

Pemodelan Matematika dan Simulasi Penyebaran Kecanduan Rokok Elektrik (Vape)

Endaryono^{1*}, Rifki Ristiawan², & Mahyudi³

^{1,2,3}Teknik Informatika Universitas indraprasta PGRI (Unindra)

Abstract

Received:

Revised:

Accepted:

This study develops the SIR model, first introduced by Kermack and McKendrick in 1926. In this mathematical model of the distribution of electric cigarettes (vape) using the SCIR model with assumptions and class groupings, namely susceptible class (S), try class (C), infected/addicted class (I), and recovery class (R). This e-cigarette spread model aims to provide an overview or other information about how the dynamics of e-cigarette addiction spread. The research method used is a quantitative descriptive literature study. In this type of research, materials were obtained from sources from bibliography and books relevant to this research. From the model and the assumptions formed, two equilibria are obtained, namely the equilibrium point free of E-cigarette addiction $E^0 = (N, 0, 0, 0)$ which is asymptotically stable locally when the value of the Basic Reproductive Number (R_0) < 1 , and the endemic equilibrium point $E^* = (S^*, C^*, I^*, R^*)$, which is locally asymptotically stable under certain conditions. The conclusion of this study is the result of the numerical simulation carried out

Keywords: Mathematical Modelling, E-Cigarette Addiction, SCIR Model

(*) Corresponding Author: endaryono612@gmail.com (081313224466)

How to Cite: Xxxxxx. (2022). Xxxx. *SainsMath: Jurnal MIPA Sains Terapan*, XX (x): x-xx.

PENDAHULUAN

Merokok merupakan suatu perilaku yang sering dilakukan masyarakat dalam kehidupan sehari-hari. Perilaku ini dapat ditemukan di berbagai tempat seperti pusat keramaian, jalan raya, sekolah, kantor dan berbagai moda transportasi. Di Indonesia, kebiasaan merokok adalah sesuatu yang lazim dilakukan baik pria maupun wanita dalam memanfaatkan kekosongan waktu. Dari hasil penelitian yang dilakukan, pria lebih mendominasi dengan 64,80% lebih banyak daripada wanita. Berdasarkan penelitian, Indonesia merupakan salah satu negara dengan tingkat perokok tinggi. Jumlah perokok di Indonesia mencapai 90 juta orang, dengan 40% di antaranya berasal dari golongan ekonomi rendah. (Ardiyani Sabir, Muhammad Asikin, and Ilham Willem 2019). Jumlah perokok tersebut terdiri dari 46,8% pria dan 3,1% wanita dengan kategori berusia di atas 10 tahun. Kecenderungan merokok juga merupakan masalah kesehatan yang cukup signifikan di Indonesia. Rokok menjadi penyebab kematian 200.000 orang setiap tahun (Asgara et al. 2023).

Rokok merupakan olahan tembakau terbungkus dan dihasilkan dari tanaman *nicotiana tabacum*, *nicotiana rustica* dan sejenisnya. Asap rokok diketahui mengandung kurang lebih sejumlah 4.000 jenis bahan kimia berbahaya, antara lain karbon monoksida, benzopirin, nikel, nitrosamin, nikotin, arsen, nitrosopirolidin, piridin, nitrogen oksida, formaldehid, tar dan fenol. Zat-zat tersebut diketahui merupakan substansi berbahaya yang dapat mencederai jaringan paru (Putra, Hanriko, and Kurniawaty 2019). Perilaku merokok sangat merugikan kesehatan bagi diri sendiri maupun orang lain yang disebabkan

kandungan yang berbahaya pada rokok tersebut. Saat ini rokok menjadi salah satu masalah kesehatan yang dihadapi Indonesia maupun Dunia. Sebagai usaha untuk mengatasi maraknya pengguna rokok, WHO (*World Health Organization*) membentuk divisi khusus yaitu WHO-FCTC (*Framework Convention on Tobacco Control*) untuk mengatasi masalah epidemik tembakau dengan metode terapi penggantian nikotin dan salah satunya dengan menggunakan ENDS (*Electronic Nicotine Delivery System*) atau yang lebih dikenal dengan rokok elektrik atau vape (B, Hamzah, 2021).

