

## Penerapan Kontrol Optimal pada Model Matematika Penyebaran Pengguna Narkoba dengan Aspek Edukasi dan Tindak Pidana

### *Application of Optimal Control on Mathematical Model of Drug Distribution with Education and Criminal Law Aspect*

Merry Yulianti Padja<sup>1</sup>, Annisa Rahmita Soemarsono<sup>1\*</sup>), Irma Fitria<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Program Studi Matematika, Jurusan Matematika dan Teknologi Informasi, Institut Teknologi Kalimantan*

<sup>2</sup>*Program Studi Statistika, Jurusan Matematika dan Teknologi Informasi, Institut Teknologi Kalimantan*

\*E-mail: annisarahmitas@lecturer.itk.ac.id

#### ABSTRACT

Drugs are substances that, when used, can impact the body, particularly the central nervous system/brain. Prolonged drug use can lead to various disorders affecting physical, psychological, and social functioning. Generally, drug use cases occur among teenagers due to a lack of education and low literacy levels about the dangers of drug. In this study, control efforts by modeling the problem of drug use will be studied. In this study, modeling the problem of drug users with control efforts will be studied. There were additional controls for preventing drug abuse through school education, contact prevention through security and healthy living campaigns, and the procedures to report all drug abuse activities. The Pontryagin Minimum Principle is used to show that the optimal controls influence the level of drug user distribution.

**Keywords:** Drug user, optimal control, pontryagin minimum principle.

#### PENDAHULUAN

*Sustainable Development Goal's (SDGs)* poin ketiga yaitu aspek kesehatan dan kesejahteraan yang baik, menjelaskan bahwa tujuan dari pembangunan berkelanjutan adalah untuk memastikan kualitas hidup sehat dan meningkatkan kesejahteraan seluruh warga, dari segala rentang usia (Wahyuningsih, 2018). Dalam rangka mencapai kehidupan yang sehat dan sejahtera pada tahun 2030, telah ditetapkan 13 tujuan yang akan diukur melalui 50 indikator. Salah satu indikator yang berfokus pada aspek kesehatan dan kesejahteraan yang baik adalah peningkatan upaya pencegahan dan perawatan terhadap penyalahgunaan zat, termasuk penggunaan narkoba dan alkohol yang berbahaya. Di sisi lain transformasi dan arus global merupakan suatu tantangan yang dihadapi oleh setiap negara, termasuk Indonesia. Hampir semua barang, modal, teknologi, pengetahuan, kejahatan, ideologi, dan hal lainnya saat ini bergerak dengan cepat melintasi batas negara karena arus globalisasi (Ermawan, 2017). Oleh karena itu, untuk mencapai stabilitas ekonomi dan pertumbuhan yang berkelanjutan, negara telah membuka pintu bagi partisipasi negara lain dalam pasar domestik. Meskipun keterbukaan dan kebebasan ini diharapkan membawa manfaat, namun juga menyebabkan dampak negatif

seperti meningkatnya perdagangan ilegal narkoba, psikotropika, dan obat-obat terlarang yang lebih dikenal dengan sebutan narkoba, yang berperan merusak pasar melalui berbagai kejahatan pasar gelap (Herindrasti, 2018). Fenomena penggunaan narkoba tentu berpotensi mengancam pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan nomor tiga, yaitu menjamin kehidupan yang sehat dan meningkatkan kesejahteraan bagi semua orang pada segala usia.

Data dari Badan Narkotika Nasional (BNN) menyatakan narkoba menduduki peringkat ke-20 sebagai penyebab kematian di dunia, dan peringkat ke-10 sebagai penyebab kematian di negara berkembang termasuk Indonesia. Dalam artikel [bnn.go.id](http://bnn.go.id) (2019) Menteri Koordinator Bidang Politik, Hukum, dan Keamanan, Wiranto, dengan tegas menyatakan bahwa narkoba menjadi ancaman paling serius bagi Indonesia saat ini, dengan 30 orang rakyat Indonesia meninggal setiap harinya akibat narkoba. Selain itu, Badan Narkotika Nasional (BNN) juga melaporkan bahwa pada tahun 2022 terdapat 851 kasus penggunaan narkoba di Indonesia. Jumlah tersebut mengalami peningkatan sebesar 11,1% jika dibandingkan dengan tahun sebelumnya yang mencapai 766 kasus. Selain itu, jumlah tersangka dalam kasus narkoba sepanjang tahun 2022 mencapai 1.350 orang, mengalami peningkatan sebesar 14,02%

dari tahun 2021 yang tercatat sebanyak 1.184 orang (bnn.go.id, 2022). Kepala Badan Narkotika Nasional menyebutkan bahwa pengguna narkoba dikalangan remaja mengalami peningkatan sekitar 24 hingga 28 persen dengan rentang usia pengguna narkoba 15-64 tahun yang merupakan usia produktif (Putri, 2020). Maraknya kasus narkoba pada generasi muda ini menimbulkan kekhawatiran bagi masyarakat. Kehadiran narkoba sebagai kejahatan ekstrem membawa ancaman serius terhadap stabilitas pembangunan sosial suatu masyarakat dan bangsa. Selain itu, ancaman narkoba juga menjadi salah satu alat *proxy war* yang berpotensi merusak bonus demografi suatu negara. Bonus demografi adalah situasi di mana populasi usia produktif lebih banyak daripada usia non-produktif. Oleh karena itu, Indonesia, yang diproyeksikan akan mengalami bonus demografi pada tahun 2030, harus meningkatkan kesadaran tentang bahaya narkoba.

Kontrol optimal pada penyebaran pengguna narkoba bertujuan untuk menentukan strategi yang optimal dengan menggunakan tindakan pengendalian. Pada penelitian ini akan dibahas konstruksi model matematika yang merujuk pada model matematika transmisi narkoba dengan edukasi keluarga dan kesehatan masyarakat Jun Li & Mingju Ma (2018) dengan pemberian variabel kontrol berupa pendidikan wajib terkait bahaya narkoba di sekolah, kampanye keamanan dan hidup sehat, dan sosialisasi tentang ajakan untuk melaporkan segala kegiatan penggunaan narkoba. Selain itu, merujuk pada model matematika penggunaan narkoba pada waktu diskrit (Labzai *et al.*, 2020) subpopulasi pengguna narkoba berat kemudian dibagi menjadi pengguna berat yang mempengaruhi individu lain (pedegar) dan pengguna berat yang tidak mempengaruhi individu lain. Berdasarkan penjelasan sebelumnya, penelitian yang akan dilakukan berjudul "Kontrol Optimal dalam Model Matematika Penyebaran Pengguna Narkoba dengan aspek Edukasi dan Tindak Pidana." Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah Prinsip Minimum Pontryagin dan Runge-Kutta orde 4.

**METODE**

**Studi Literatur**

Tahapan penelitian ini diawali dengan identifikasi masalah dan studi literatur dari beberapa sumber yakni skripsi, jurnal ilmiah, buku, serta penelitian yang berkaitan dengan masalah pengendalian dalam

fenomena sosial seperti kasus pengguna narkoba dan tindak pidana bagi pengguna narkoba.

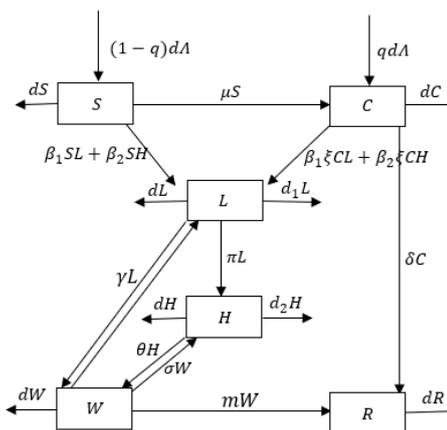
**Formulasi Kontrol Optimal**

Kontrol optimal bertujuan untuk menentukan hasil paling optimal dengan memperhatikan kondisi dan kendala yang ada pada sistem. Sistem yang digunakan dalam masalah kontrol optimal dapat dinyatakan dalam berbagai bentuk persamaan seperti persamaan diferensial biasa, persamaan diferensial parsial, persamaan diskrit, persamaan diferensial stokastik, dan lain-lain. Dalam penelitian ini, permasalahan kontrol optimal diselesaikan dengan memanfaatkan tiga variabel kontrol, yaitu pendidikan bahaya narkoba di sekolah ( $u_1$ ), kampanye keamanan dan hidup sehat ( $u_2$ ), dan sosialisasi tata cara pelaporan kegiatan penggunaan narkoba ( $u_3$ ). Tujuan dari pemberian kontrol tersebut adalah untuk meminimumkan individu pengguna narkoba ringan maupun berat, dengan biaya yang optimal. Secara matematis, peminimuman fungsi tujuan ( $min J$ ) tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\min J = \frac{1}{2} \int_{t_0}^{t_f} [C_1 I_L^2 + C_2 I_H^2 + C_3 u_1^2 + C_4 u_2^2 + C_5 u_3^2] dt.$$

dengan  $I_L$  adalah subpopulasi pengguna narkoba ringan dan  $I_H$  adalah subpopulasi pengguna narkoba berat. Waktu awal direpresentasikan oleh notasi  $t_0$ , sedangkan waktu akhir digambarkan sebagai  $t_f$ . Parameter  $C_i$  merupakan bobot yang berfungsi sebagai penyeimbang dalam fungsi biaya, dimana  $C_i > 0$  untuk setiap  $i = 1, 2, \dots, 5$ .

Berikut merupakan diagram kompartemen model matematika pengguna narkoba menurut penelitian Jun Li & Mingju Ma (2018).



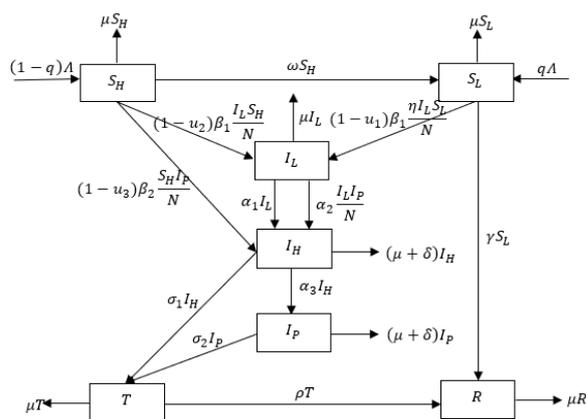
Gambar 1. Diagram Kompartemen Model Matematika Transmisi Narkoba

dengan variabel  $S$  menyatakan subpopulasi individu rentan narkoba yang tidak mendapatkan edukasi kesehatan masyarakat,  $C$  subpopulasi individu rentan narkoba yang mendapatkan edukasi kesehatan masyarakat,  $L$  subpopulasi pengguna

narkoba ringan,  $H$  subpopulasi pengguna narkoba berat,  $W$  subpopulasi pengguna narkoba yang mendapatkan penanganan dan  $R$  subpopulasi individu yang berhenti menggunakan narkoba secara permanen.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berdasarkan model referensi sebelumnya, maka dibentuk model penyebaran pengguna narkoba dengan aspek edukasi dan tindak pidana adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Diagram Kompartemen Model Matematika Penyebaran Pengguna Narkoba

Model penyebaran narkoba dengan pengaruh pemberian pendidikan bahaya narkoba di sekolah, kampanye keamanan dan hidup sehat, dan sosialisasi tata cara pelaporan kegiatan penggunaan narkoba adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{dS_H}{dt} &= (1-q)\Lambda - \beta_1(1-u_2)\frac{S_H I_L}{N} - \beta_2(1-u_3)\frac{S_H I_P}{N} - (\mu + \omega)S_H \\ \frac{dS_L}{dt} &= q\Lambda + \omega S_H - \beta_1(1-u_1)\frac{\eta S_L I_L}{N} - (\mu + \gamma)S_L \\ \frac{dI_L}{dt} &= \beta_1(1-u_2)\frac{S_H I_L}{N} + \beta_1(1-u_1)\frac{\eta S_L I_L}{N} - \alpha_2\frac{I_L I_P}{N} - (\alpha_1 + \mu)I_L \\ \frac{dI_H}{dt} &= \beta_2(1-u_3)\frac{S_H I_P}{N} + \alpha_1 I_L + \alpha_2\frac{I_L I_P}{N} - (\alpha_3 + \sigma_1 + \mu + \delta)I_H \\ \frac{dI_P}{dt} &= \alpha_3 I_H - (\sigma_2 + \mu + \delta)I_P \\ \frac{dT}{dt} &= \sigma_1 I_H + \sigma_2 I_P - (\mu + \rho)T \end{aligned}$$

$$\frac{dR}{dt} = \rho T + \gamma S_L - \mu R$$

dimana variabel penelitian yang digunakan ialah sebagai berikut (soleh, 2018):

Tabel 1 Variabel Penelitian

Variabel	Definisi
$S_H(t)$	Subpopulasi individu rentan tinggi pada waktu ke- $t$ ,
$S_L(t)$	Subpopulasi individu rentan rendah pada waktu ke- $t$ ,
$I_L(t)$	Subpopulasi pengguna narkoba ringan pada waktu ke- $t$ ,
$I_H(t)$	Subpopulasi pengguna narkoba berat pada waktu ke- $t$ ,
$I_P(t)$	Subpopulasi pengguna narkoba berat dan peddler pada waktu ke- $t$ ,
$T(t)$	Subpopulasi pengguna narkoba yang mendapat tindak pidana pada waktu ke- $t$ ,
$R(t)$	Subpopulasi yang berhenti menggunakan narkoba waktu ke- $t$ ,

Berdasarkan permasalahan pada penelitian ini dibentuk fungsi Hamiltonian sebagai berikut:

$$H = V(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t) + \lambda'(t)f(\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t)$$

$$H = \frac{1}{2} [C_1 I_L^2 + C_2 I_H^2 + C_3 u_1^2 + C_4 u_2^2 + C_5 u_3^2]$$

$$\begin{aligned} &+ \lambda_1 \left( (1-q)\Lambda - \beta_1(1-u_2)\frac{S_H I_L}{N} - \beta_2(1-u_3)\frac{S_H I_P}{N} - (\mu + \omega)S_H \right) \\ &+ \lambda_2 \left( q\Lambda + \omega S_H - \beta_1(1-u_1)\frac{\eta S_L I_L}{N} - (\mu + \gamma)S_L \right) \\ &+ \lambda_3 \left( \beta_1(1-u_2)\frac{S_H I_L}{N} + \beta_1(1-u_1)\frac{\eta S_L I_L}{N} - \alpha_2\frac{I_L I_P}{N} - (\alpha_1 + \mu)I_L \right) \\ &+ \lambda_4 \left( \beta_2(1-u_3)\frac{S_H I_P}{N} + \alpha_1 I_L + \alpha_2\frac{I_L I_P}{N} - (\alpha_3 + \sigma_1 + \mu + \delta)I_H \right) \\ &+ \lambda_5 (\alpha_3 I_H - (\sigma_2 + \mu + \delta)I_P) \\ &+ \lambda_6 (\sigma_1 I_H + \sigma_2 I_P - (\mu + \rho)T) \\ &+ \lambda_7 (\rho T + \gamma S_L - \mu R) \end{aligned}$$

Kemudian diperoleh nilai kontrol optimal  $u_1(t)$ ,  $u_2(t)$  dan  $u_3(t)$  menggunakan Prinsip Minimum Pontryagin adalah sebagai berikut:

$$u_1^* = \min \left\{ 1, \max \left\{ 0, \frac{(\lambda_3 - \lambda_2)\beta_1\eta S_L I_L}{C_3 N} \right\} \right\}$$

$$u_2^* = \min \left\{ 1, \max \left\{ 0, \frac{(\lambda_3 - \lambda_1)\beta_1 S_H I_L}{C_4 N} \right\} \right\}$$

$$u_3^* = \min \left\{ 1, \max \left\{ 0, \frac{(\lambda_4 - \lambda_1)\beta_2 S_H I_P}{C_5 N} \right\} \right\}$$

Selanjutnya, diperoleh hasil persamaan state dan costate yang optimal secara berturut-turut, yaitu:

$$\begin{aligned} \dot{S}_H^*(t) &= (1-q)\Lambda - \beta_1(1-u_2^*)\frac{S_H I_L}{N} - \beta_2(1-u_3^*)\frac{S_H I_P}{N} - (\mu + \omega)S_H, \\ \dot{S}_L^*(t) &= q\Lambda + \omega S_H - \beta_1(1-u_1^*)\frac{\eta S_L I_L}{N} - (\mu + \gamma)S_L, \\ \dot{I}_L^*(t) &= \beta_1(1-u_2^*)\frac{S_H I_L}{N} + \beta_1(1-u_1^*)\frac{\eta S_L I_L}{N} - \alpha_2\frac{I_L I_P}{N} - (\alpha_1 + \mu)I_L, \\ \dot{I}_H^*(t) &= \beta_2(1-u_3^*)\frac{S_H I_P}{N} + \alpha_1 I_L + \alpha_2\frac{I_L I_P}{N} - (\alpha_3 + \sigma_1 + \mu + \delta)I_H, \\ \dot{I}_P^*(t) &= \alpha_3 I_H - (\sigma_2 + \mu + \delta)I_P, \\ \dot{T}^*(t) &= \sigma_1 I_H + \sigma_2 I_P - (\mu + \rho)T, \\ \dot{R}^*(t) &= \rho T + \gamma S_L - \mu R \\ \dot{\lambda}_1^*(t) &= (\lambda_1 - \lambda_3)\beta_1(1-u_2^*)\frac{I_L}{N} + (\lambda_1 - \lambda_4)\beta_2(1-u_3^*)\frac{I_P}{N} + \lambda_1\mu + (\lambda_1 - \lambda_2)\omega, \\ \dot{\lambda}_2^*(t) &= (\lambda_2 - \lambda_3)\beta_1(1-u_1^*)\frac{\eta I_L}{N} + (\lambda_2 - \lambda_7)\gamma + \lambda_2\mu, \\ \dot{\lambda}_3^*(t) &= -C_1 I_L + (\lambda_1 - \lambda_3)\beta_1(1-u_2^*)\frac{S_H}{N} + (\lambda_2 - \lambda_3)\beta_1(1-u_1^*)\frac{\eta S_L}{N} + (\lambda_3 - \lambda_4)\alpha_2\frac{I_H}{N} + \lambda_3\mu + (\lambda_3 - \lambda_4)\alpha_1, \\ \dot{\lambda}_4^*(t) &= -C_2 I_H + \lambda_4(\mu + \delta) + (\lambda_4 - \lambda_5)\alpha_3 + (\lambda_4 - \lambda_6)\sigma_1, \\ \dot{\lambda}_5^*(t) &= (\lambda_1 - \lambda_4)\beta_2(1-u_3^*)\frac{S_H}{N} + (\lambda_3 - \lambda_4)\alpha_2\frac{I_L}{N} + \lambda_5(\mu + \delta) + (\lambda_5 - \lambda_6)\sigma_2, \\ \dot{\lambda}_6^*(t) &= (\lambda_6 - \lambda_7)\rho + \lambda_6\mu, \\ \dot{\lambda}_7^*(t) &= \lambda_7\mu. \end{aligned}$$

Dampak dari penerapan kontrol optimal pada model, dapat dilihat pada simulasi numerik dengan metode Runge-Kutta orde 4. Simulasi ini bertujuan untuk membandingkan dinamika model penyebaran narkoba dengan dan tanpa

pemberian kontrol optimal. Dengan menggunakan simulasi numerik, kita dapat dengan mudah mengamati perbandingan laju perubahan setiap variabel sebelum dan setelah penerapan kontrol optimal.

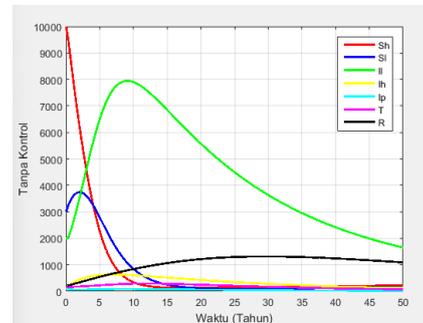
Tabel 2. Nilai Parameter

Notasi	Nilai	Sumber
$\Lambda$	50	Asumsi
$\mu$	0.04	Abderrahim <i>et al.</i> , 2020
$\alpha_1$	0.01	Asumsi
$\alpha_2$	0.02	Asumsi
$\alpha_3$	0.1	Abderrahim <i>et al.</i> , 2020
$\delta$	0.001	Asumsi
$\rho$	0.25	Jun Li & Mingju Ma, 2018
$\gamma$	0.01	Jun Li & Mingju Ma, 2018
$q$	0.03	Asumsi
$\omega$	0.1	Labzai <i>et al.</i> , 2020
$\beta_1$	0.045	Asumsi
$\beta_2$	0.5	Labzai <i>et al.</i> , 2020
$\eta$	0.9	Jun Li & Mingju Ma, 2018
$\sigma_1$	0.05	Abderrahim <i>et al.</i> , 2020
$\sigma_2$	0.7	Abderrahim <i>et al.</i> , 2020
$t_f$	50	Asumsi

