

MATEMATIKA DAN SIMULASI PENYEBARAN PERILAKU MEROKOK TERHADAP LAKI-LAKI DENGAN MEMPERHATIKAN FAKTOR LINGKUNGAN PERTEMANAN

Maria Redegundis Lopena¹, Faustianus Luan², Leonardus Frengky Obe³, Fried M. Allung Blegur⁴

^{1,2}program Studi Matematika, Universitas Timor, ³program Studi Pendidikan Matematika, Universitas Timor

Email: edislopena@gmail.com¹, luanfausty5@gmail.com², frengkyobe@gmail.com³,
allung.friedblegur@gmail.com⁴

ABSTRACT

Cigarettes are processed tobacco products that are rolled with paper either by hand or by machine. Smoking behavior is an activity of burning tobacco, smoking and exhaling the smoke. Smoking has been known to be a risk factor because it contains chemicals that are detrimental to health. Mathematics is one of the sciences that can analyze problems that occur in life using mathematical modeling. One of the problems that can be studied with mathematical models is the spread of smoking behavior. The study examined the spread of smoking behavior among men, taking into account environmental factors of friendship. The model is divided into four subpopulations: male potential smokers (S), male only trying to smoke (D), male active smoker (A), male recovered from the influence of smoking (R). Based on the results of the study, two balance points were obtained: the balance point of smoking-free (T) and the endemic balance point (T^*). The simulation of the point of equilibrium-free-smoking (T) showed that the value of $\mathcal{R}_0 = 0,122549 < 1$, then the smoker's behaviour decreased and disappeared over time. The endemical balance point simulation (T^*), showed the value $\mathcal{R}_0 = 12,2549 < 1$, so that smoker behavior would increase and each smoker could pass on more than one new smoker so that the smoker's conduct would become more widespread.

Keywords: Smoking, mathematical models, balance points, basic reproductive numbers.

ABSTRAK

Rokok adalah hasil olahan tembakau yang digulung/dilinting dengan kertas baik menggunakan tangan atau mesin. Perilaku merokok merupakan suatu aktivitas membakar tembakau, menghisap lalu menghembuskan asapnya. Merokok telah diketahui menjadi faktor resiko karena mengandung zat-zat kimia yang berdampak buruk bagi kesehatan. Matematika merupakan salah satu ilmu yang dapat menganalisa masalah yang terjadi dalam kehidupan dengan menggunakan pemodelan matematika. Salah satu masalah yang dapat dikaji dengan model matematika adalah penyebaran perilaku merokok. Penelitian ini mengkaji penyebaran perilaku merokok terhadap laki-laki dengan memperhatikan faktor lingkungan pertemanan. Model ini membagi menjadi empat subpopulasi yaitu: subpopulasi laki-laki yang berpotensi menjadi perokok (S), subpopulasi laki-laki yang hanya coba-coba merokok (D), subpopulasi laki-laki perokok aktif (A), subpopulasi laki-laki yang sembuh dari pengaruh rokok (R). Berdasarkan hasil penelitian diperoleh dua titik ekuilibrium yaitu titik ekuilibrium bebas merokok (T) dan titik ekuilibrium endemik (T^*). Hasil simulasi titik ekuilibrium bebas merokok (T) menunjukkan bahwa nilai $\mathcal{R}_0 = 0,122549 < 1$, maka perilaku merokok berkurang dan akan hilang seiring berjalannya waktu. Hasil simulasi titik ekuilibrium endemik (T^*) menunjukkan bahwa nilai $\mathcal{R}_0 = 12,2549 > 1$, maka perilaku merokok akan meningkat dan setiap perokok dapat menularkan perilaku merokoknya kepada lebih dari satu perokok baru sehingga perilaku merokok semakin meluas.

Kata kunci: Merokok, model matematika, titik ekuilibrium, bilangan reproduksi dasar.

PENDAHULUAN

Rokok adalah hasil olahan tembakau yang digulung/dilinting dengan kertas baik menggunakan tangan atau mesin. Rokok mengandung lebih dari 4000 jenis senyawa kimia, 400 zat berbahaya dan 43 zat

penyebab kanker (*karsinogenik*). Bahan kimia utama pada rokok adalah nikotin, tar dan karbonmonoksida. Perilaku merokok merupakan suatu aktivitas membakar tembakau, menghisap lalu menghembuskan asapnya. Merokok telah diketahui menjadi faktor resiko karena mengandung zat-zat kimia yang berdampak buruk bagi kesehatan. Bahan kimia yang terdapat dalam rokok, dapat mengakibatkan berbagai penyakit seperti penyakit jantung, hipertensi, kanker dan penyakit lainnya. Bahaya merokok sebenarnya sudah sering disosialisasikan, namun kebiasaan merokok masih sulit untuk dikendalikan (Kemenkes RI, 2017).

World Health Organization (WHO, 2013) mengatakan bahwa Indonesia menjadi negara dengan perokok terbanyak ketiga di dunia. Data Badan Pusat Statistik Provinsi NTT (2021) menunjukkan bahwa terdapat peningkatan persentase penduduk di wilayah TTU yang merokok tembakau setiap hari yaitu 15,58% pada tahun 2019 menjadi 18,03% di tahun 2021. Sedangkan perokok kadang-kadang menurun dari 5,68% di tahun 2019 menjadi 5,06% pada tahun 2021. Kemudian perokok yang tidak merokok menurun dari 78,74% di tahun 2019 menjadi 75,97% pada tahun 2021.

Matematika merupakan salah satu ilmu yang dapat menganalisa masalah yang terjadi dalam kehidupan dengan menggunakan pemodelan matematika. Salah satu masalah yang dapat dikaji dengan model matematika adalah penyebaran perilaku merokok. Penyebaran perilaku merokok dapat disusun berdasarkan konsep model *Susceptible, Infected, and Recovered* (SIR), yang pertama kali diperkenalkan oleh Kermack McHendrik (Kasbawati, 2017). Model SIR digunakan untuk mengetahui penyebaran perilaku merokok dalam suatu populasi.

Penelitian penyebaran perilaku merokok sudah diperkenalkan oleh Govan dan Ratianingsih (2016), tentang membangun model penyebaran perilaku merokok berdasarkan faktor biologis dan faktor lingkungan sosial. Hasil yang diperoleh yaitu perilaku merokok tidak akan hilang dari populasi serta menyebabkan endemik dalam populasi yang berarti setiap perokok dapat menularkan perilaku merokoknya kepada lebih dari satu perokok baru sehingga pada akhirnya penyebaran perilaku merokok yang meluas. Selanjutnya, Fadhilah dan Maulana (2022), meneliti tentang model dinamika kecanduan rokok pada pria dan wanita. Hasil penelitian yang diperoleh yaitu populasi perokok selalu ada dan berpotensi adanya penyebaran perokok yang menyebabkan orang lain menjadi perokok.

Berdasarkan kedua penelitian diatas, maka peneliti terinspirasi untuk mengkaji secara khusus penyebaran perilaku merokok terhadap laki-laki dengan memperhatikan faktor lingkungan pertemanan. Dimana, lingkungan pertemanan mempunyai peranan yang besar dalam mempengaruhi perilaku merokok laki-laki. Banyak laki-laki yang awalnya hanya coba-coba merokok tetapi akhirnya kecanduan rokok, karena, dalam kesehariannya selalu berinteraksi bersama teman-teman. Model yang digunakan dalam penelitian ini adalah model *S, D, A, R* yang dibagi menjadi empat subpopulasi dimana: *S* yaitu subpopulasi laki-laki yang berpotensi menjadi perokok, *D* yaitu subpopulasi laki-laki yang hanya coba-coba merokok, *A* yaitu subpopulasi laki-laki perokok ktif, *R* yaitu subpopulasi laki-laki yang sembuh dari pengaruh rokok.

Berdasarkan uraian diatas, peneliti tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul "Pemodelan Matematika Dan Simulasi Penyebaran Perilaku Merokok Terhadap Laki-laki Dengan Memperhatikan Faktor Lingkungan Pertemanan".

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi pustaka yaitu dengan melakukan kajian pustaka mengenai teori yang mendukung permasalahan yang dihadapi. Kajian pustaka yang digunakan diperoleh yaitu jurnal, artikel, prosiding, dan buku-buku referensi terkait model matematika penyebaran perilaku merokok. langkah-langkah dalam penelitian mengenai model penyebaran perilaku merokok laki-laki dengan memperhatikan faktor lingkungan pertemanan adalah sebagai berikut: menentukan titik ekuilibrium, menentukan nilai eigen dan vektor eigen, menentukan

bilangan reproduksi dasar dengan *The Next Generation Matrix*, menentukan linearisasi sistem disekitar titik ekuilibrium, menganalisis kestabilan titik ekuilibrium, menentukan kriteria *Routh-Hurwitz* dan melakukan simulasi numerik menggunakan *software mathematica 10.0* pada kondisi $\mathcal{R}_0 < 1$ dan $\mathcal{R}_0 > 1$.

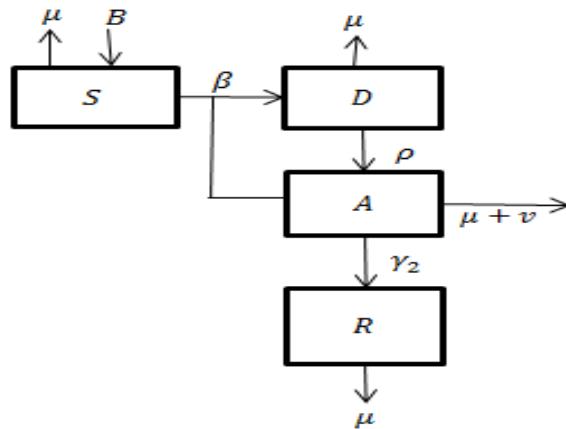
HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Model Matematika

populasi dibagi menjadi empat subpopulasi yaitu:: subpopulasi laki-laki yang berpotensi menjadi perokok (S), subpopulasi laki-laki yang hanya coba-coba merokok (D), subpopulasi laki-laki perokok (A), dan subpopulasi laki-laki yang sembuh dari pengaruh rokok (R). Adapun asumsi-asumsi yang diperhatikan dalam membuat model S, D, A, R , yaitu:

- Setiap individu yang lahir dalam populasi diasumsikan rentan menjadi perokok.
- Penularan perilaku merokok terjadi karena adanya interaksi antara subpopulasi laki-laki berpotensi merokok dengan subpopulasi remaja laki-laki perokok aktif.
- Jumlah rokok yang dikonsumsi setiap hari tidak dipertimbangkan.
- Subpopulasi yang diberikan *treatment* tidak dipertimbangkan.
- Subpopulasi laki-laki perokok tidak dapat kembali ke subpopulasi laki-laki yang hanya coba-coba merokok karena telah mendapat kenyamanan dari rokok.
- Subpopulasi laki-laki yang hanya coba-coba merokok tidak dapat sembuh dari pengaruh rokok karena coba-coba merokok membuat seseorang semakin ketagihan dan sulit untuk berhenti merokok.
- Subpopulasi laki-laki yang sembuh dari pengaruh rokok tidak akan kambuh lagi karena adanya kesadaran seseorang pada efek rokok bagi kesehatan.

Berdasarkan asumsi-asumsi di atas, diperoleh model matematika penyebaran perilaku merokok terhadap laki-laki dengan memperhatikan faktor lingkungan pertemanan yaitu:



Gambar 1. Model Penyebaran Perilaku Merokok

Berdasarkan Gambar 1, diperoleh sistem persamaan diferensial berikut:

$$\begin{aligned}
 \frac{dS}{dt} &= B - (\beta A + \mu)S \\
 \frac{dD}{dt} &= \beta SA - (\rho + \mu)D \\
 \frac{dA}{dt} &= \rho D - (\mu + \nu + \gamma_2)A \\
 \frac{dR}{dt} &= \gamma_2 A - \mu R
 \end{aligned} \tag{1}$$

Subpopulasi laki-laki berpotensi menjadi perokok (S) meningkat karena adanya laju individu baru sebesar (B). Subpopulasi laki-laki berpotensi menjadi perokok (S) berinteraksi dengan subpopulasi laki-laki perokok aktif (A) sehingga subpopulasi laki-laki berpotensi merokok menjadi subpopulasi laki-laki yang hanya coba-coba merokok (D) dengan laju perpindahan sebesar (β). Kemudian, subpopulasi laki-laki yang hanya coba-coba merokok (D) berpindah ke subpopulasi laki-laki perokok (A) dengan laju sebesar (ρ). Subpopulasi laki-laki perokok (A) dapat sembuh dari pengaruh rokok sehingga berpindah ke subpopulasi (R) dengan laju sebesar (γ). Setiap subpopulasi mengalami kematian alami dengan laju sebesar (μ) dan kematian yang disebabkan oleh rokok dengan laju sebesar (ν) pada subpopulasi laki-laki perokok.

Tabel 3. Deskripsi Parameter dalam Model SDAR

Parameter	Keterangan	Syarat	Nilai Parameter	Sumber
μ	Menyatakan laju kematian alami.	$\mu > 0$	0,021	Asumsi
ν	Menyatakan laju transfer sub populasi penularan.	$\nu > 0$	0,01	Govan, dkk (2016)
B	Menyatakan individu baru yang masuk ke subpopulasi yang berpotensi menjadi perokok.	$B > 0$	2	Govan, dkk (2016)
β	Menyatakan laju penyebaran perilaku merokok.	$\beta > 0$	0,00007 - 0,007	Asumsi
ρ	Menyatakan laju penyebaran perilaku merokok dari subpopulasi coba-coba ke subpopulasi perokok (faktor lingkungan pertemanan).	$\rho > 0$	0,03	Govan, dkk (2016)
γ	Laju kesembuhan dari subpopulasi perokok merokok ke subpopulasi yang sembuh dari pengaruh rokok.	$\gamma > 0$	0,001	Asumsi