Dalam kalangan masyarakat Indonesia, rokok elektrik atau rokok elektronik semakin populer. Pasar rokok elektronik akhir-akhir ini mulai meluas dan menyebar dengan cukup signifikan. Banyak produsen yang memproklamkan bahwa produknya tidak berbau dan lebih sehat dari rokok biasa bahkan sampai memberi label “*Health*” pada kemasannya. Masyarakat yang kecanduan rokok dan ingin berhenti merokok memandang bahwa rokok elektrik sebagai alternatif solusi. Namun, hingga saat ini, masih kontroversial dan sebagian besar negara menganggapnya sebagai produk terlarang dan ilegal.

Dalam rokok elektrik terkandung nikotin, salah satu zat adiktif yang menyebabkan kecanduan dan menimbulkan perasaan tenang, marah, depresi dan cemas. Nikotin memberikan dampak negatif bagi masyarakat terutama bagi yang menderita penyakit jantung koroner. Menurut *sciencenews*, sebuah penelitian menunjukkan adanya bahaya pada rokok elektrik. Penelitian menemukan bahan kimia dalam rokok elektrik yang dapat merusak jaringan paru-paru dan zat berbahaya lainnya. Nikotin pada rokok memudahkan zat dari luar tubuh masuk ke dalam sel paru-paru (Ardiyani Sabir et al. 2019). Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh FDA (*Food And Drugs Administration*) pada tahun 2009 diketahui bahwa rokok elektrik mengandung zat yang bersifat toksik yaitu *Tobacco Specific Nitrosamin* dan karsinogen. Karena hal tersebut, FDA memberikan peringatan tentang bahaya toksik dan karsinogen yang terkandung dalam vape kepada masyarakat dan berakibat pada pembatasan distribusi dan penjualan rokok elektrik di Amerika dan beberapa Negara lain (Cleopatra, Fitriangga, and Fahdi 2018).

Beberapa negara telah memberlakukan kebijakan larangan terhadap penggunaan rokok elektrik untuk mengendalikan penyebaran rokok elektronik seperti Argentina, Brasil, Singapura, Thailand, dan Uruguay. Negara-negara tersebut sudah menyusun aturan atau regulasi penjualan dan pemasaran rokok elektrik. Indonesia juga sudah memiliki kebijakan terkait rokok elektrik yang telah ditetapkan dengan membuat peraturan impor rokok elektrik dan tarif cukai yang dikenakan (Agus Sriyanto 2022) .

Penyebaran dan penggunaan vape di Indonesia ini masih akan berkembang. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian dengan meninjau dari berbagai pendekatan, baik secara medis, psikologi, dan hukum. Pada penelitian yang kami lakukan, penyebaran dan penanggulangan vape ini dianalisis dengan meninjau melalui pendekatan pemodelan matematika. Pemodelan matematika digunakan untuk merepresentasikan dan menjelaskan sistem-sistem fisik atau masalah-masalah pada dunia nyata dalam pernyataan matematik sehingga diperoleh pemahaman dari problem dunia real tersebut menjadi lebih tepat. Representasi matematika yang dihasilkan dari proses ini dikenal sebagai model matematika. Model matematika digunakan dalam banyak disiplin ilmu dan bidang studi yang berbeda (Widowati and Sutimin 2017). Pendekatan ini dilakukan mengacu dengan mengamati unsur matematisnya, dimulai dengan membentuk asumsi, memodelkan dan menentukan parameter yang mempengaruhi penyebaran melalui analisis *basic reproductive number* hingga menentukan kestabilannya.

