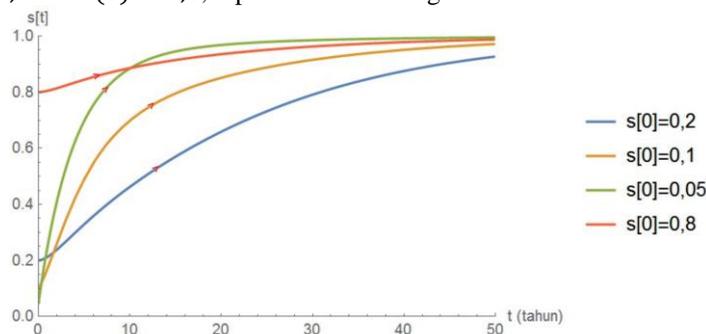
Untuk data tersebut nilai $R_0 = 0,315$, untuk simulasi ini dilakukan beberapa simulasi untuk nilai awal yang berbeda. Di samping itu, dibagi menjadi beberapa kasus untuk melihat kesesuaian hasil simulasi numerik dengan analisis yang telah dilakukan terhadap titik ekuilibrium. Adapun syarat awal dari simulasi numerik yang dilakukan adalah $s(0) = 0,4, d(0) = 0,3, p(0) = 0,1, r_1(0) = 0,05, r_2(0) = 0,15$, dalam kurun waktu 30 tahun. Adapun hasil simulasi numerik yang dilakukan seperti terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Dinamik model saat $R_0 < 1$

Pada Gambar 3, terlihat bahwa dari hasil simulasi numerik untuk $R_0 < 1$ yang dilakukan menunjukkan adanya kecenderungan dari sistem menuju titik ekuilibrium bebas penyalahgunaan narkoba E^0 . Hal ini sesuai dengan analisis kestabilan yang telah dilakukan bahwa titik ekuilibrium bebas penyalahgunaan narkoba E^0 stabil asimtotis lokal untuk $R_0 < 1$.

Dengan menggunakan nilai parameter seperti pada Tabel 2 dan melakukan perubahan pada nilai awal $s(0)$, semakin jelas terlihat pada Gambar 4 bahwa nilai s menuju 1. Adapun nilai awal yang dipilih adalah $s(0) = 0,05; s(0) = 0,1; s(0) = 0,2$ dan $s(0) = 0,8$, diperoleh hasil sebagai berikut:



Gambar 4. Dinamik kelas s untuk $R_0 < 1$

Dari Gambar 4, terlihat bahwa dari beberapa nilai awal berbeda yang diberikan, nilai s menuju 1. Hal ini berarti bahwa seiring dengan jalannya waktu, seluruh populasi masuk ke dalam kelas s sebagai kelas rentan yang berarti bahwa tidak terdapat lagi individu yang menyalahgunakan narkoba

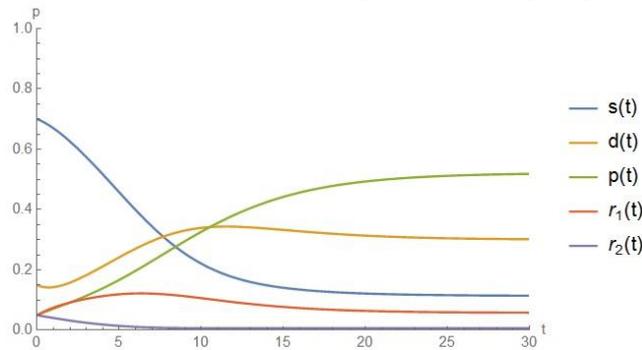
3.3.2 Saat $R_0 > 1$

Tabel 3. Nilai Parameter

Parameter	Nilai	Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
-----------	-------	-----------	-------	-----------	-------