2. Titik Ekuilibrium

Dalam menentukan titik ekuilibrium pada persamaan diferensial (1), titik ekuilibrium diperoleh dengan menyelesaikan persamaan: $\frac{dS}{dt} = \frac{dD}{dt} = \frac{dA}{dt} = \frac{dR}{dt} = 0$, sehingga menghasilkan dua titik ekuilibrium, yaitu:

a. Titik Ekuilibrium Bebas Merokok (T)

$$T = \left\{ S = \frac{B}{\mu}, D = 0, A = 0, R = 0 \right\}$$

b. Titik Ekuilibrium Endemik

$$T^* = \{S^*, D^*, A^*, R^*\}, \text{ dimana:}$$

$$S^* = \frac{(\rho + \mu)(\mu + \nu + \gamma)}{\beta \rho}$$

$$D^* = -\frac{\mu(\mu + \nu + \gamma)}{\beta \rho} + \frac{B}{(\rho + \mu)}$$

$$A^* = \frac{B\beta\rho - \mu(\rho + \mu)(\mu + \nu + \gamma)}{\beta(\rho + \mu)(\mu + \nu + \gamma)}$$

$$R^* = \frac{\gamma(B\beta\rho - \mu(\rho + \mu)(\mu + \nu + \gamma))}{\beta\mu(\rho + \mu)(\mu + \nu + \gamma)}$$

c. Bilangan Reproduksi Dasar

Bilangan reproduksi dasar diperoleh dengan menggunakan metode *The Next Generation Matrix* (NGM) pada titik ekuilibrium bebas merokok (T). Langkah pertama adalah menentukan

matriks transmisi F dan transmisi V dan kemudian dicari spectral radius dari FV^{-1} sehingga diperoleh:

$$F = \begin{bmatrix} 0 & \beta S \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ dan } V = \begin{bmatrix} -\rho - \mu & 0 \\ \rho & -\mu - \nu - \gamma' \end{bmatrix}$$

Diperoleh matriks

$$FV^{-1} = \begin{bmatrix} -\frac{\beta B \rho}{\mu(-\rho-\mu)(-\mu-\nu-\gamma)} & \frac{\beta B}{\mu(-\rho-\mu)} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

karena $|FV^{-1}| = 0$, maka diperoleh:

$$\mathcal{R}_0 = \frac{\beta B \rho}{\mu(\rho + \mu)(\mu + \nu + \gamma)}$$

d. Analisis Kestabilan Titik Ekuilibrium

Untuk analisis kestabilan titik ekuilibrium bebas merokok, persamaan (1) ditulis dalam bentuk:

$$\begin{aligned} f_1(S, D, A, R) &= B - (\beta A + \mu)S, \\ f_2(S, D, A, R) &= \beta S A - (\rho + \mu)D, \\ f_3(S, D, A, R) &= \rho D - (\mu + \nu + \gamma)A, \\ f_4(S, D, A, R) &= \gamma A - \mu R, \end{aligned}$$

untuk menentukan kestabilan di sekitar titik ekuilibrium bebas merokok (T), awalnya dilakukan pelinearan terhadap persamaan (1), diperoleh matriks jacobian:

$$J = \begin{bmatrix} -\beta A - \mu & 0 & -\beta S & 0 \\ \beta A & -\rho - \mu & \beta S & 0 \\ 0 & \rho & -\mu - \nu - \gamma & 0 \\ 0 & 0 & \gamma & -\mu \end{bmatrix}$$

dengan mensubstitusikan titik ekuilibrium bebas merokok (T) pada matriks Jacobi, diperoleh:

$$J(T) = \begin{bmatrix} -\mu & 0 & -\frac{\beta B}{\mu} & 0 \\ \beta A & -\rho - \mu & \frac{\beta B}{\mu} & 0 \\ 0 & \rho & -\mu - \nu - \gamma & 0 \\ 0 & 0 & \gamma & -\mu \end{bmatrix}$$

nilai eigen diperoleh dengan menentukan $|\lambda I - jT| = 0$ untuk mendapatkan persamaan karakteristik yaitu:

$$\begin{vmatrix} \lambda + \mu & 0 & \frac{\beta B}{\mu} & 0 \\ 0 & \lambda + \rho + \mu & -\frac{\beta B}{\mu} & 0 \\ 0 & -\rho & \lambda + \mu + \nu + \gamma & 0 \\ 0 & 0 & -\gamma & \lambda + \mu \end{vmatrix} = 0$$

dengan menggunakan aturan kofaktor, maka determinan matriks di atas dapat dihitung sebagai berikut:

$$\lambda + \mu \begin{vmatrix} \lambda + \rho + \mu & -\frac{\beta B}{\mu} & 0 \\ -\rho & \lambda + \mu + \nu + \gamma & 0 \\ 0 & -\gamma & \lambda + \mu \end{vmatrix}$$

$$[\lambda + \mu][(\lambda + \rho + \mu)(\lambda + \mu + \nu + \gamma)(\lambda + \mu)] - \left[\left(-\frac{\beta B}{\mu} \right) (-\rho)(\lambda + \mu) \right] = 0$$

$$(\lambda + \mu) \left[\lambda^3 + \lambda^2(3\mu + \nu + \gamma + \rho) + \lambda \left(2\rho\mu + \rho\nu + \rho\gamma + \mu\nu + 2\gamma\mu + 3\mu^2 - \frac{\beta B\rho}{\mu} \right) + (\rho\mu^2 + \rho\mu\nu + \rho\gamma\mu + \mu^3 + \mu^2\nu + \gamma\mu^2 - \beta B\rho) \right] = 0$$

Maka, diperoleh nilai eigen sebagai berikut:

$$\lambda + \mu = 0$$

$$\lambda_1 = -\mu$$

Sementara untuk melihat kestabilan nilai eigen lainnya, digunakan Kriteria Routh-Hurwitz:

$$\lambda^3 + \lambda^2(3\mu + \nu + \gamma + \rho) + \lambda \left(2\rho\mu + \rho\nu + \rho\gamma + \mu\nu + 2\gamma\mu + 3\mu^2 - \frac{\beta B\rho}{\mu} \right) + (\rho\mu^2 + \rho\mu\nu + \rho\gamma\mu + \mu^3 + \mu^2\nu + \gamma\mu^2 - \beta B\rho)$$

Dimana:

$$a_0 = 1$$

$$a_1 = 3\mu + \nu + \gamma + \rho$$

$$a_2 = 2\rho\mu + \rho\nu + \rho\gamma + \mu\nu + 2\gamma\mu + 3\mu^2 - \frac{\beta B\rho}{\mu}$$

$$a_3 = \rho\mu^2 + \rho\mu\nu + \rho\gamma\mu + \mu^3 + \mu^2\nu + \gamma\mu^2 - \beta B\rho$$