METODE

Metode penelitian yang digunakan yaitu penelitian studi literatur deskriptif kuantitatif. Pada jenis penelitian ini bahan-bahan didapatkan dengan bersumber dari daftar pustaka dan buku-buku yang relevan dengan penelitian ini. Secara umum langkah- Langkah alur penelitian yaitu sebagai berikut:

1. Membuat Diagram Kompartemen dan Model
Pada tahap penelitian ini, dibuat diagram kompartemen model matematika penyebaran kecanduan rokok elektrik (vape) dengan membentuk persamaan diferensial dari model tersebut.
2. Mencari bilangan reproduksi dasar dan titik ekuilibrium
Pada tahap ini, dicari bilangan reproduksi dasar dan titik ekuilibrium.
3. Analisis kestabilan titik ekuilibrium bebas penyakit
Pada tahap ini, diperiksa kestabilan titik ekuilibrium bebas penyakit yang telah didapat dari Langkah sebelumnya.
4. Nilai parameter
Ditentukan nilai parameter-parameter untuk melakukan simulasi numerik dengan kurva kestabilan titik ekuilibrium dapat ditinjau. Nilai-nilai parameter yang digunakan didapatkan dari berbagai sumber referensi. Nilai parameter yang besar disumsikan oleh peneliti.
5. Simulasi numerik
Simulasi numerik dilakukan untuk membuktikan teorema-teorema yang ada tentang titik ekuilibrium dan kestabilannya. Nilai parameter yang sudah didapatkan disubstitusikan ke dalam simulasi untuk memeriksa kestabilan titik ekuilibrium yang sudah didapatkan ditahapsebelumnya.
6. Kesimpulan
Selanjutnya penelitian dapat akan menyimpulkan atau dapat kesimpulan dari penelitian yang sudah dilakukan.

HASIL & PEMBAHASAN

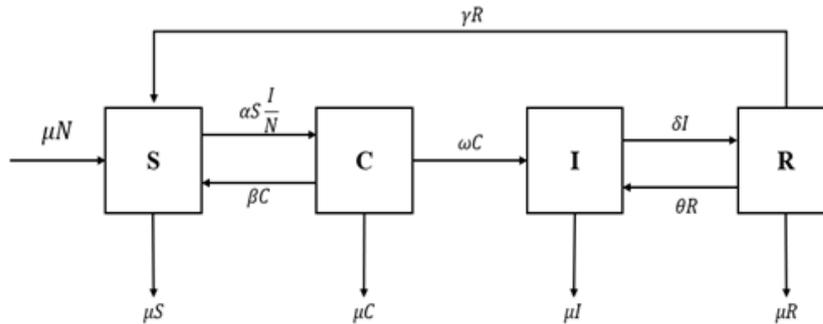
Formulasi Model

Model matematika penyebaran dan penanganan kecanduan rokok elektrik (vape) yang dibentuk dalam penelitian ini menggunakan pendekatan epidemiologi model SCIR. Pemodelan ini menggunakan struktur kompartemen yaitu memiliki bagian-bagian dan beberapa istilah yang didefinisikan dan padanannya dalam bidang epidemiologi. Istilah yang digunakan pada pemodelan ini antara lain: kelas rentan (*susceptible*), kelas yang hanya mencoba-coba (coba-coba), kelas terinfeksi (kecanduan) dan kelas penanganan (*Recovery*). Pemodelan dari penyebaran dan penanganan kecanduan rokok elektrik (vape) didasari dari studi literatur mengenai penyebaran dan penanganan kecanduan rokok elektrik (vape) dengan asumsi sebagai berikut:

1. Populasi dibagi menjadi dalam 4 kelas yaitu: kelas *susceptible* atau rentan (S), kelas coba-coba dan tertarik (C), kelas kecanduan (I) dan kelas *recovery* (R)
2. Laju kelahiran bersifat konstan dan setiap kelahiran dari tiap kelas masuk ke dalam (S)
3. Seorang individu pada kelas S akan menjadi seorang yang tertarik pada rokok elektrik (vape) (C) bila melihat atau berinteraksi dengan individu yang kecanduan dari kelas (I).
4. Jika seorang yang kecanduan terhadap rokok elektrik (I) maka akan ke proses penyembuhan atau pemulihan (R)

5. Jika proses penyembuhan atau pemulihan berhasil maka individu dalam kelas (R) akan kembali ke kelas (S)
6. Kematian alami dapat terjadi pada tiap kelas dengan laju sebesar μ .

Secara sederhana, alur penyebaran dan penanganan kecanduan Rokok Elektrik (Vape) menggunakan struktur kompartemen di Gambar 1, dengan $N = S + C + I + R$.