μ	0,1	θ_1	2,8	σ	0,015
α	1,5	θ_2	1,95	ρ_1	0,005
β	0,3	ω	0,2	ρ_2	0,01

Untuk nilai parameter seperti yang tercantum pada Tabel 3 yang diambil secara acak, dimana pada kondisi ini $R_0 = 4,3478$ dan diperoleh hasil simulasi numerik yang berbeda. Dengan memberikan nilai awal tertentu, dinamika sistem suatu model matematika penyebaran dan penanganan penyalahgunaan narkoba mengarah apada titik ekuilibrium lainnya, yaitu E^* . Pada kasus ini terlihat bahwa penyebaran penyalahgunaan narkoba terjadi secara ekstrim. Dalam kurun waktu tertentu, jumlah individu pada kelas d dan p mengalami peningkatan yang cukup tinggi. Adapun syarat awal simulasi numerik dalam kurun waktu 50 tahun adalah $s(0) = 0,7, d(0) = 0,15, p(0) = 0,05, r_1(0) = 0,05$ dan $r_2(0) = 0,05$. Diperoleh hasil seperti pada Gambar 5.



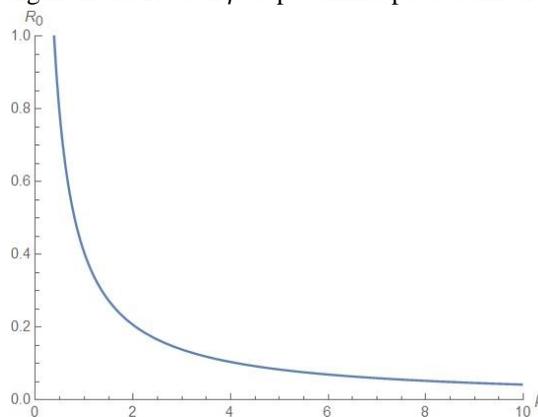
Gambar 5. Dinamik model saat $R_0 > 1$

Gambar 5 menunjukkan bahwa seiring dengan jalannya waktu, jumlah individu pada kelas d dan kelas p mengalami peningkatan yang cukup tinggi dalam rentang waktu kurang dari 10 tahun dan stabil menuju titik tetapnya pada kurun waktu lebih dari 30 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa setelah melewati 10 tahun, penyebaran penyalahgunaan narkoba terjadi secara ekstrim, kejadian ini dimungkinkan jika proses perekrutan yang dilakukan oleh penganal sekaligus pengonsumsi narkoba (p) selalu berhasil dilakukan dengan nilai laju perekrutan yang tinggi.

Proses keberhasilan perekrutan yang dilakukan oleh penganal (p) juga tidak diimbangi oleh besarnya laju rehabilitasi yang dilakukan oleh anggota kelas d dan penangkapan terhadap kelas p yang merupakan bentuk penanganan dini terhadap anggota kelas d sebagai pemakai narkoba. Pada kasus demikian, peralihan anggota dari kelas s dan kelas d ke kelas p akan semakin cepat sedemikian sehingga jumlah anggota kelas s akan berkurang secara ekstrim.

3.4 Penanganan Penyalahgunaan narkoba

Dalam pemodelan ini, telah diperoleh *basic reproduction number* (R_0) yaitu $\frac{\alpha\omega}{(\mu+\sigma)(\mu+\beta+\omega)}$ nilai ini dapat dijadikan acuan untuk menganalisis penyebaran penyalahgunaan narkoba serta menentukan upaya apa yang dapat dilakukan untuk menguranginya. Dari R_0 yang diperoleh dapat dianalisis bahwa penyebaran penyalahgunaan narkoba akan semakin tinggi jika laju rekrutmen kelas rentan oleh penganal (α) dan laju perubahan pemakai menjadi sekaligus penganal (ω) semakin meningkat. Dan sebaliknya, upaya yang dapat dilakukan untuk menekan peredaran penyalahgunaan narkoba adalah meningkatkan laju rehabilitasi terhadap pemakai (β) dan penangkapan terhadap penganal narkoba (σ), dengan kata lain β dan σ memiliki pengaruh yang sama terhadap R_0 . Hubungan antara R_0 dan β dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Hubungan Antara R_0 dan β

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa jika nilai β semakin tinggi, maka nilai R_0 yang dihasilkan akan semakin rendah. Selain itu, bila dilihat dari alur dan model matematika penyebaran dan penanganan penyalahgunaan narkoba pada Gambar 1, diketahui kualitas rehabilitasi juga mempengaruhi penyebaran penyalahgunaan narkoba, karena rehabilitasi yang dilakukan dapat menentukan apakah seorang individu nantinya dapat sembuh dan masuk kembali ke kelas rentan atau menjadi pemakai narkoba kembali. Dengan kata lain, jika ρ_1 dan ρ_2 memiliki nilai yang lebih besar dari θ_1 dan θ_2 maka ini mengindikasikan bahwa rehabilitasi yang dilakukan berhasil, dan sebaliknya.