Persamaan diatas dapat dituliskan dalam bentuk:

$$a_0\lambda^3 + a_1\lambda^2 + a_2\lambda + a_3 = 0$$

Menurut kriteria Routh-Hurwitz, akan stabil jika memenuhi syarat kestabilan:

a. Akan ditunjukkan $a_1 > 0$

$$a_1 = 3\mu + \nu + \gamma + \rho > 0$$

b. Akan ditunjukkan $a_2 > 0$

$$a_2 = 2\rho\mu + \rho\nu + \rho\gamma + \mu\nu + 2\gamma\mu + 3\mu^2 - \frac{\beta B\rho}{\mu} > 0$$

$$= 2\rho\mu + \rho\nu + \rho\gamma + \mu\nu + 2\gamma\mu + 3\mu^2 > \frac{\beta B\rho}{\mu}$$

c. Akan ditunjukkan $a_3 > 0$

$$a_3 = \rho\mu^2 + \rho\mu\nu + \rho\gamma\mu + \mu^3 + \mu^2\nu + \gamma\mu^2 - \beta B\rho > 0$$

$$= \rho\mu^2 + \rho\mu\nu + \rho\gamma\mu + \mu^3 + \mu^2\nu + \gamma\mu^2 > \beta B\rho$$

d. Akan ditunjukkan $a_1 a_2 > a_3$

$$(3\mu + \nu + \gamma + \rho) \left(2\rho\mu + \rho\nu + \rho\gamma + \mu\nu + 2\gamma\mu + 3\mu^2 - \frac{\beta B\rho}{\mu} \right) > \rho\mu^2 + \rho\mu\nu + \rho\gamma\mu + \mu^3 + \mu^2\nu + \gamma\mu^2 - \beta B\rho$$

$$(3\mu + \nu + \gamma + \rho) \left(2\rho\mu + \rho\nu + \rho\gamma + \mu\nu + 2\gamma\mu + 3\mu^2 - \frac{\beta B\rho}{\mu} \right) - (\rho\mu^2 + \rho\mu\nu + \rho\gamma\mu + \mu^3 + \mu^2\nu + \gamma\mu^2 - \beta B\rho)$$

$$\left(6\rho\mu^2 + 3\rho\mu\nu + 3\rho\gamma\mu + 3\mu^2\nu + 6\gamma\mu^2 + 9\mu^3 - \frac{3\beta B\rho\mu}{\mu} + 2\rho\mu\nu + \rho\nu^2 + \rho\gamma\nu + \mu\nu^2 + 2\gamma\mu\nu + 2\gamma^2\mu + 3\gamma\mu^2 + 2\gamma\mu\nu + 3\mu^2\nu - \frac{\beta B\rho\nu}{\mu} + 2\rho\gamma\mu + \rho\gamma\nu + \rho\gamma^2 + \gamma\mu\nu + 2\gamma^2\mu + 3\gamma\mu^2 - \frac{\beta B\rho\gamma}{\mu} + 2\rho^2\mu + \rho^2\nu + \rho^2\gamma + \rho\mu\nu + 2\rho\gamma\mu + 3\rho\mu^2 - \frac{\beta B\rho^2}{\mu} - \rho\mu^2 - \rho\mu\nu - \rho\gamma\mu - \mu^3 - \mu^2\nu - \gamma\mu^2 - \beta B\rho \right)$$

$$\begin{aligned}
 & \left(6\rho\mu^2 + 3\rho\mu\nu + 3\rho\gamma\mu + 3\mu^2\nu + 6\gamma\mu^2 + 9\mu^3 - 3\beta B\rho + 2\rho\mu\nu + \rho\nu^2 + \rho\gamma\nu + \mu\nu^2 \right. \\
 & \quad + 2\gamma\mu\nu + 3\mu^2\nu - \frac{\beta B\rho\nu}{\mu} + 2\rho\gamma\mu + \rho\gamma\nu + \rho\gamma^2 + \gamma\mu\nu + 2\gamma^2\mu + 3\gamma\mu^2 \\
 & \quad - \frac{\beta B\rho\gamma}{\mu} + 2\rho^2\mu + \rho^2\nu + \rho^2\gamma + \rho\mu\nu + 2\rho\gamma\mu + 3\rho\mu^2 - \frac{\beta B\rho^2}{\mu} - \rho\mu^2 \\
 & \quad \left. - \rho\mu\nu - \rho\gamma\mu - \mu^3 - \mu^2\nu - \gamma\mu^2 - \beta B\rho \right) \\
 & (6\rho\mu^2 + 3\rho\mu^2 - \rho\mu^2) + (3\rho\mu\nu + 2\rho\mu\nu + \rho\mu\nu - \rho\mu\nu) \\
 & \quad + (3\rho\gamma\mu + 2\rho\gamma\mu + 2\rho\gamma\mu - \rho\gamma\mu) + (3\mu^2\nu + 3\mu^2\nu - \mu^2\nu) \\
 & \quad + (6\gamma\mu^2 + 3\gamma\mu^2 - \gamma\mu^2) + (9\mu^3 - \mu^3) + (2\gamma\mu\nu + \gamma\mu\nu) + (\rho\gamma\nu + \rho\gamma\nu) \\
 & \quad + \rho\nu^2 + \mu\nu^2 + \rho\gamma^2 + 2\gamma^2\mu + 2\rho^2\mu + \rho^2\nu + \rho^2\gamma + (-3\beta B\rho - \beta B\rho) \\
 & \quad \left. - \frac{(\beta B\rho\nu + \beta B\rho\gamma + \beta B\rho^2)}{\mu} \right) \\
 & \left(8\rho\mu^2 + 5\rho\mu\nu + 6\rho\gamma\mu + 5\mu^2\nu + 8\gamma\mu^2 + 8\mu^3 + 3\gamma\mu\nu + 2\rho\gamma\nu + \rho\nu^2 + \mu\nu^2 + \rho\gamma^2 \right. \\
 & \quad \left. + 2\gamma^2\mu + 2\rho^2\mu + \rho^2\nu + \rho^2\gamma - 4\beta B\rho - \frac{(\beta B\rho\nu + \beta B\rho\gamma + \beta B\rho^2)}{\mu} \right) > 0
 \end{aligned}$$

Maka diperoleh:

$$\begin{aligned}
 & 8\rho\mu^2 + 5\rho\mu\nu + 6\rho\gamma\mu + 5\mu^2\nu + 8\gamma\mu^2 + 8\mu^3 + 3\gamma\mu\nu + 2\rho\gamma\nu + \rho\nu^2 + \mu\nu^2 + \rho\gamma^2 \\
 & \quad + 2\gamma^2\mu + 2\rho^2\mu + \rho^2\nu + \rho^2\gamma > 4\beta B\rho + \frac{\beta B\rho\nu + \beta B\rho\gamma + \beta B\rho^2}{\mu}
 \end{aligned}$$

Karena λ_1 negatif dan kondisi kestabilan menurut kriteria Routh-Hurwitz terpenuhi, maka titik ekuilibrium bebas merokok akan stabil ketika $\mathcal{R}_0 < 1$

e. Analisis Kestabilan Titik Ekuilibrium Endemik (T^*)

Kestabilan titik ekuilibrium endemik (T^*), misalkan ruas kanan persamaan (1) ditulis dalam bentuk:

$$\begin{aligned}
 f_1(S^*, D^*, A^*, R^*) &= B - (\beta A^* + \mu)S^*, \\
 f_2(S^*, D^*, A^*, R^*) &= \beta S^*A^* - (\rho + \mu)D^*, \\
 f_3(S^*, D^*, A^*, R^*) &= \rho D^* - (\mu + \nu + \gamma)A^*, \\
 f_4(S^*, D^*, A^*, R^*) &= \gamma A^* - \mu R^*,
 \end{aligned}$$

untuk menentukan kestabilan di sekitar titik ekuilibrium endemik (T^*) awalnya dilakukan pelinearan terhadap persamaan (1), diperoleh matriks:

$$J = \begin{bmatrix} -\beta A^* - \mu & 0 & -\beta S^* & 0 \\ \beta A^* & -\rho - \mu & \beta S^* & 0 \\ 0 & \rho & -\mu - \nu - \gamma & 0 \\ 0 & 0 & \gamma & -\mu \end{bmatrix}$$

dengan mensubstitusikan titik ekuilibrium endemik (T^*) pada matriks Jacobi diperoleh:

$$J(T^*) = \begin{bmatrix} -\frac{B\beta\rho}{(\rho + \mu)(\mu + \nu + \gamma)} & 0 & -\frac{(\rho + \mu)(\mu + \nu + \gamma)}{\rho} & 0 \\ \frac{B\beta\rho - \mu(\rho + \mu)(\mu + \nu + \gamma)}{(\rho + \mu)(\mu + \nu + \gamma)} & -\rho - \mu & \frac{(\rho + \mu)(\mu + \nu + \gamma)}{\rho} & 0 \\ 0 & \rho & -\mu - \nu - \gamma & 0 \\ 0 & 0 & \gamma & -\mu \end{bmatrix}$$