Gambar 1. Alur Penyebaran Kecandaun Rokok Elektrik (Vape)

Parameter-parameter yang digunakan dalam pemodelan penyebaran dan penanganan kecanduan Rokok Elektrik (Vape) dapat di lihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Deskripsi Parameter-parameter

Parameter	Deskripsi
μ	Angka kelahiran dan kematian
α	Laju penularan coba-coba/tertarik
ω	Laju penularan kecanduan
β	Laju kesembuhan dari coba-coba
γ	Laju kesembuhan dari kecanduan
δ	Laju penanganan dari kecanduan
θ	Laju kegagalan penanganan dari kecanduan

Model matematika penyebaran dan penanganan kecanduan rokok elektrik (vape) sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \frac{dS}{dt} &= \mu N + \beta C + \gamma R - \alpha S \frac{I}{N} - \mu S \\
 \frac{dC}{dt} &= \alpha S \frac{I}{N} - \omega C - \mu C - \beta C \\
 \frac{dI}{dt} &= \omega C + \theta R - \mu I - \delta I \\
 \frac{dR}{dt} &= \delta I - \gamma R - \mu R - \theta R
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Dengan $N = S + C + I + R$

Untuk mempermudah proses analisis titik ekuilibrium endemik dan kestabilan pada sistem persamaan (1), maka terlebih dahulu dilakukan proses penskalaan pada model tersebut atau bisa disebut *model scalling*. Diketahui bahwa $\dot{N} = 0$ dan misalkan $s = \frac{S}{N}$, $c = \frac{C}{N}$, $i = \frac{I}{N}$, dan $r = \frac{R}{N}$, sehingga diperoleh hasil penskalaan model matematika penyebaran dan penanganan kecanduan rokok elektrik (vape) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \dot{s} &= \mu + \gamma r + \beta c - \mu s - \alpha si \\
 \dot{c} &= \alpha si - \beta c - \mu c - \omega c \\
 \dot{i} &= \omega c + \theta r - \mu i - \delta i \\
 \dot{r} &= \delta i - \theta r - \gamma r - \mu r
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Analisis Model

Pada pemodelan matematika ini, untuk menjelaskan epidemiologi, R_0 merupakan bilangan reproduksi dasar yang diinterpretasikan sebagai nilai rata-rata populasi individu rentan (S) yang terinfeksi karena adanya kontak langsung dengan individu terinfeksi (I). (Giesecke 2017). Perolehan nilai R_0 mengindikasikan kondisi suatu epidemik atau wabah mungkin terjadi dan menyebar dengan suatu laju tertentu. R_0 pada model penyebaran kecanduan rokok elektrik (Vape) dihitung menggunakan metode Perasso (Perasso 2018)., berdasarkan hasil analisis, R_0 pada model ini adalah $\frac{\omega\alpha}{(\beta+\mu+\omega)(\mu+\delta)}$.

Untuk menentukan titik kesetimbangan atau ekuilibrium pada model maka dilakukan analisis pada sistem (2). Titik ekuilibrium adalah titik yang memenuhi persamaan $\dot{x} = f(\bar{x}) = 0$. Pada titik ini, solusi yang akan ditemukan akan bersifat konstan (Lynch 2014). Untuk menghitung titik ekuilibrium, tiap persamaan pada sistem (2) dibuat menjadi nol

$$\begin{aligned} \dot{s} &= \mu + \gamma r + \beta c - \mu s - \alpha si = 0 \\ \dot{c} &= \alpha si - \beta c - \mu c - \omega c = 0 \\ \dot{i} &= \omega c + \theta r - \mu i - \delta i = 0 \\ \dot{r} &= \delta i - \theta r - \gamma r - \mu r = 0 \end{aligned} \tag{3}$$

Titik ekuilibrium bebas kecanduan rokok elektrik (vape) (E^0) diperoleh dengan mengasumsikan tidak adanya individu yang kecanduan rokok elektrik (vape) ($i = 0, r = 0$). Saat $i = 0$, dari sistem persamaan (3) maka di peroleh $r = 0, c = 0, i = 0$ dan $s = \frac{\beta c + \gamma r + \mu}{\alpha si + \mu} = \frac{\mu}{\mu} = 1$. Akibatnya, diperoleh titik ekuilibrium bebas kecanduan rokok elektrik (vape) $E^0 = (1, 0, 0, 0)$.