4. PENUTUP

Pada artikel ini model penyebaran dan penanganan penyalahgunaan narkoba di Indonesia telah dikonstruksi. Kajian analitik yang dilakukan adalah analisis titik kesetimbangan bebas penyebaran dan endemik, dan penentuan bilangan reproduksi dasar R_0 . Dan sudah dilakukan simulasi numerik untuk melihat pengaruh beberapa parameter terhadap penyebaran dan penanganan narkoba. Dari model tersebut diperoleh penyelesaian berupa titik ekuilibrium bebas penyalahgunaan ganja $E^0 = (1, 0, 0, 0, 0)$, dan titik ekuilibrium endemik atau penyalahgunaan ganja $E^* = (s^*, d^*, p^*, r_1^*, r_2^*)$. Titik ekuilibrium E^0 bersifat stabil asimptotis lokal untuk $R_0 < 1$, dan Dari hasil simulasi numerik yang dilakukan, titik ekuilibrium E^* terindikasi bersifat stabil asimptotis lokal untuk $R_0 > 1$. Dari R_0 yang diperoleh dapat disimpulkan bahwa penyebaran penyalahgunaan narkoba akan semakin tinggi jika laju rekrutmen kelas rentan oleh pengedar (α) dan laju perubahan pemakai menjadi sekaligus pengedar (ω) semakin meningkat. Dan sebaliknya, rekomendasi kebijakan yang dapat dilakukan untuk menekan peredaran penyalahgunaan narkoba adalah dengan meningkatkan laju rehabilitasi terhadap pemakai (β) dan penangkapan terhadap pengedar narkoba (σ), dengan kata lain β dan σ memiliki pengaruh yang sama terhadap R_0 . Selain itu, bila dilihat dari alur dan model matematika penyebaran dan penanganan penyalahgunaan narkoba, diketahui kualitas rehabilitasi juga mempengaruhi penyebaran penyalahgunaan narkoba, karena rehabilitasi yang dilakukan dapat menentukan apakah seorang individu nantinya dapat sembuh dan masuk kembali ke kelas rentan atau menjadi pemakai narkoba kembali. Dengan kata lain, jika ρ_1 dan ρ_2 memiliki nilai yang lebih besar dari θ_1 dan θ_2 maka ini mengindikasikan bahwa rehabilitasi yang dilakukan berhasil, dan sebaliknya. Penelitian ini memberikan hasil berupa model awal dan simulasi dasar dalam penyebaran dan penanganan narkoba di Indonesia, penelitian lanjutan yang dapat dilakukan adalah menganalisis jenis kestabilan pada titik ekuilibrium yang diperoleh dan menganalisis suatu tindakan atau parameter lain yang dapat ditambahkan untuk menekan penyebaran narkoba secara lebih efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] UNODC, "UNODC World Drug Report 2022 highlights trends on cannabis post-legalization, environmental impacts of illicit drugs, and drug use among women and youth," *UNODC*, 2022. <https://www.unodc.org/unodc/frontpage/2022/June/unodc-world-drug-report-2022-highlights-trends-on-cannabis-post-legalization--environmental-impacts-of-illicit-drugs--and-drug-use-among-women-and-youth.html> (accessed Feb. 01, 2023).
- [2] UNODC, *Global Overview: Drug Demand*. 2022. [Online]. Available: https://www.unodc.org/unodc/en/data-and-analysis/wdr-2022_booklet-2.html
- [3] P. Simanungkalit, *Globalisasi Peredaran Narkoba dan Penyalahgunaannya di Indonesia*, 5th ed. Jakarta: Yayasan Wajar Hidup, 2021.
- [4] M. P. AMANDA, S. HUMAEDI, and M. B. SANTOSO, "Penyalahgunaan Narkoba Di Kalangan Remaja (Adolescent Substance Abuse)," *Pros. Penelit. dan Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 4, no. 2, pp. 339–345, 2020, doi: 10.24198/jppm.v4i2.14392.
- [5] D. R. Y. Dwi, "Bahaya Penyalahgunaan Narkoba Terhadap Kesehatan Masyarakat," *J. Pengabd. Kpd. Masy. Abdi Putra*, vol. 3, no. 1, pp. 1–6, 2023, doi: 10.52005/abdiputra.v3i1.111.
- [6] Soeselo, "Narkoba dan Peredarannya yang Tak Kunjung Reda," 2022. <https://rsudsoeselo.tegalkab.go.id/berita/narkoba-dan-peredarannya-yang-tak-kunjung-reda> (accessed Jun. 20, 2024).
- [7] dan I. B. N. N. Pusat Penelitian, Data, "Indonesia Drugs Report," *Paper Knowledge. Toward a Media History of Documents*, vol. 5, no. 2. pp. 40–51, 2022.
- [8] V. L. D. Pasaribu, Agrasadya, Nina Shabrina, and Krisnaldy, "Bahaya Narkoba dan Strategi Pencegahannya," *J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 1, no. 1, pp. 177–180, 2020.
- [9] W. M. R. V. P. Hall, "The Health and Social Effects of Nonmedical Cannabis Use," *Who*, pp. 1–72, 2020, [Online]. Available: http://www.who.int/substance_abuse/publications/cannabis_report/en/index5.html
- [10] L. I. Setiawan and S. Mungkasi, "Penyelesaian Model Epidemi SIR Menggunakan Metode Runge-Kutta Orde Empat Dan Metode Adams-Bashforth-Moulton," vol. 18, no. 2, pp. 55–61, 2021.

- [11] R. Ristiawan and A. U. Solihah, "Model Matematika pada Penyebaran Penyakit Covid-19 dengan Pengaruh Vaksinasi di DKI Jakarta," *Fakt. Exacta*, vol. 15, no. 4, pp. 234–242, 2022, doi: 10.30998/faktorexacta.vx3ix.xxxx.
- [12] R. Ristiawan, F. Wahyudi, and N. Selvia, "Analisis Model Matematika dan Simulasi Pada Penyebaran Hepatitis Non HepA-E Akut di Indonesia," *Fakt. Exacta*, vol. 16, no. 4, pp. 323–331, 2024, doi: 10.30998/faktorexacta.v16i4.19670.
- [13] S. F. Rinaldi and B. Mujianto, *Metodologi Penelitian dan Statistik*, 3rd ed. Jakarta: Pusat Pendidikan SDM Kesehatan, 2022.
- [14] Widowati and Sutimin, *Buku Ajar Pemodelan Matematika*. Semarang: FMIPA Universitas Diponegoro, 2020.
- [15] Badan Narkotika Nasional, "Tata Cara Penanganan Tersangka Dan Terdakwa Pecandu Narkotika Dan Korban Penyalahgunaan Narkotika," 2020. <https://batamkota.bnn.go.id/tata-cara-penanganan-tersangka-dan-terdakwa-pecandu-narkotika-dan-korban-penyalahgunaan-narkotika/> (accessed Jun. 20, 2024).
- [16] J. Giesecke, *Modern Infectious Disease Epidemiology Fourth Edition*. New York: Taylor & Francis Group, 2021.
- [17] O. Diekmann, J. A. P. Heesterbeek, and J. A. J. Metz, "On the definition and the computation of the basic reproduction ratio R_0 in models for infectious diseases in heterogeneous populations," *J. Math. Biol.*, vol. 28, no. 4, pp. 365–382, 2022, doi: 10.1007/BF00178324.
- [18] N. B. Andres David B, "On Equilibria Stability in an Epidemiological SIR Model with Recovery-dependent Infection Rate," 2020, doi: 10.5540/tema.2020.021.03.0409.