Selanjutnya, menentukan persamaan karakteristik sebagai berikut:

$$|\lambda I - jT^*| = 0$$

$$\begin{bmatrix} \lambda & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \lambda \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -\frac{B\beta\rho}{(\rho+\mu)(\mu+\nu+\gamma)} & 0 & -\frac{(\rho+\mu)(\mu+\nu+\gamma)}{\rho} & 0 \\ \frac{B\beta\rho - \mu(\rho+\mu)(\mu+\nu+\gamma)}{(\rho+\mu)(\mu+\nu+\gamma)} & -\rho - \mu & \frac{(\rho+\mu)(\mu+\nu+\gamma)}{\rho} & 0 \\ 0 & \rho & -\mu - \nu - \gamma & 0 \\ 0 & 0 & \gamma & -\mu \end{bmatrix} = 0$$

$$\begin{bmatrix} \lambda + \frac{B\beta\rho}{(\rho+\mu)(\mu+\nu+\gamma)} & 0 & \frac{(\rho+\mu)(\mu+\nu+\gamma)}{\rho} & 0 \\ -\frac{B\beta\rho - \mu(\rho+\mu)(\mu+\nu+\gamma)}{(\rho+\mu)(\mu+\nu+\gamma)} & \lambda + \rho + \mu & -\frac{(\rho+\mu)(\mu+\nu+\gamma)}{\rho} & 0 \\ 0 & -\rho & \lambda + \mu + \nu + \gamma & 0 \\ 0 & 0 & -\gamma & \lambda + \mu \end{bmatrix}$$

dengan menggunakan aturan kofaktor maka determinan matriks di atas dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \lambda + \frac{B\beta\rho}{(\rho+\mu)(\mu+\nu+\gamma)} \begin{bmatrix} \lambda + \rho + \mu & -\frac{(\rho+\mu)(\mu+\nu+\gamma)}{\rho} & 0 \\ -\rho & \lambda + \mu + \nu + \gamma & 0 \\ 0 & -\gamma & \lambda + \mu \end{bmatrix} \\ & + \frac{(\rho+\mu)(\mu+\nu+\gamma)}{\rho} \begin{bmatrix} -\frac{B\beta\rho - \mu(\rho+\mu)(\mu+\nu+\gamma)}{(\rho+\mu)(\mu+\nu+\gamma)} & \lambda + \rho + \mu & 0 \\ 0 & -\rho & 0 \\ 0 & 0 & \lambda + \mu \end{bmatrix} = 0 \\ & \left[\lambda + \frac{B\beta\rho}{(\rho+\mu)(\mu+\nu+\gamma)} \left[(\lambda + \rho + \mu)(\lambda + \mu + \nu + \gamma)(\lambda + \mu) \right. \right. \\ & \quad \left. \left. - \left(-\frac{(\rho+\mu)(\mu+\nu+\gamma)}{\rho} \right) (-\rho)(\lambda + \mu) \right] \right. \\ & \quad \left. + \left[\frac{(\rho+\mu)(\mu+\nu+\gamma)}{\rho} \left[\left(-\frac{B\beta\rho - \mu(\rho+\mu)(\mu+\nu+\gamma)}{(\rho+\mu)(\mu+\nu+\gamma)} \right) (-\rho)(\lambda + \mu) \right] \right] \right] = 0 \\ & \left[\lambda + \frac{B\beta\rho}{(\rho+\mu)(\mu+\nu+\gamma)} \right] [\lambda^3 + \lambda^2\mu + \lambda^2\nu + \lambda^2\gamma + \lambda^2\rho + \lambda\rho\mu + \lambda\rho\nu + \lambda\rho\gamma + \lambda^2\mu + \lambda\mu^2 + \lambda\mu\nu + \lambda\gamma\mu + \lambda^2\mu + \lambda\mu^2 + \lambda\mu\nu + \lambda\gamma\mu + \lambda\rho\mu + \lambda\rho\nu + \lambda\rho\gamma + \lambda\mu^2 + \lambda\mu\nu + \lambda\gamma\mu + \rho\mu^2 + \rho\mu\nu + \rho\gamma\mu + \lambda\mu^2 + \mu^3 + \mu^2\nu + \gamma\mu^2 - (\lambda\rho\mu + \lambda\rho\nu + \lambda\rho\gamma + \lambda\mu^2 + \lambda\mu\nu + \lambda\gamma\mu + \rho\mu^2 + \rho\mu\nu + \rho\gamma\mu + \mu^3 + \mu^2\nu + \gamma\mu^2) + \lambda B\beta\rho - (\lambda\rho\mu^2 + \lambda\rho\mu\nu + \lambda\rho\gamma\mu + \lambda\mu^3 + \lambda\mu^2\nu + \lambda\gamma\mu^2) + B\beta\rho\mu - (\rho\mu^3 + \rho\mu^2\nu + \rho\gamma\mu^2 + \mu^4 + \mu^3\nu + \gamma\mu^3)] \\ & \left[\lambda + \frac{B\beta\rho}{(\rho+\mu)(\mu+\nu+\gamma)} \right] [\lambda^3 + \lambda^2(3\mu + \nu + \rho + \gamma) + \lambda(2\mu^2 + \rho\mu + \gamma\mu + \mu\nu + B\beta\rho - (\rho\mu^2 + \rho\mu\nu + \rho\gamma\mu + \mu^3 + \mu^2\nu + \gamma\mu^2)) + (B\beta\rho\mu - (\rho\mu^3 + \rho\mu^2\nu + \rho\gamma\mu^2 + \mu^4 + \mu^3\nu + \gamma\mu^3))] \end{aligned}$$

Maka diperoleh nilai eigen sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \lambda + \frac{B\beta\rho}{(\rho+\mu)(\mu+\nu+\gamma)} = 0 \\ & \lambda_1 = -\frac{B\beta\rho}{(\rho+\mu)(\mu+\nu+\gamma)} \end{aligned}$$

Sementara untuk melihat kestabilan nilai eigen lainnya, digunakan Kriteria Routh-Hurwitz:

$$[\lambda^3 + \lambda^2(3\mu + \nu + \rho + \gamma) + \lambda(2\mu^2 + \rho\mu + \gamma\mu + \mu\nu + B\beta\rho - (\rho\mu^2 + \rho\mu\nu + \rho\gamma\mu + \mu^3 + \mu^2\nu + \gamma\mu^2)) + (B\beta\rho\mu - (\rho\mu^3 + \rho\mu^2\nu + \rho\gamma\mu^2 + \mu^4 + \mu^3\nu + \gamma\mu^3))]$$