Dalam pemecahan masalah model matematika pada penyebaran dan penanganan kecanduan rokok elektrik (vape) perlu diketahui bahwa kondisi kecanduan rokok elektrik (vape) berjalan secara terus menerus dalam penyebaran dan penanganan. Oleh sebab itu ditentukan titik ekuilibrium endemik penyebaran dan penanganan kecanduan rokok elektrik (vape), yaitu $E^* = (s^*, c^*, i^*, r^*)$.

Langkah awal untuk mengidentifikasi titik ekuilibrium adalah menentukan $s = c = i = r = 0$, sehingga turunan pertamanya bernilai nol seperti yang telah dilakukan pada sistem persamaan (3). Sehingga di peroleh titik ekuilibrium endemik kecanduan rokok elektrik (vape) dengan menggunakan aplikasi wolfram mathematica adalah:

$$\begin{aligned} s^* &= \frac{(\gamma(\delta+\mu)+\mu(\delta+\theta+\mu))(\beta+\mu+\omega)}{\alpha(\gamma+\theta+\mu)\omega} \\ c^* &= -\frac{(\gamma(\delta+\mu)+\mu(\delta+\theta+\mu))((\beta+\mu)(\gamma(\delta+\mu)+\mu(\delta+\theta+\mu))+(\gamma(\delta+\mu)-\alpha(\gamma+\theta+\mu)+\mu(\delta+\theta+\mu))\omega)}{\alpha(\gamma+\theta+\mu)\omega((\delta+\theta+\mu)(\mu+\omega)+\gamma(\delta+\mu+\omega))} \\ i^* &= -\frac{(\beta+\mu)(\gamma(\delta+\mu)+\mu(\delta+\theta+\mu))+(\gamma(\delta+\mu)-\alpha(\gamma+\theta+\mu)+\mu(\delta+\theta+\mu))\omega}{\alpha((\delta+\theta+\mu)(\mu+\omega)+\gamma(\delta+\mu+\omega))} \\ r^* &= -\frac{\delta(\beta+\mu)(\gamma(\delta+\mu)+\mu(\delta+\theta+\mu))+\delta(\gamma(\delta+\mu)-\alpha(\gamma+\theta+\mu)+\mu(\delta+\theta+\mu))\omega}{\alpha(\gamma+\theta+\mu)((\delta+\theta+\mu)(\mu+\omega)+\gamma(\delta+\mu+\omega))} \end{aligned}$$

Kestabilan pada titik ekuilibrium pada umumnya dibagi menjadi tiga jenis yaitu tidak stabil, stabil asimtotik (Olsder and Woude 2014). Analisis stabilitas didasarkan pada nilai eigen hasil proses linearisasi sistem dari matriks Jacobian di sekitar titik kesetimbangan sistem persamaan (1). Titik ekuilibrium tidak stabil jika ada nilai eigen yang bernilai positif, sedangkan titik ekuilibrium stabil jika semua nilai eigennya negatif. Nilai eigen itu sendiri diturunkan dari akar persamaan karakteristik matriks Jacobi.

Teorema. Jika $R_0 < 1$ untuk persamaan karakteristik yang diperoleh, maka titik ekuilibrium (E^0) bersifat stabil asimtotik lokal.

Bukti

Untuk menentukan jenis kestabilan, dianalisis matriks Jacobi J dari sistem persamaan (2).