Berikut adalah nilai awal yang digunakan untuk variabel (Fitria, 2021).

$$x(0) = (10.000, 3000, 2000, 150, 100, 150, 200)$$

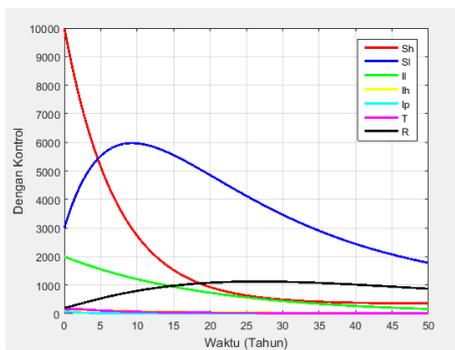
Simulasi numerik dilakukan dengan tujuan untuk mengidentifikasi pengaruh dari pemberian kontrol optimal pada setiap variabel. Hasilnya akan dianalisis melalui perbandingan antara kondisi sebelum dan sesudah penerapan kontrol optimal.



Gambar 3. Perubahan setiap Variabel tanpa Kontrol Optimal

Terlihat bahwa tanpa adanya upaya pengendalian, angka populasi rentan rendah ( $S_L$ ) tidak terlalu tinggi karena banyaknya individu yang keluar dari subpopulasi rentan rendah dan menjadi pengguna narkoba ringan ( $I_L$ ). Kemudian, populasi rentan tinggi ( $S_H$ ) mengalami penurunan dengan sangat cepat. Hal ini terjadi akibat tingginya tingkat perubahan populasi rentan tinggi yang menjadi pengguna narkoba ringan ( $I_L$ ) dan pengguna narkoba berat ( $I_H$ ). Selanjutnya, populasi pengguna narkoba berat yang mempengaruhi individu lain ( $I_P$ ) mengalami peningkatan, sehingga mengakibatkan tingginya angka populasi yang mendapat tindak pidana ( $T$ ) dan populasi yang berhenti narkoba ( $R$ ) setelahnya.

Berdasarkan kondisi tersebut, model sebelum diberikan kontrol optimal dapat dikatakan belum cukup baik dikarenakan tingginya angka subpopulasi pengguna narkoba ringan dan pengguna narkoba berat. Selanjutnya, pemberian kontrol optimal diharapkan mampu mengurangi jumlah pengguna narkoba ringan dan pengguna narkoba berat.

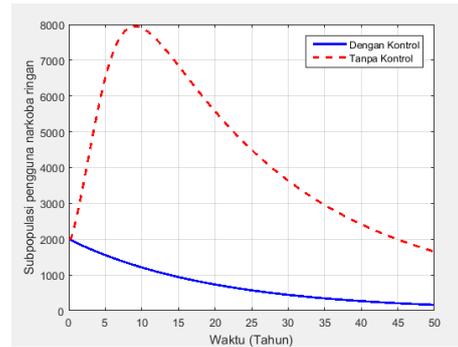


Gambar 4. Perubahan Setiap Variabel dengan Kontrol Optimal

Berdasarkan gambar di atas, kita dapat mengamati bagaimana setiap variabel berubah ketika pemberian kontrol optimal diberlakukan. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa penerapan pendidikan tentang bahaya narkoba di sekolah ( $u_1$ ) pada individu yang berisiko rendah dapat mengakibatkan penurunan pada jumlah individu yang mengonsumsi narkoba dengan tingkat penggunaan yang ringan. Pemberian kontrol optimal berupa kampanye keamanan dan hidup sehat ( $u_2$ ) pada individu rentan tinggi juga dapat menyebabkan pengurangan pada subpopulasi individu pengguna narkoba ringan. Kemudian, Pemberian kontrol optimal berupa sosialisasi tata cara pelaporan kegiatan penggunaan

narkoba ( $u_3$ ) pada individu rentan tinggi menyebabkan pengurangan pada subpopulasi pengguna narkoba berat. Berikut beberapa analisis perubahan pada variabel dengan dan tanpa kontrol optimal