Persamaan diatas dalam ditulis dalam bentuk:

$$a_0\lambda^3 + a_1\lambda^2 + a_2\lambda + a_3 = 0$$

Dengan:

$$a_0 = 1$$

$$a_1 = 3\mu + \nu + \rho + \gamma$$

$$a_2 = 2\mu^2 + \rho\mu + \gamma\mu + \mu\nu + B\beta\rho - (\rho\mu^2 + \rho\mu\nu + \rho\gamma\mu + \mu^3 + \mu^2\nu + \gamma\mu^2)$$

$$a_3 = B\beta\rho\mu - (\rho\mu^3 + \rho\mu^2\nu + \rho\gamma\mu^2 + \mu^4 + \mu^3\nu + \gamma\mu^3)$$

Selanjutnya akan digunakan kriteria *Routh-Hurwitz* untuk menentukan kestabilannya, dengan kriteria $a_1 > 0, a_2 > 0, a_3 > 0, a_1a_2 > a_3$

Untuk pemeriksaan kriteria $a_1 > 0$

$$a_1 = 3\mu + \nu + \rho + \gamma > 0$$

Maka terbukti $a_1 > 0$

Untuk pemeriksaan kriteria $a_2 > 0$

$$\begin{aligned} a_2 &= 2\mu^2 + \rho\mu + \gamma\mu + \mu\nu + B\beta\rho - (\rho\mu^2 + \rho\mu\nu + \rho\gamma\mu + \mu^3 + \mu^2\nu + \gamma\mu^2) \\ &= 2\mu^2 + \rho\mu + \gamma\mu + \mu\nu + B\beta\rho - \mu(\rho\mu + \rho\nu + \rho\gamma + \mu^2 + \mu\nu + \gamma\mu) \\ &= 2\mu^2 + \rho\mu + \gamma\mu + B\beta\rho - \mu(\rho + \mu)(\mu + \nu + \gamma) \\ &= 2\mu^2 + \rho\mu + \gamma\mu + B\beta\rho - \mu(\gamma + \mu + \nu)(\mu + \rho) \\ &= 2\mu^2 + \rho\mu + \gamma\mu + B\beta\rho > \mu(\gamma + \mu + \nu)(\mu + \rho) \end{aligned}$$

Maka terbukti $a_2 > 0$ jika $2\mu^2 + \rho\mu + \gamma\mu + B\beta\rho > \mu(\gamma + \mu + \nu)(\mu + \rho)$

Untuk pemeriksaan kriteria $a_3 > 0$

$$\begin{aligned} a_3 &= B\beta\rho\mu - (\rho\mu^3 + \rho\mu^2\nu + \rho\gamma\mu^2 + \mu^4 + \mu^3\nu + \gamma\mu^3) \\ &= B\beta\rho\mu - \mu^2(\rho\mu + \rho\nu + \rho\gamma + \mu^2 + \mu\nu + \gamma\mu) \\ &= B\beta\rho\mu - \mu^2(\rho + \mu)(\mu + \nu + \gamma) \\ &= (\gamma + \nu + \mu)(\mu + \rho)\mu^2 - B\beta\rho\mu \\ &= (\gamma + \nu + \mu)(\mu + \rho)\mu^2 > B\beta\rho\mu \end{aligned}$$

Maka terbukti $a_3 > 0$ jika $(\gamma + \nu + \mu)(\mu + \rho)\mu^2 > B\beta\rho\mu$

Untuk pemeriksaan kriteria $a_1a_2 > a_3$

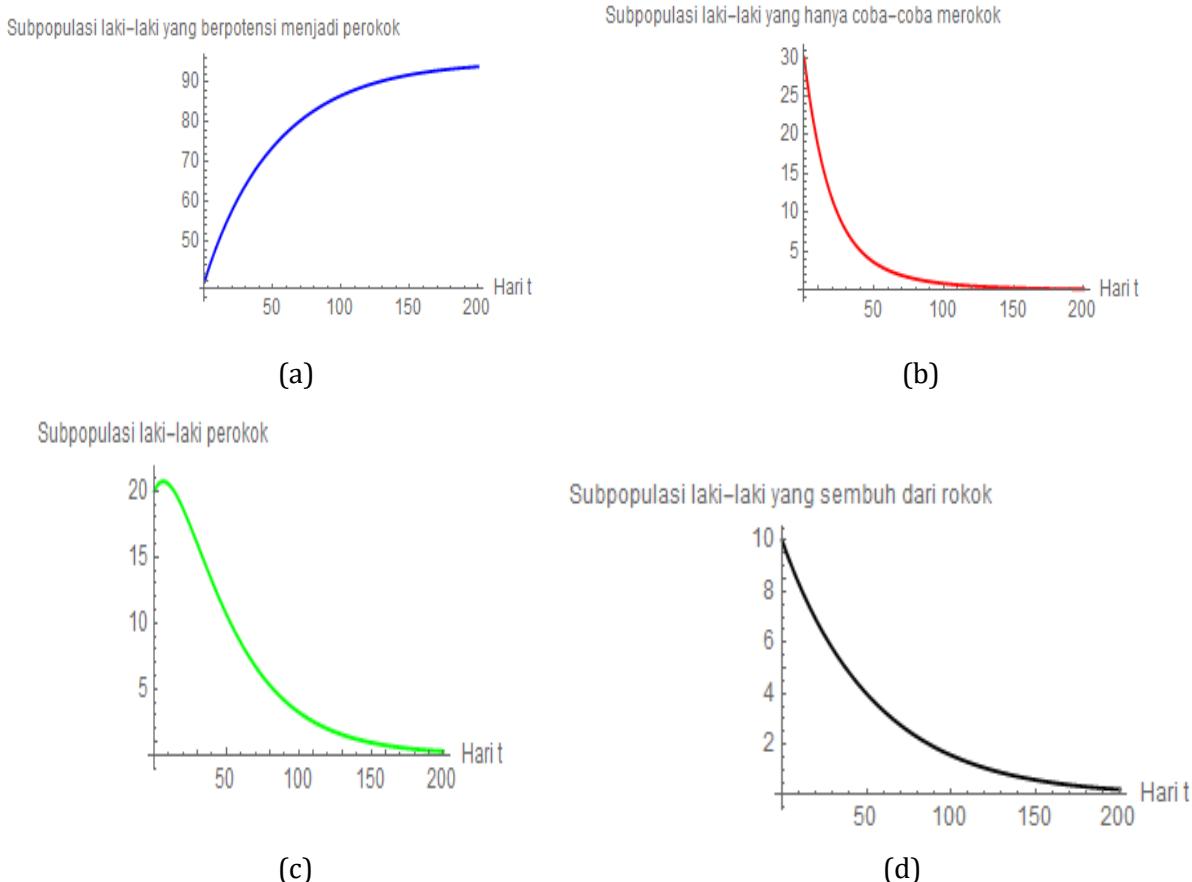
$$\begin{aligned} a_1a_2 - a_3 &= (3\mu + \nu + \rho + \gamma)(2\mu^2 + \rho\mu + \gamma\mu + \mu\nu + B\beta\rho - \rho\mu^2 - \rho\mu\nu - \rho\gamma\mu - \mu^3 - \mu^2\nu - \gamma\mu^2) \\ &\quad - (B\beta\rho\mu - \rho\mu^3 - \rho\gamma\mu^2 - \mu^4 - \gamma\mu^3) \\ &= 6\mu^3 + 3\rho\mu^2 + 3\gamma\mu^2 + 3B\beta\rho\mu - 3\rho\mu^3 - 3\rho\gamma\mu^2 - 3\mu^3 - 3\gamma\mu^3 + 2\rho\mu^2 + \rho^2\mu + \rho\gamma\mu + B\beta\rho\mu^2 \\ &\quad - \rho^2\mu^2 - \rho^2\gamma\mu - \rho\mu^2 - \rho\gamma\mu^2 + 2\gamma\mu^2 + \rho\gamma\mu + \gamma^2\mu + B\beta\rho\gamma - \rho\gamma\mu^2 - \rho\gamma^2\mu - \gamma\mu^2 \\ &\quad - \gamma^2\mu^2 - B\beta\rho\mu + \rho\mu^3 + \rho\gamma\mu^2 + \mu^4 + \gamma\mu^3 \\ &= 3\mu^3 + 4\rho\mu^2 + 4\gamma\mu^2 + 2B\beta\rho\mu - 2\rho\mu^3 - 4\rho\gamma\mu^2 - 2\gamma\mu^3 + \rho^2\mu + 2\rho\gamma\mu + B\beta\rho^2 - \rho^2\mu^2 - \rho^2\gamma\mu \\ &\quad + \gamma^2\mu + B\beta\rho\gamma - \rho\gamma^2\mu - \gamma^2\mu^2 + \mu^4 \\ &= 3\mu^3 + 4\rho\mu^2 + 4\gamma\mu^2 + 2B\beta\rho\mu + \rho^2\mu + 2\rho\gamma\mu + B\beta\rho^2 + B\beta\rho\gamma + \mu^4 \\ &\quad > 2\rho\mu^3 + 4\rho\gamma\mu^2 + 2\gamma\mu^3 + \rho^2\mu^2 + \rho^2\gamma\mu + \rho\gamma^2\mu + \gamma^2\mu^2 \end{aligned}$$