Matriks Jacobi yang diperoleh dari persamaan tersebut adalah

$$J = \begin{bmatrix} -i\alpha - \mu & \beta & -s\alpha & \gamma \\ i\alpha & -\beta - \mu - \omega & s\alpha & 0 \\ 0 & \omega & -\delta - \mu & \theta \\ 0 & 0 & \delta & -\gamma - \theta - \mu \end{bmatrix}$$

Dengan melakukan substitusi nilai $E^0 = (1,0,0,0)$ sehingga diperoleh matriks Jacobi $J(E^0)$ sebagai berikut:

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

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

$$\begin{bmatrix} \lambda & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -\mu & \beta & -\alpha & \gamma \\ 0 & -\beta - \mu - \omega & \alpha & 0 \\ 0 & \omega & -\delta - \mu & \theta \\ 0 & 0 & \delta & -\gamma - \theta - \mu \end{bmatrix} = 0$$

$$\begin{bmatrix} \lambda + \mu & -\beta & \alpha & -\gamma \\ 0 & \lambda + \beta + \mu + \omega & -\alpha & 0 \\ 0 & \omega & \lambda + \delta + \mu & \theta \\ 0 & 0 & \delta & \lambda + \gamma + \theta + \mu \end{bmatrix} = 0$$

Selanjutnya nilai eigen akan dicari dengan metode Ekspansi Kofaktor sebagai berikut.

$$(\lambda + \mu) \begin{bmatrix} \lambda + \beta + \mu + \omega & -\alpha & 0 \\ \omega & \lambda + \delta + \mu & \theta \\ 0 & \delta & \lambda + \gamma + \theta + \mu \end{bmatrix} = 0$$

$$(\lambda + \mu) \left((\lambda + \gamma + \theta + \omega) \begin{bmatrix} \lambda + \beta + \mu + \omega & -\alpha \\ \omega & \lambda + \delta + \mu \end{bmatrix} \right) = 0$$

$$(\lambda + \mu) \left((\lambda + \gamma + \theta + \omega) \begin{bmatrix} \lambda + \beta + \mu + \omega & -\alpha \\ \omega & \lambda + \delta + \mu \end{bmatrix} \right) = 0$$

$$(\lambda + \mu)(\lambda + \gamma + \theta + \omega)[(\lambda + \beta + \mu + \omega)(\lambda + \delta + \mu) + \omega(-\alpha)] = 0$$

Dari persamaan karakteristik tersebut diperoleh

$$\lambda_1 = -\mu$$

$$\lambda_2 = -\gamma - \theta - \mu$$

$$\lambda_3 = -\alpha\omega + (\delta + \mu)(\beta + \mu + \omega)$$

Kemudian akan dibuktikan bahwa λ_3 bernilai negatif untuk $R_0 < 1$

$$R_0 < 1$$

$$\frac{\omega\alpha}{(\beta + \mu + \omega)(\mu + \delta)} < 1$$

$$\omega\alpha < (\beta + \mu + \omega)(\mu + \delta)$$

$$\omega\alpha - (\beta + \mu + \omega)(\mu + \delta) < 0$$

$$\lambda_3 < 0$$

Maka λ_3 bernilai negatif.

Untuk $R_0 < 1$ maka dapat dilihat persamaan karakteristiknya memiliki tiga akar negatif. Hal ini berarti bahwa titik ekuilibrium bebas penyakit (E^0) stabil asimtotik lokal.

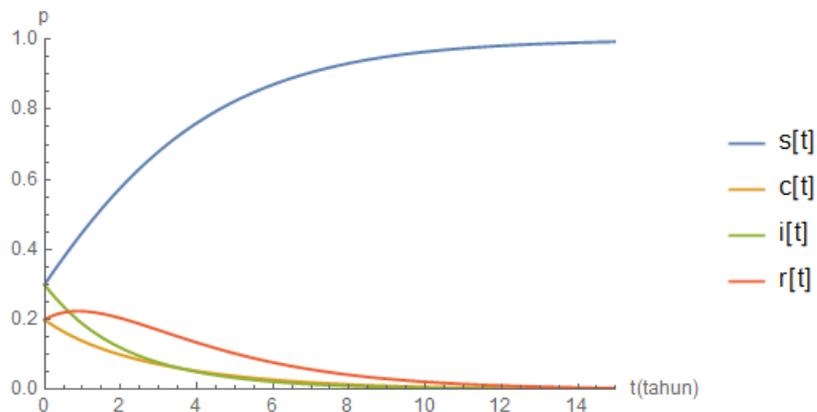
Simulasi Numerik

Kestabilan Saat $R_0 < 1$

Tabel 2. Nilai Parameter $R_0 < 1$

Parameter	Nilai
μ	0,01
α	0,3
β	0,5
ω	0,018
δ	0,5
θ	0,03
γ	0,4

Dari semua nilai parameter yang diberikan pada Tabel 1, bilangan reproduksi dasar yang diperoleh adalah 0.0200535, 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 $s(0) = 0,3$, $c(0) = 0,2$, $i(0) = 0,3$, $r(0) = 0,2$ dalam waktu 15 tahun. Adapun hasil numerik yang dilakukan seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Dinamik model (2.5)-(2.8) untuk $R_0 < 1$

