

Analisis Kestabilan Lokal Titik Ekuilibrium Model Dinamika Populasi Perokok Dengan Kampanye Anti Merokok

¹Reni Septiawati, ²Joko Harianto, ³Felix Reba

^{1,2,3}Prodi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Cenderawasih
e-mail: ¹reniseptiawati01@gmail.com, ²joharijpr88@gmail.com, ³felix.reba85@gmail.com

Abstrak

Merokok merupakan aktivitas membakar gulungan tembakau yang dihisap asapnya oleh perokok. Peningkatan jumlah perokok dapat mengakibatkan bertambahnya penderita penyakit dan kematian akibat dari rokok. