ISBN:1858-1382

J M S K
Jurnal Matematika, Statistika, & Komputasi
http://journal.unhas.ac.id/index.php/jmsk
Vol. 7, No.1, 13-22, Juli 2010

Model Deterministik Masalah Kecanduan Narkoba dengan Faktor Kontrol Terhadap Pemakai dan Pengedar Narkoba

Kasbawati, Syamsuddin Toaha*

Abstrak

Salah satu epidemi yang sedang mengancam saat ini adalah meluasnya penyalahgunaan narkoba akibat adanya perubahan gaya hidup. Epidemi narkoba meskipun tidak infeksius, tetapi penyebarannya sangat cepat dan dapat menjangkau ke berbagai kalangan masyarakat. Dalam paper ini, dilakukan sebuah pendekatan deterministik terhadap kasus peredaran narkoba dan penanggulangan para pecandu melalui proses rehabilitasi. Hasil analisis model menunjukkan bahwa terdapat nilai ambang dimana titik kesetimbangan tak endemik model eksis dan stabil secara asimtotik. Simulasi numerik model yang dilakukan menunjukkan bahwa ada saat tertentu dimana jumlah pecandu narkoba akan berkurang dari dalam sistem, khususnya pada saat rata-rata jumlah pecandu yang direhabilitasi bertambah.

Kata Kunci: *Kasus narkoba, model epidemiologi, basic reproduction number.*

1. Pendahuluan

Saat ini penyalahgunaan dan peredaran gelap narkoba masih menjadi masalah penting dan menjadi salah satu perhatian utama dari pemerintah. Hal ini disebabkan karena dampak yang ditimbulkan sebagai akibat penyalahgunaannya yang akan merusak mental dan fisik bagi individu yang bersangkutan. Kejahatan narkoba di Indonesia menunjukkan perkembangan yang cukup signifikan dan telah berada pada ambang yang mengkhawatirkan bila tidak segera ditanggulangi (*Wordpress*, 2007).

Trend penyalahgunaan dan peredaran gelap narkoba saat ini, jangkauan permasalahannya semakin rumit dan meluas dengan beberapa fakta yang ditemukan di masyarakat. Beberapa fakta tersebut antara lain kecenderungan usia tingkat pemula penyalahguna narkoba yang semakin muda, tingginya angka penyalahguna narkoba dan semakin cepatnya penyebaran virus HIV/AIDS oleh penyalahgunaan narkoba suntik. Beberapa penyakit ikutan dari efek penyalahgunaan narkoba, seperti Hepatitis B & C juga semakin meluas, sehingga pada tingkat nasional permasalahan penyalahgunaan narkoba telah menimbulkan ancaman epidemi ganda, yaitu penyalahgunaan narkoba dan penyebaran virus (*Wordpress*, 2008).

Besarnya perhatian dari pemerintah mengenai hal ini membuat kasus narkotika menjadi menarik untuk dikaji dan ditinjau secara matematis, salah satunya dengan melakukan pendekatan deterministik terhadap kasus peredaran narkoba tersebut yang semakin hari jumlah pelakunya semakin bertambah, baik sebagai pecandu, bahkan sebagai pengedar.

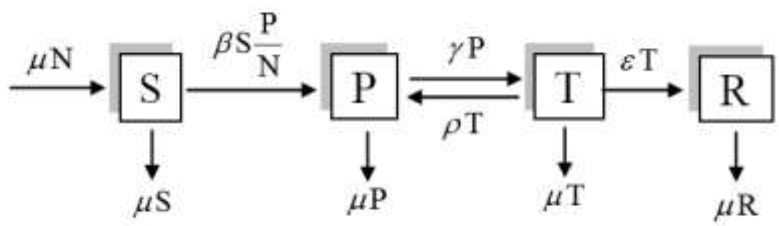
Makalah ini akan dibagi dalam beberapa bagian. Pada bagian kedua akan dijelaskan mengenai proses pemodelan kasus ini. Bagian ketiga akan membahas mengenai hasil analisis

* *Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin*

kualitatif model, dan hasil simulasi numerik model akan diberikan pada bagian keempat beserta diskusi mengenai hasil yang diperoleh. Kesimpulan penelitian akan diberikan pada akhir bagian makalah ini.

2. Formulasi Model Matematika

Proses pemodelan dilakukan dengan membagi populasi yang diamati menjadi empat kompartemen yaitu manusia sehat (S), manusia yang kecanduan narkoba baik secara pasif maupun aktif (P), dimana para pecandu aktif berpeluang untuk menyebabkan bertambahnya jumlah pecandu, manusia pecandu yang direhabilitasi dengan cara diterapi (T), dan manusia yang sembuh dari kecanduan secara permanen akibat terapi yang sukses dilakukan terhadap pecandu, atau dinotasikan dengan R (Kasbawati, 2010).



Gambar 1. Diagram Skematik Model Kecanduan Narkoba dengan Faktor Rehabilitasi.

Jumlah populasi setiap saat dianggap konstan sehingga jumlah populasi yang masuk ke dalam sistem $(\mu \mathrm{N})$ diasumsikan akan sama dengan jumlah populasi yang keluar dari tiap kompartemen $(\mu \mathrm{S}, \mu \mathrm{P}, \mu \mathrm{T}, \mu \mathrm{R})$ dengan $\frac{1}{\mu}$ menyatakan lamanya seseorang akan berada dalam sistem (lama hidup seseorang). Diasumsikan seseorang akan menjadi pecandu hanya jika berinteraksi dengan para pecandu aktif. Pengaruh tersebut dapat terjadi melalui kontak (*c*) yang didefinisikan sebagai rata-rata banyaknya interaksi secara acak berupa pergaulan antara para pecandu aktif dengan manusia sehat yang rentan per satuan waktu dengan peluang berhasilnya pengaruh dari pecandu aktif sebesar σ. Interaksi ini dimodelkan dalam bentuk perkalian antara P dan S yaitu $\beta \mathrm{S}\frac{\mathrm{P}}{\mathrm{N}}$, dengan $\beta = \mathrm{c}\sigma$. Jadi jika seseorang yang sehat bergaul dengan para pecandu aktif maka orang tersebut akan menjadi pecandu pula dengan peluang tertentu, karena dipicu oleh keinginan untuk mecoba. Selanjutnya, jumlah pecandu yang mendapatkan terapi kesembuhan per satuan waktu dimodelkan dalam bentuk $\gamma \mathrm{P}$ dengan $\frac{1}{\gamma}$ menyatakan lamanya seseorang menjadi pecandu dan kemudian direhabilitasi (diterapi). Jumlah pecandu yang sembuh setelah diterapi, dimodelkan dalam bentuk $\varepsilon \mathrm{T}$, dengan $\frac{1}{\varepsilon}$ adalah lamanya seseorang diterapi dan kemudian sembuh. Pecandu yang berhasil sembuh akibat terapi tidak dimasukkan dalam kelas manusia sehat yang rentan karena dianggap bahwa kesembuhan tersebut akan permanen. Terdapat pecandu yang telah diterapi tetapi setelah terapi dilakukan, orang tersebut kembali menjadi pecandu per satuan waktu, yang dimodelkan dalam bentuk $\rho \mathrm{T}$, dimana waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk kembali menjadi pecandu setelah diterapi sebesar $\frac{1}{\rho}$. Dari asumsi-asumsi di atas, Kasbawati (2010) menyatakan model matematika dari kasus narkoba di atas dalam bentuk sistem persamaan differensial non linier sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
\frac{dS(t)}{dt} &= \mu N - \beta S(t)\frac{P(t)}{N} - \mu S(t), \\
\frac{dP(t)}{dt} &= \beta S(t)\frac{P(t)}{N} + \rho T(t) - \gamma P(t) - \mu P(t), \\
\frac{dT(t)}{dt} &= \gamma P(t) - \rho T(t) - \varepsilon T(t) - \mu T(t), \\
\frac{dR(t)}{dt} &= \varepsilon T(t) - \mu R(t).
\end{aligned} \tag{1}$$

Dalam bentuk yang tak berdimensi model tersebut dapat dituliskan sebagai

$$\begin{aligned}
\frac{dX}{d\tau} &= 1 - \hat{\beta} X Y - X, \\
\frac{dY}{d\tau} &= \hat{\beta} X Y + \hat{\rho} Z - \hat{\gamma} Y - Y, \\
\frac{dZ}{d\tau} &= \hat{\gamma} Y - \hat{\rho} Z - \hat{\varepsilon} Z - Z, \\
\frac{dW}{d\tau} &= \hat{\varepsilon} Z - W.
\end{aligned} \tag{2}$$

dengan $X = \frac{S}{N}, Y = \frac{P}{N}, Z = \frac{T}{N}, W = \frac{R}{N}$ $\tau = \mu t$, $\hat{\beta} = \frac{\beta}{\mu}$, $\hat{\rho} = \frac{\rho}{\mu}$, $\hat{\gamma} = \frac{\gamma}{\mu}$, dan $\hat{\varepsilon} = \frac{\varepsilon}{\mu}$.

3. Hasil Analisis Kualitatif Model

Didefinisikan daerah keberadaan sistem, yaitu

$$\boldsymbol{D} := \left\{ (S, P, T, R) \,\middle|\, S, P, T, R \geq 0 \right\}. \tag{3}$$

Solusi kesetimbangan sistem (2) yang memenuhi (3) salah satunya adalah

$$T_1 = \left(X^*, Y^*, Z^*, W^* \right) = \left(1, 0, 0, 0 \right)$$

yang merupakan titik kesetimbangan yang bebas pecandu (Kasbawati, 2010). Analisis kestabilan titik kesetimbangan tersebut diberikan dalam teorema berikut.

Teorema 1.
Misalkan T_1 adalah titik kesetimbangan yang bebas pecandu dari persamaan (2). *Titik tersebut stabil asimtotik secara lokal jika $R_0 < 1$, dengan nilai* $R_0 = \frac{\hat{\beta}\hat{\rho} + \hat{\beta}\hat{\varepsilon} + \hat{\beta}}{\hat{\gamma}\hat{\varepsilon} + \hat{\gamma} + \hat{\rho} + \hat{\varepsilon} + 1}$.

Pembuktian dari teorema tersebut dapat dilihat di (Kasbawati, 2010). Titik kesetimbangan kedua yang diperoleh dari persamaan (3) adalah $T_2 = (X^{**}, Y^{**}, Z^{**}, W^{**})$, dimana

$$X^{**} = \frac{\hat{\gamma}\hat{\varepsilon} + \hat{\gamma} + \hat{\rho} + \hat{\varepsilon} + 1}{\hat{\beta}\hat{\rho} + \hat{\beta}\hat{\varepsilon} + \hat{\beta}},$$

$$Y^{**} = -\frac{\left(\hat{\gamma}\hat{\varepsilon} + \hat{\gamma} + \hat{\rho} + \hat{\varepsilon} + 1 - \hat{\beta}\hat{\rho} - \hat{\beta}\hat{\varepsilon} - \hat{\beta}\right)}{\left(\hat{\gamma}\hat{\varepsilon} + \hat{\gamma} + \hat{\rho} + \hat{\varepsilon} + 1\right)\hat{\beta}},$$

$$Z^{**} = -\frac{\hat{\gamma}\left(\hat{\gamma}\hat{\varepsilon} + \hat{\gamma} + \hat{\rho} + \hat{\varepsilon} + 1 - \hat{\beta}\hat{\rho} - \hat{\beta}\hat{\varepsilon} - \hat{\beta}\right)}{\hat{\beta}\left(\hat{\rho} + 1 + \hat{\varepsilon}\right)\left(\hat{\gamma}\hat{\varepsilon} + \hat{\gamma} + \hat{\rho} + \hat{\varepsilon} + 1\right)}$$

$$W^{**} = -\frac{\hat{\varepsilon}\hat{\gamma}\left(\hat{\gamma}\hat{\varepsilon} + \hat{\gamma} + \hat{\rho} + \hat{\varepsilon} + 1 - \hat{\beta}\hat{\rho} - \hat{\beta}\hat{\varepsilon} - \hat{\beta}\right)}{\hat{\beta}\left(\hat{\rho} + 1 + \hat{\varepsilon}\right)\left(\hat{\gamma}\hat{\varepsilon} + \hat{\gamma} + \hat{\rho} + \hat{\varepsilon} + 1\right)}.$$

Titik kesetimbangan tersebut dapat pula ditulis dalam bentuk lain, yaitu

$$X^{**} = \frac{1}{R_0},\ Y^{**} = \frac{\left(R_0 - 1\right)}{\hat{\beta}},\ Z^{**} = \frac{\hat{\gamma}\left(R_0 - 1\right)}{\hat{\beta}\left(\hat{\rho} + 1 + \hat{\varepsilon}\right)},\ W^{**} = \frac{\hat{\varepsilon}\hat{\gamma}\left(R_0 - 1\right)}{\hat{\beta}\left(\hat{\rho} + 1 + \hat{\varepsilon}\right)},$$

dengan $R_0 = \dfrac{\hat{\beta}\hat{\rho} + \hat{\beta}\hat{\varepsilon} + \hat{\beta}}{\hat{\gamma}\hat{\varepsilon} + \hat{\gamma} + \hat{\rho} + \hat{\varepsilon} + 1}$. Dari bentuk tersebut terlihat dengan jelas bahwa titik T_2 akan berada di ***D*** jika dan hanya jika nilai $R_0 > 1$. Analisis kestabilan titik tersebut diberikan dalam teorema berikut.

Teorema 2.
Misalkan T_2 adalah titik kesetimbangan endemik dari persamaan (3). *Titik tersebut stabil asimtotik secara lokal jika $R_0 > 1$, dengan* $R_0 := \dfrac{\hat{\beta}\hat{\rho} + \hat{\beta}\hat{\varepsilon} + \hat{\beta}}{\hat{\gamma}\hat{\varepsilon} + \hat{\gamma} + \hat{\rho} + \hat{\varepsilon} + 1}$.

Pembuktian dari teorema tersebut dapat dilihat di (Kasbawati 2010).

Tinjau nilai R_0 yang diperoleh melalui eksistensi T_2 dan analisis kestabilan T_1 dan T_2 dalam dua teorema pada bagian sebelumnya, yaitu

$$R_0 = \frac{\hat{\beta}\left(\hat{\rho} + \hat{\varepsilon} + 1\right)}{\hat{\gamma}\left(\hat{\varepsilon} + 1\right) + \left(\hat{\rho} + \hat{\varepsilon} + 1\right)}.$$

Dalam masalah kecanduan narkoba, R_0 didefinisikan sebagai jumlah rata-rata kasus sekunder yang dihasilkan oleh seorang pecandu aktif, pada saat ia berinteraksi dalam sebuah populasi yang sehat tanpa pecandu. Besaran ini juga dapat didefinisikan sebagai rata-rata pertumbuhan awal (*multiplication factor*) dari kasus kecanduan narkoba sehingga besaran ini mempunyai nilai ambang 1 (*Brauer et al.*, 2000; *Diekmann et al.*, 2000). Kestabilan titik kesetimbangan yang bebas pecandu dalam model ini sangat diharapkan karena jika titik ini stabil maka solusi pada akhirnya akan bergerak menuju titik tersebut untuk $\tau \to \infty$. Ini berarti bahwa pada akhirnya populasi pecandu, khususnya para pecandu aktif, akan hilang dari dalam sistem sehingga jumlah pecandu dapat direduksi sedikit demi sedikit. Analisis sebelumnya menunjukkan bahwa untuk membuat titik kesetimbangan tersebut stabil maka nilai R_0 harus kurang dari 1. Dalam bentuk parameter yang berdimensi, R_0 dapat dituliskan menjadi

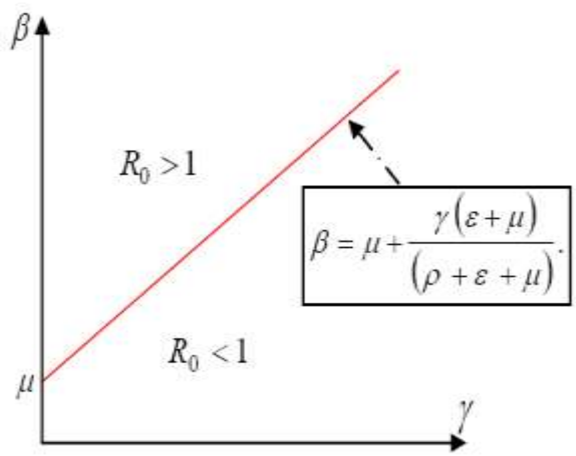
$$R_0 := \frac{\beta(\rho+\varepsilon+\mu)}{\gamma(\varepsilon+\mu)+\mu(\rho+\varepsilon+\mu)}.$$

Beberapa parameter yang dapat dikontrol agar nilai R_0 cukup kecil di antaranya adalah parameter rata-rata lamanya seseorang berada dalam sistem (μ), rata-rata kontak (β), rata-rata rehabilitasi (γ), rata-rata kesembuhan setelah rehabilitasi (ε), dan parameter rata-rata kegagalan setelah rehabilitasi (ρ). Akan tetapi parameter yang menarik untuk ditinjau adalah rata-rata kontak dan rata-rata rehabilitasi, walaupun pada kenyataannya, kontak atau interaksi antara pecandu aktif yang berperan ganda sebagai pengedar dengan manusia sehat, sulit untuk dideteksi bahkan dibatasi. Berbeda dengan rata-rata rehabilitasi, hal ini dapat dikontrol dengan cara meningkatkan program rehabilitasi bagi para pecandu dan berusaha meningkatkan keberhasilan terapi tersebut.

Tinjau kembali nilai R_0 yang telah diperoleh sebelumnya. Jika nilai $R_0 = 1$ (nilai bifurkasi sistem), maka diperoleh persamaan

$$\beta = \mu + \frac{\gamma(\varepsilon+\mu)}{(\rho+\varepsilon+\mu)}.$$

Jika diasumsikan parameter lain tetap, maka diperoleh hubungan parameter β yang berbanding lurus dengan γ (Gambar 2).



Gambar 2. Grafik Hubungan Antara Rata-rata Kontak, β
dengan Rata-rata Banyaknya Terapi, γ.

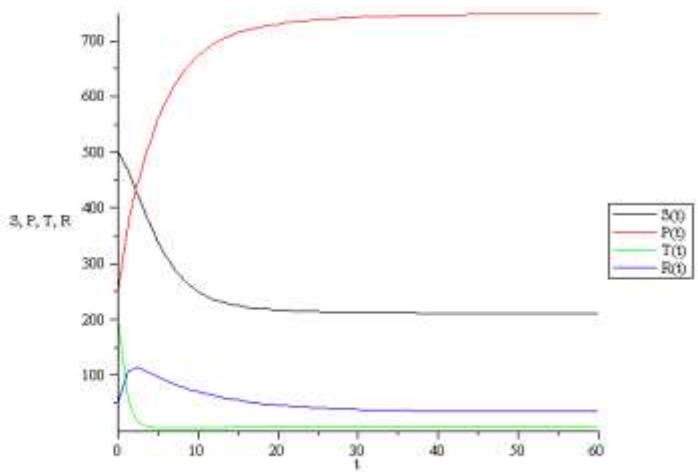
Ini berarti bahwa semakin banyak manusia yang kecanduan narkoba akibat gencarnya peredaran narkoba oleh para pecandu aktif, maka program rehabilitasi juga harus semakin ditingkatkan.

4. Simulasi Numerik Model

Pada bagian ini akan dilakukan simulasi numerik terhadap solusi model dalam persamaan (1) untuk mengetahui karateristik solusi model secara geometris. Simulasi akan dilakukan dalam dua keadaan yaitu dengan meninjau keadaan endemik dan keadaan tak endemik model. Misalkan jumlah populasi dalam sistem (N) sebesar 1000 orang dengan rara-rata kelahiran dan kematian alami (μ) sebesar 0.1 per bulan. Misalkan diasumsikan rata-rata kontak yang dilakukan oleh pecandu dengan manusia sehat sebesar β = 0.5 per bulan. Rata-rata pecandu yang mengikuti rehabilitasi yaitu γ = 0.01 per bulan. Rata-rata orang yang direhabilitasi kembali menjadi pecandu yaitu ρ = 0.5 per bulan. Rata-rata orang yang direhabilitasi menjadi sehat yaitu ε = 0.5 per bulan. Diasumsikan pula bahwa pada saat awal, jumlah manusia yang bebas narkoba sebesar 500 orang, jumlah pecandu saat awal sebesar 250 orang, jumlah pecandu yang mengikuti rehabilitasi pada saat awal sebesar 200 orang, dan jumlah manusia sembuh dari rehabilitasi sebesar 50 orang.

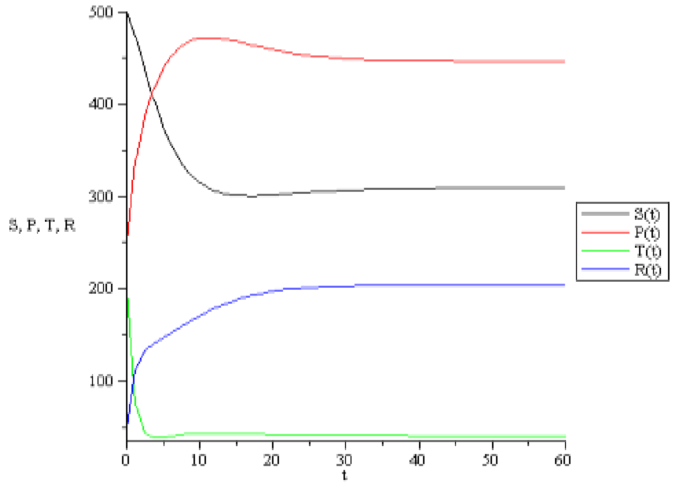
4.1. Kasus Endemik model dengan $\beta = 0.5$

Nilai-nilai parameter yang telah diestimasi sebelumnya menghasilkan nilai R_0 sebesar 4.713 ($R_0 > 1$) dan titik kesetimbangan tak endemik yaitu T_1=(S = 1000, P = 0, T = 0, R = 0), dengan nilai eigen (–0.1, –0.1, –1.1, 0.39); T_2 = (S = 210, P = 748, T = 6, R = 34), dengan nilai eigen (–0.1, –0.1, –0.3, –1.1). Hasil tersebut menunjukkan bahwa kondisi yang tercipta adalah kondisi yang endemik dimana populasi pecandu akan selalu berada dalam sistem dan berpeluang untuk dapat mempengaruhi orang lain untuk menjadi pemakai pula.



Gambar 3. Grafik Hubungan Antara Populasi S, P, T, dan R Terhadap Waktu (Bulan) dengan Nilai γ = 0.01 dan $\beta = 0.5$.

Gambar 3 menunjukkan bahwa jumlah pecandu mengalami kenaikan yang sangat drastis dibandingkan dengan jumlah pecandu yang sembuh dari rehabilitasi yang hanya mengalami jumlah maksimum pada saat awal dan kemudian mengalami penurunan. Hal ini tentu disebabkan karena rata-rata jumlah kontak dengan pecandu (β) lebih besar dibandingkan rata-rata jumlah orang yang direhabilitasi (γ). Ini berarti bahwa pengedaran narkoba yang tidak terkendali di lingkungan masyarakat akan berakibat fatal jika tidak diikuti dengan gencarnya program penyuluhan dan rehabilitasi dari pemerintah. Misalkan rata-rata pecandu yang akan direhabilitasi dinaikkan sebanyak 10% (nilai parameter lain tetap) sehingga nilai γ menjadi 0.1 per bulan, maka diperoleh nilai $R_0 = 3.235 > 1$. Nilai R_0 >1 menunjukkan bahwa sistem belum terbebas dari pengaruh narkoba dan masih terdapat pecandu narkoba yang mendominasi populasi tersebut walaupun jumlah pecandu berkurang, sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 4, jika dibandingkan jumlah sebelumnya (Gambar 3).

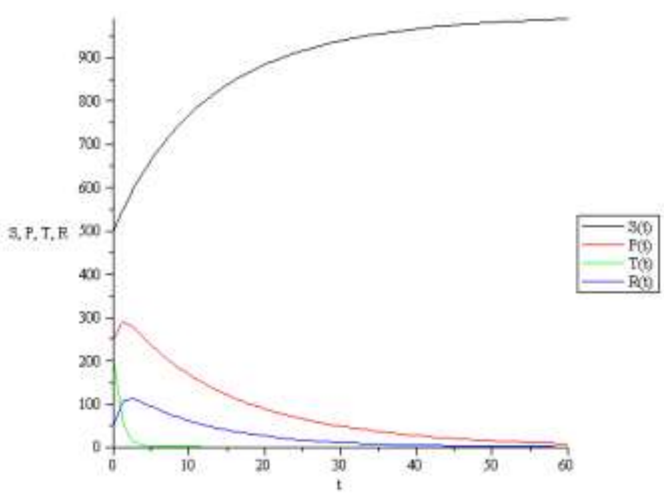


Gambar 4. Grafik Hubungan Antara Populasi S, P, T, dan R Terhadap *t*, dengan Nilai γ = 0.1 dan $\beta = 0.5$.

Gambar 4 menunjukkan bahwa jumlah pecandu mengalami jumlah maksimum pada saat awal, namun kemudian turun ke jumlah setimbangnya sebesar 474 orang pecandu. Jumlah ini lebih kecil dibanding jumlah setimbang pecandu pada saat nilai γ tidak diturunkan, namun hal ini masih jauh dari harapan yaitu agar jumlah pecandu konvergen ke nol.

4.2. Kasus Tak Endemik Model dengan $\beta = 0.05$

Pada bagian ini akan dicoba untuk melakukan kontrol terhadap jumlah kontak dengan pecandu. Misalkan dilakukan isolasi terhadap pecandu sehingga besar rata-rata kontak yang dilakukan oleh para pecandu dengan manusia sehat dapat berkurang sebesar 10%, yaitu $\beta = 0.05$ per bulan. Jika rata-rata rehabilitasi dan nilai parameter lainnya dibuat tetap seperti di awal, maka diperoleh nilai R_0 =0,4741 < 1 yang berarti bahwa T_1 := (S = 1000, P = 0, T = 0, R = 0) akan stabil secara asimtotik.

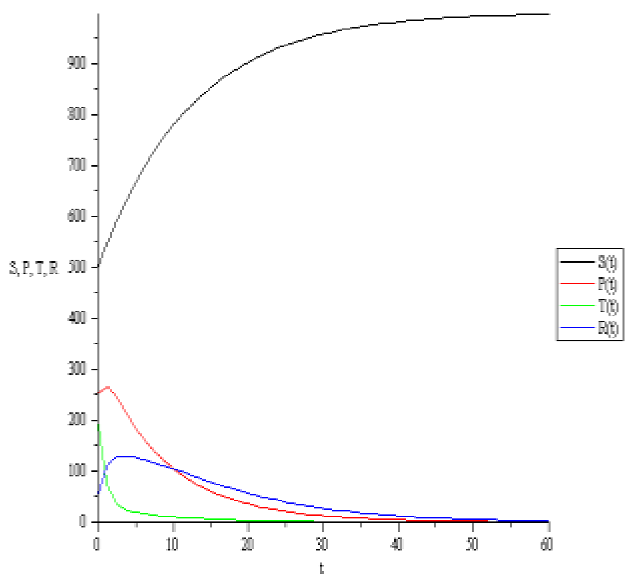


Gambar 5. Grafik Hubungan Antara Populasi S, P, T, dan R Terhadap *t*,

dengan Nilai γ =0.01 dan $\beta = 0.05$.

Gambar 5 menunjukkan bahwa pecandu mengalami jumlah maksimum pada saat awal, yaitu pada bulan kedua sebesar 283 orang pecandu, dan kemudian mengalami penurunan secara drastis, yang mana untuk $t \to \infty$ maka $P(t) \to 0$. Kondisi sebaliknya terjadi pada populasi yang sehat dimana jumlahnya meningkat secara drastis seiring dengan berkurangnya jumlah pecandu dari dalam sistem. Kondisi ini terjadi pada saat isolasi dilakukan pada para pecandu sehingga rata-rata jumlah kontak dapat berkurang.

Misalkan isolasi terhadap para pecandu tetap dilakukan, dan program rehabilitasi juga ditingkatkan sehingga rata-rata banyaknya pecandu yang direhabilitasi bertambah menjadi 0.1 per bulan. Jika parameter lain dibuat tetap maka nilai parameter tersebut menghasilkan R_0 =0.3235 < 1. Nilai R_0 yang diperoleh lebih kecil dari 1 dan lebih kecil dari nilai R_0 sebelumnya. Ini berarti bahwa sistem akan lebih cepat terbebas dari pengaruh para pecandu narkoba.



Gambar 6. Grafik Hubungan Antara Populasi S, P, T, dan R Terhadap *t*, dengan Nilai γ =0.1 dan $\beta = 0.05$.

Jika hasil yang diperoleh pada kondisi ini dibandingkan dengan kondisi sebelumnya, maka terlihat bahwa perlakuan isolasi terhadap pecandu dan penambahan jumlah pecandu yang direhabilitasi memberikan pengaruh yang cukup signifikan dalam hal penurunan jumlah pengguna narkoba. Pada Gambar 5 terlihat bahwa jumlah pecandu akan habis dalam jangka waktu 50 bulan atau sekitar 4 tahun lebih, sedangkan pada Gambar 6 terlihat bahwa hanya dalam jangka waktu 30 bulan atau sekitar 2 tahun lebih, jumlah pecandu akan habis dari dalam sistem. Hasil simulasi yang telah dilakukan dalam dua kasus di atas, dapat dirangkum dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Evaluasi Hasil Simulasi Numerik Sebagai Upaya Pencegahan Pertambahan Jumlah Pecandu Narkoba.