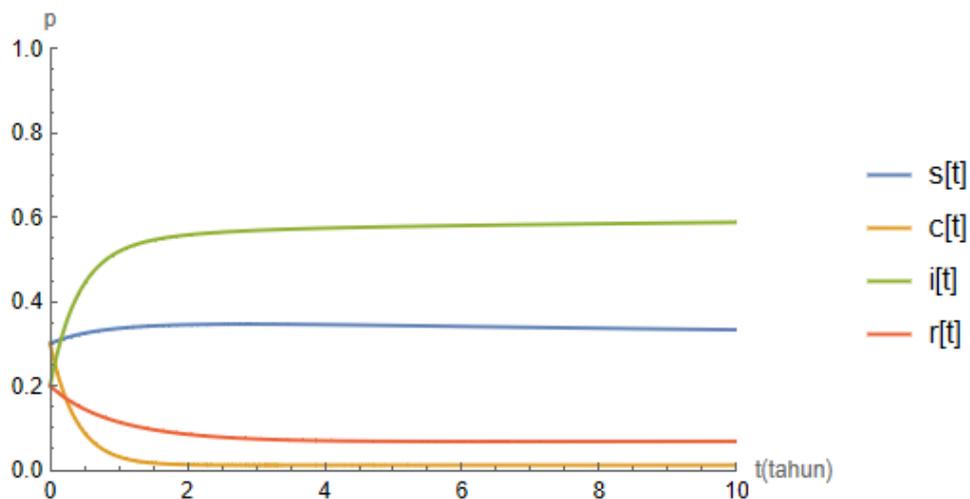
Pada Gambar 2, dapat dilihat bahwa hasil simulasi numerik untuk $R_0 < 1$ menunjukkan sistem memiliki kecenderungan menuju titik ekuilibrium bebas kecanduan rokok elektrik E^0 . Hasil ini relevan dengan hasil analisis kestabilan yang telah dilakukan yaitu titik ekuilibrium bebas kecanduan rokok elektrik (vape) E^0 stabil asimtotis lokal untuk $R_0 < 1$.

Kestabilan Saat $R_0 > 1$

Tabel 1. Nilai Parameter $R_0 > 1$

Paremater	Nilai
μ	0,01
α	0,15
β	0,045
ω	2,5
δ	0,1
θ	0,55
γ	0,3

Simulasi numerik saat $R_0 > 1$, untuk nilai parameter seperti yang tercantum pada Tabel 3. yang diambil secara acak, dimana memiliki nilai $R_0 = 1,33428$ dan memiliki sistem numerik yang berbeda dengan memberikan nilai awal tertentu simulasi numerik saat $R_0 > 1$ yang dihasilkan pada model penyebaran rokok elektrik.



Gambar 3. Dinamik model untuk $R_0 > 1$

Gambar 3 menunjukkan bahwa seiring dengan jalannya waktu, jumlah individu pada kelas i mengalami peningkatan yang cukup tinggi dalam rentang waktu kurang dari 1 tahun dan stabil menuju titik tetapnya pada kurun waktu lebih dari 2 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa setelah melewati 2 tahun, penyebaran rokok elektrik meningkat secara signifikan, kejadian ini dimungkinkan penyebaran pada pengguna rokok elektrik yang dilakukan penjual maupun pemakai selalu berhasil sehingga pemakai rokok elektrik meningkat secara drastis dan cepat.