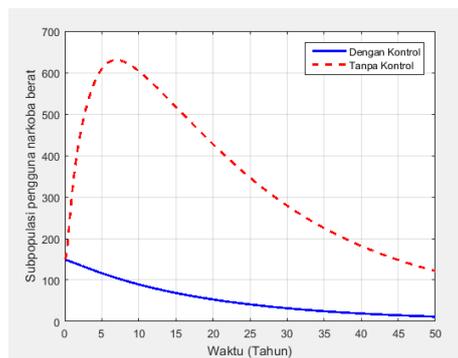
1. Tingkat perubahan subpopulasi pengguna narkoba ringan



Gambar 5. Perubahan Subpopulasi Pengguna Narkoba Ringan

Hal ini terjadi karena keberhasilan dari pemberian pendidikan bahaya narkoba di sekolah ( $u_1$ ) pada subpopulasi rentan rendah serta pemberian kampanye keamanan dan hidup sehat ( $u_2$ ) pada subpopulasi rentan tinggi sehingga, individu pengguna narkoba ringan keluar dari sistem dan tidak dapat kembali menjadi individu rentan tinggi dan rentan rendah. Artinya, efektifitas berupa pemberian kontrol sangat efektif dalam mengurangi subpopulasi pengguna narkoba ringan.

2. Tingkat perubahan subpopulasi pengguna narkoba berat

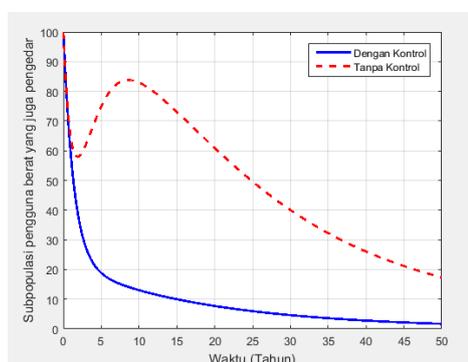


Gambar 6. Perubahan Subpopulasi Pengguna Narkoba Berat

Terlihat perubahan subpopulasi pengguna narkoba nilai awal 150 sebelum diberikan kontrol optimal mengalami peningkatan hingga tahun ke-6 kemudian terjadi penurunan hingga tahun ke-50 mencapai 121 orang. Kemudian,

setelah diberikan kontrol optimal subpopulasi mengalami penurunan hingga tahun ke-50 mencapai 12 orang. Hal tersebut terjadi karena keberhasilan pemberian sosialisasi tata cara pelaporan kegiatan penggunaan narkoba ( $u_3$ ) pada subpopulasi rentan tinggi sehingga, individu pengguna narkoba berat keluar dari sistem dan tidak dapat kembali menjadi individu rentan tinggi. Artinya, efektifitas pemberian kontrol sangat efektif dalam mengurangi subpopulasi pengguna narkoba berat.

### 3. Tingkat perubahan subpopulasi pengguna narkoba berat dan penganter



Gambar 6. Perubahan Subpopulasi Pengguna Narkoba Berat dan Penganter

Berdasarkan Gambar 6 perubahan subpopulasi pengguna narkoba berat yang mempengaruhi individu lain dengan nilai awal 100 sebelum diberikan kontrol optimal mengalami penurunan hingga tahun ke-2 kemudian konstan hingga tahun ke-8 dan turun kembali hingga tahun ke-50 mencapai 17 orang. Selanjutnya, setelah diberikan kontrol optimal subpopulasi mengalami penurunan hingga tahun ke-50 mencapai 2 orang. Penurunan tersebut terjadi akibat keberhasilan sosialisasi tata cara pelaporan kegiatan penggunaan narkoba ( $u_3$ ) yang menyebabkan individu pengguna narkoba berat yang mempengaruhi individu lain berkurang seiring waktu.

### KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, telah dibangun sebuah model matematika yang menggambarkan penyebaran narkoba. Model ini dijabarkan menjadi sistem persamaan diferensial biasa. Model tersebut memperkenalkan variabel kontrol optimal seperti pendidikan wajib mengenai bahaya narkoba di sekolah, kampanye tentang keamanan dan gaya hidup sehat, serta sosialisasi mengenai cara melaporkan kegiatan penggunaan narkoba. Tujuan dari pemberian

kontrol optimal ini adalah untuk meminimalkan jumlah pengguna narkoba ringan dan berat dengan biaya pengendalian yang optimal.

Penyelesaian permasalahan kontrol optimal dilakukan dengan menerapkan Prinsip Minimum Pontryagin, dan hasilnya disimulasikan secara numerik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pemberian kontrol berupa pendidikan tentang bahaya narkoba di sekolah, kampanye tentang keamanan dan gaya hidup sehat, serta sosialisasi mengenai cara melaporkan kegiatan penggunaan narkoba dapat mengurangi jumlah pengguna narkoba ringan dan berat.

Secara keseluruhan, upaya pengendalian yang diterapkan memberikan efek yang signifikan dalam mengurangi jumlah pengguna narkoba ringan dan berat. Penelitian selanjutnya yang dapat dilakukan adalah memodifikasi kontrol yang berpengaruh pada jumlah pengguna narkoba berat dan penganter, serta membagi subpopulasi tersebut menjadi penganter yang bukan pengguna dan penganter yang juga pengguna.

### DAFTAR PUSTAKA

- BNN. 2022. Penggunaan Narkotika di Kalangan Remaja Meningkat. *BNN.go.id*.
- Burden RL & Fires JD. 2011. *Numerical Analysis 9th Ed*, USA: Brooks/Cole.
- Ermawan DT. 2017. *Pengaruh Globalisasi terhadap Eksistensi Kebudayaan Daerah di Indonesia*.
- Fitria I, Hanifa N, Soemarsono AR & Nugraheni K. 2021. Konstruksi Model Pengaruh Pertumbuhan Pengangguran Terhadap Dinamika Angka Kriminalitas Melalui Pemberian Kontrol Optimal. *SPECTA Journal of Technology*. **5**(1): 58-67.
- Göksel NK. 2004. Globalization and the state. *PERCEPTIONS: Journal of International Affairs*. **9**(1): 1-12.
- Herindrasti VLS. 2018. Drug-free ASEAN 2025: Tantangan Indonesia dalam Penanggulangan Penyalahgunaan Narkoba. *Jurnal Hubungan Internasional*. **7**(1): 19-33.
- Husain MR, Nurwan N, & Resmawan R. 2020. Analisis Kestabilan Model Penyebaran Pengguna Narkoba Dengan Faktor Edukasi. *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan terapan*. **14**(1): 69-78
- Labzai A, Kouidere A, Khajji B, Balatif O & Rachik M. 2020. Mathematical Modeling and Optimal Control Strategy For A Discrete Time Drug Consumption Model. *Discrete*

- Dynamics in Nature and Society*. **2020**: 1-10.
- Lenhart S & Workman JT. 2007. *Optimal Control Applied to Biological Models*, UK: Chapman & Hall/CRC.
- Li J & Ma M. 2018. The Analysis of A Drug Transmission Model With Family Education and Public Health Education. *Infectious Disease Modelling*. **3**: 74-84.
- Naidu DS. 2002. *Optimal Control System*, New York: CRC Press.
- Puspitasari A. 2019. *Analisis Kestabilan Dan Kontrol Optimal Model Matematika Penyalahgunaan Narkoba Dengan Memperhatikan Tipe Perawatan Beserta Tingkat Resiko* (Doctoral dissertation, Universitas Airlangga).
- Putri SS & Budyanra B. 2020. Determinan Status Penyalahgunaan Narkoba Pada Remaja Usia 15-24 Tahun di Indonesia Tahun 2017. In *Seminar Nasional Official Statistics*. **2020**(1).
- Soleh M & Mandasari PR. 2018. Model Matematika Pengaruh Program Rehabilitasi dan Penerapan Hukuman Terhadap Jumlah Pemakai Narkoba. *Jurnal Sains Matematika dan Statistika*. **4**(2): 9-17.
- Wahyuningsih W. 2018. Millenium Developent Goals (Mdgs) dan Sustainable Development Goals (Sdgs) Dalam Kesejahteraan Sosial. *BISMA: Jurnal Bisnis dan Manajemen*. **11**(3): 390-399.