Maka terbukti $a_3 > 0$ jika $3\mu^3 + 4\rho\mu^2 + 4\gamma\mu^2 + 2B\beta\rho\mu + \rho^2\mu + 2\rho\gamma\mu + B\beta\rho^2 + B\beta\rho\gamma + \mu^4 > 2\rho\mu^3 + 4\rho\gamma\mu^2 + 2\gamma\mu^3 + \rho^2\mu^2 + \rho^2\gamma\mu + \rho\gamma^2\mu + \gamma^2\mu^2$.

Berdasarkan syarat-syarat kestabilan menurut kriteria *Routh-Hurwitz* terpenuhi, maka titik ekuilibrium endemik akan stabil ketika $\mathcal{R}_0 > 1$.

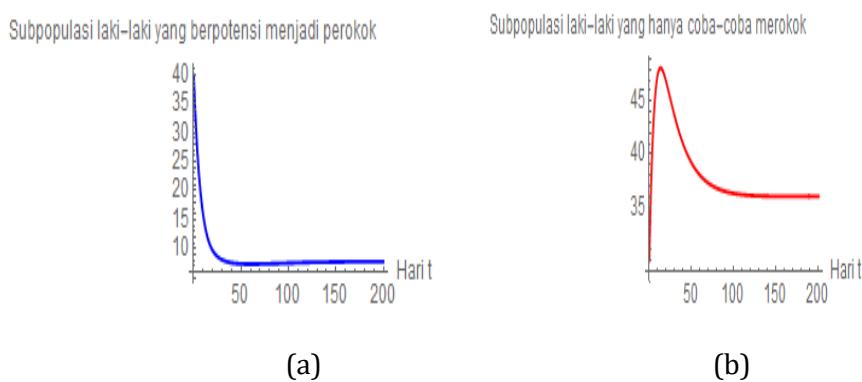
3. Simulasi Numerik

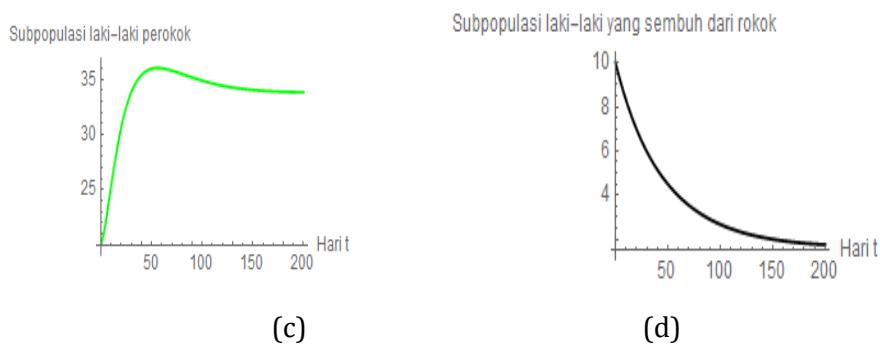
Pada pembahasan selanjutnya dilakukan simulasi numerik, nilai awal untuk masing-masing variabel yaitu: $S(0) = 40, D(0) = 30, A(0) = 20$ dan $R(0) = 10$. Simulasi ini, diamati untuk dua kondisi, yaitu saat $\mathcal{R}_0 < 1$ dan saat $\mathcal{R}_0 > 1$. Beberapa nilai parameter dapat dilihat pada tabel 1 dengan $\beta = 0,00007$, sementara nilai parameter yang lain tetap, dengan nilai $\mathcal{R}_0 < 1$ diperoleh Gambar 2 sebagai berikut:



Gambar 2. (a) subpopulasi laki-laki yang berpotensi menjadi perokok (b) subpopulasi laki-laki yang coba-coba merokok (c) subpopulasi laki-laki perokok aktif (d) subpopulasi yang sembuh dari pengaruh rokok.

Pada saat $\beta = 0,007$ dengan kondisi $\mathcal{R}_0 = 0,122549 > 1$, artinya subpopulasi laki-laki perokok aktif menurun karena masih sedikit yang terpengaruh dari lingkungan pertemanan untuk coba-coba mengomsumsi rokok, sehingga menyebabkan subpopulasi laki-laki yang coba-coba merokok juga menurun. Maka perilaku merokok akan berkurang dan akan menghilang seiring berjalananya waktu.





Gambar 3. (a) subpopulasi laki-laki yang berpotensi menjadi perokok (b) subpopulasi laki-laki yang coba-coba merokok (c) subpopulasi laki-laki perokok aktif (d) subpopulasi yang sembuh dari pengaruh rokok.