KESIMPULAN

Berdasarkan asumsi-asumsi yang dibentuk, dapat diperoleh kesimpulan dari model matematika penyebaran rokok elektrik (vape) yaitu:

1. Model matematika penyebaran kecanduan rokok elektrik (Vape) adalah :

$$\frac{dS}{dt} = \mu N + \beta C + \gamma R - \alpha S \frac{I}{N} - \mu S$$

$$\frac{dC}{dt} = \alpha S \frac{I}{N} - \omega C - \mu C - \beta C$$

$$\frac{dI}{dt} = \omega C + \theta R - \mu I - \delta I$$

$$\frac{dR}{dt} = \delta I - \gamma R - \mu R - \theta R$$

$$\text{Dengan } N = S + C + I + R$$

2. Dari model yang terbentuk diperoleh penyelesaian berupa titik ekuilibrium bebas kecanduan rokok elektrik (Vape) $E^0 = (1,0,0,0)$ dan titik ekuilibrium endemik atau kecanduan rokok elektrik adalah $E^* = (s^*, c^*, i^*, r^*)$. Dari hasil analisis yang dilakukan, titik ekuilibrium E^0 bersifat stabil asimtotis lokal untuk $R_0 < 1$ dan dari hasil simulasi numerik titik ekuilibrium E^* terindikasi bersifat stabil asimtotis lokal untuk nilai $R_0 > 1$.

REFERENSI

- Agus Sriyanto, Dkk. 2022. "Dampak Konsumsi Rokok Konvensional Dan Rokok Elektrik Terhadap Kesehatan, Penerimaan Negara." *Jurnal Perspektif Bea Dan Cukai* 6:428–50.
- Ardiyani Sabir, Muhammad Asikin, and Ilham Willem. 2019. "Pengaruh Uap Rokok Elektrik Terhadap Kualitas Udara Ambien Pada Lingkungan Pengguna Rokok Elektrik Di Kota Parepare." *Jurnal Ilmiah Manusia Dan Kesehatan* 2(3):447–58. doi: 10.31850/makes.v2i3.190.
- Asgara, Wiga Jatih, Heni Trisnowati, Hesti Yuningrum, and Naomi Nisari Rosdewi. 2023. "Prediktor Penggunaan Rokok Elektrik Pada Remaja Di Kecamatan Sambelia Lombok Timur." *Jurnal Formil (Forum Ilmiah) Kesmas Respati* 8(1):82. doi: 10.35842/formil.v8i1.486.
- B, Hamzah. 2021. "Determinan Penggunaan Rokok Elektrik Pada Remaja Di Kelurahan Mogolaing Kotamobagu." *Jurnal Kesmas (Kesehatan Masyarakat) Khatulistiwa* 8(1):1. doi: 10.29406/jkkm.v8i1.2466.
- Cleopatra, Avelintina Brigida, Agus Fitriangga, and Faisal Kholid Fahdi. 2018. "Factors Related to the Use of E-Cigarettes in the West Pontianak Region." *Repository Institusi Poltekkes Kemenkes Bandung* 013:1–10.
- Giesecke, Johan. 2017. *Modern Infectious Disease Epidemiology Third Edition*. New York: Taylor & Francis Group.
- Lynch, Stephen. 2014. *Dynamical Systems with Applications Using MATLAB Second Edition*. London: Springer International Publishing.
- Older, G. J., and J. W. van der Woude. 2014. *Mathematical Systems Theory*. Delft: Delft University Press.
- Perasso, Antoine. 2018. "An Introduction to The Basic Reproduction Number in Mathematical Epidemiology." *ESAIM: Proceedings and Surveys* 62(September):123–38. doi: 10.1051/proc/201862123.
- Putra, Arba Indra, Rizki Hanriko, and Evi Kurniawaty. 2019. "Pengaruh Efek Paparan Asap Rokok Elektrik Dibandingkan Paparan Asap Rokok Konvensional Terhadap Gambaran Histopatologi Paru Mencit Jantan (Mus Musculus) The Effect Of

Exposure Elektrical Cigarette Smoke Compared With Cigarette Smoke Conventional On The.” Jurnal Majority 8(1):90–94.

Widowati, and Sutimin. 2017. *Buku Ajar Pemodelan Matematika*. Semarang: FMIPA Universitas Diponegoro.