Upaya yang Dilakukan	***) Nilai R_0**	**Hasil yang Diperoleh**	**Tantangan**
Kondisi Awal:	1< 4.713 (R_0*)	Jumlah maksimum pecandu adalah sebesar	-

$\gamma = 0.01\,(\gamma^*)$ $\beta = 0.5\,(\beta^*)$		748 orang yang sekaligus menjadi jumlah setimbangnya	
Upaya I: Menambah jumlah pecandu yang di rehabilitasi. $\gamma = 0.1 > \gamma^*$, $\beta = 0.5$	$1 < 3.235 < R_0$*	Jumlah maksimum pecandu sebesar 474 yang sekaligus menjadi jumlah setimbangnya	Membutuhkan biaya yang cukup besar
Upaya II: Membatasi interaksi antara pecandu yang berperan ganda sebagai pengedar dengan yang non-pecandu. $\gamma = 0.01$, $\beta = 0.05 < \beta^*$	$0.473 << R_0$*	Jumlah pecandu maksimum sebesar 283 orang pada saat $t = 2$ bulan dan mulai turun secara drastis pada saat $t = 50$ bulan kemudian, dimana $P(t) \to 0$ pada saat $t \to \infty$	Memerlukan upaya yang keras karena sulitnya membedakan antara pecandu saja dengan pecandu yang berperan ganda sebagai pengedar
Upaya III: Menambah jumlah pecandu yang di rehabilitasi dan membatasi interaksi pecandu yang berperan ganda sebagai pengedar dengan yang non-pecandu. $\gamma = 0.1 > \gamma^*$, $\beta = 0.05 < \beta^*$	$0.325 << R_0$*	Jumlah pecandu maksimum sebesar 253 orang pada saat $t = 2$ bulan dan mulai turun secara drastis pada saat $t = 30$ bulan kemudian, dimana $P(t) \to 0$ pada saat $t \to \infty$	Memerlukan biaya dan upaya yang cukup besar dari pemerintah untuk mewujudkan strategi ini, tetapi hasil yang diperoleh akan sangat maksimal

*) Nilai parameter lain diasumsikan tetap.

5. Kesimpulan

Dalam penelitian ini, telah dimodelkan masalah kecanduan narkoba dengan faktor rehabilitasi bagi pecandu. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat suatu nilai ambang yang akan mengakibatkan tingkat pertambahan jumlah pecandu narkoba dapat ditekan sehingga kondisi endemik akibat narkoba dapat dihindari. Hasil simulasi numerik yang dilakukan untuk beberapa kasus yang berbeda memberikan beberapa *policy* yang dapat ditawarkan dari hasil penelitian ini, yaitu isolasi terhadap para pecandu yang berperan ganda sekaligus sebagai pengedar dapat dilakukan karena hal tersebut akan berakibat pada penekanan intensitas peredaran narkoba itu sendiri. Selain itu penambahan jumlah pecandu yang direhabilitasi dapat dilakukan yang tentunya berimbas pada penambahan jumlah yayasan atau panti-panti rehabilitasi yang juga berimbas pada pernambahan jumlah biaya pengadaan yayasan atau panti tersebut.

Pembuktian secara matematis ini diharapkan dapat dijadikan acuan, khususnya bagi pihak yang terkait, untuk menetapkan suatu kebijakan (*policy*) yang tepat, yang berkaitan dengan pengadaan program rehabilitasi bagi para pecandu narkoba, sehingga kondisi endemik akibat bertambahnya para pemakai obat-obatan terlarang yang juga berpeluang menjadi pengedar, dapat dicegah.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas MIPA Universitas Hasanuddin yang telah membiayai pelaksanaan penelitian ini melalui Hibah Penelitian Fakultas Tahun 2010, sesuai dengan surat perjanjian pelaksanaan pekerjaan hibah penelitian berdasarkan nomor kontrak 5755/H4.2/TU.19/2010 tanggal 1 Juni 2010.

Daftar Pustaka

Brauer, *F. dan Castillo-Chavez, C., 2000. Mathematical Models in Population Biology and Epidemiology. Springer, Vancouver, B.C., Canada.*

Diekmann, *O. dan Heesterbeek, J.A.P., 2000. Mathematical Epidemiology of Infectious Diseases. John Wiley & Sons Ltd., New York.*

Kasbawati, *2010. Analisis model deterministik kecanduan narkoba dengan faktor rehabilitasi. Proceeding Seminar Nasional Matematika UI-UNPAD, Vol.1, 479-484, Universitas Indonesia.*

Murray, *J.D., 1990. Mathematical Biology, Biomathematics Texts, Second Corrected Edition. Springer-Verlag, New York.*

Verhulst, *F., 1996. Nonlinear Differential Equation and Dynamical System. Springer-Verlag, Jerman.*

Wordpress, *2007. Jenis-jenis narkoba. Sumber:http://antigadis.wordpress.com/, diakses pada tanggal 18 Juni 2009.*

_________, 2008. Jenis-jenis dan bahaya narkoba. Sumber: http://michelle180594.wordpress.com, diakses pada tanggal 7 Maret 2009.