Pada saat $\beta = 0,007$ diperoleh nilai $\mathcal{R}_0 = 12,2549 > 1$, artinya subpopulasi laki-laki yang berpotensi menjadi perokok mengalami penurunan. Sedangkan subpopulasi laki-laki yang coba-coba merokok dan subpopulasi laki-laki perokok aktif mengalami peningkatan yang di akibatkan karena besarnya laju penyebaran yang terjadi dalam populasi. Interaksi antara subpopulasi laki-laki yang berpotensi menjadi perokok dan subpopulasi laki-laki perokok aktif akan mempengaruhi seseorang untuk mencoba merokok. Subpopulasi laki-laki yang coba-coba merokok, subpopulasi laki-laki perokok aktif, dan subpopulasi laki-laki yang sembuh dari pengaruh rokok mengalami penurunan. Setiap subpopulasi terus mengalami perubahan hingga mencapai titik ekuilibrium endemik yang berarti perilaku merokok akan meningkat dan setiap perokok dapat menularkan perilaku merokoknya kepada lebih dari satu perokok baru sehingga perilaku merokok semakin meluas.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang dilakukan terhadap model matematika penyebaran perilaku merokok laki-laki dengan memperhatikan faktor lingkungan pertemanan dapat disimpulkan:

1. Model yang dihasilkan mampu menggambarkan penyebaran perilaku merokok terhadap laki-laki dengan memperhatikan faktor lingkungan pertemanan.
2. Titik ekuilibrium yang diperoleh ada dua yaitu titik ekuilibrium bebas merokok $T = (S, D, A, R) = \left(\frac{B}{\mu}, 0, 0, 0\right)$ dan titik ekuilibrium endemik $T^* = (S^*, D^*, A^*, R^*)$ dimana

$$S^* = \frac{(\rho + \mu)(\mu + \nu + \gamma)}{\beta \rho}$$

$$D^* = -\frac{\mu(\mu + \nu + \gamma)}{\beta \rho} + \frac{B}{(\rho + \mu)}$$

$$A^* = \frac{B\beta\rho - \mu(\rho + \mu)(\mu + \nu + \gamma)}{\beta(\rho + \mu)(\mu + \nu + \gamma)}$$

$$R^* = \frac{\gamma(B\beta\rho - \mu(\rho + \mu)(\mu + \nu + \gamma))}{\beta\mu(\rho + \mu)(\mu + \nu + \gamma)}$$

$$\mathcal{R}_0 = \frac{\beta B \rho}{\mu(\rho + \mu)(\mu + \nu + \gamma)}.$$

3. Hasil analisis kestabilan titik ekuilibrium yang diperoleh yaitu:

- a. Analisis kestabilan titik ekuilibrium bebas merokok (T)

$\lambda_1 = -\mu$ adalah negatif dan syarat-syarat kestabilan titik ekuilibrium menurut kriteria Routh-Hurwitz terpenuhi yakni: $a_1 > 0$, $a_2 > 0$, $a_3 > 0$, $a_1 a_2 > a_3$ terbukti, maka titik ekuilibrium bebas merokok, akan stabil jika $\mathcal{R}_0 = 0,122549 < 1$

b. Analisis kestabilan titik ekuilibrium endemik (T^*)

Karena syarat-syarat kestabilan titik ekuilibrium menurut kriteria Routh-Hurwitz terpenuhi yaitu:

$$a_1 = 3\mu + \nu + \rho + \gamma > 0$$

$$a_2 = 2\mu^2 + \rho\mu + \gamma\mu + B\beta\rho > \mu(\gamma + \mu + \nu)(\mu + \rho)$$

$$a_3 = (\gamma + \nu + \mu)(\mu + \rho)\mu^2 > B\beta\rho\mu$$

$$a_1a_2 - a_3 = 3\mu^3 + 4\rho\mu^2 + 4\gamma\mu^2 + 2B\beta\rho\mu + \rho^2\mu + 2\rho\gamma\mu + B\beta\rho^2 + B\beta\rho\gamma + \mu^42\rho\mu^3 + 4\rho\gamma\mu^2 + 2\gamma\mu^3 + \rho^2\mu^2 + \rho^2\gamma\mu + \rho\gamma^2\mu + \gamma^2\mu^2$$

Terbukti, maka titik ekuilibrium endemik akan stabil jika $\mathcal{R}_0 = 12,2549 > 1$.

4. Hasil simulasi diamati dalam dua kondisi, yaitu:

a. Kondisi $\mathcal{R}_0 = 0,122549 < 1$

Berdasarkan hasil simulasi pada saat kondisi $\mathcal{R}_0 < 1$, Subpopulasi laki-laki perokok aktif menurun karena masih sedikit yang terpengaruh dari lingkungan pertemanan untuk coba-coba mengomsumsi rokok, sehingga menyebabkan subpopulasi laki-laki yang coba-coba merokok juga menurun. Maka perilaku merokok akan berkurang dan akan menghilang seiring berjalannya waktu.

b. Kondisi $\mathcal{R}_0 = 12,2549 > 1$,

Berdasarkan hasil simulasi pada saat kondisi $\mathcal{R}_0 > 1$, subpopulasi laki-laki yang berpotensi menjadi perokok mengalami penurunan. Sedangkan subpopulasi laki-laki yang coba-coba merokok dan subpopulasi laki-laki perokok aktif mengalami peningkatan yang di akibatkan karena besarnya laju penyebaran yang terjadi dalam populasi. Interaksi antara subpopulasi laki-laki yang berpotensi menjadi perokok dan subpopulasi laki-laki perokok aktif akan mempengaruhi seseorang untuk mencoba merokok. Subpopulasi laki-laki yang coba-coba merokok, subpopulasi laki-laki perokok aktif, dan subpopulasi laki-laki yang sembuh dari pengaruh rokok mengalami penurunan. Setiap subpopulasi terus mengalami perubahan hingga mencapai titik ekuilibrium endemik yang berarti perilaku merokok akan meningkat dan setiap perokok dapat menularkan perilaku merokoknya kepada lebih dari satu perokok baru sehingga perilaku merokok semakin meluas.

REFERENCES

- Badan Pusat Statistik Provinsi NTT. 2021. *Persentase penduduk yang dalam sebulan terakhir merokok tembakau*. Tersedia di <https://ntt.bps.go.id/indicator/30/611/1/persentase-penduduk-yang-dalam-sebulan-terakhir-merokok-tembakau.html> [diakses 5 agustus 2022]
- Fadhilah J. dan Maulana A. D. 2022. *Model Dinamika Kecanduan Rokok Pada Pria dan Wanita*. Jurnal Ilmiah Matematika. Program Studi Matematika Universitas Negeri Surabaya.
- Govan, G. & Ratianingsih, R. 2016. *Membangun Model Penyebaran Perilaku Merokok Berdasarkan Faktor Biologis dan Faktor Lingkungan Sosial*. Jurnal Ilmiah Matematika Terapan, Vol. 13. No. 2.
- Kemenkes RI. 2017. *Hidup Sehat Tanpa Rokok*. Jakarta. Tersedia di https://p2ptm.kemkes.go.id/uploads/VHcrbkVobjRzUDN3UCs4eUJ0dVBndz09/2017/11/Hidup_Sehat_Tanpa_Rokok.pdf
- Kasbawati, K. (2017). *Model Matematika Kecanduan Terhadap Rokok*. J.Mat. Stat. dan Komputasi. Jurnal Matematika Statistika & Komputasi. Vol.14 No.1, Hal.28-36. <http://doi.org/10.20956/jmsk>.
- WHO. 2013. Global Adult Tobacco Survey (GATS). Tersedia di <https://jimfeb.ub.ac.id/index.php/jimfeb/article/download/1603/1469>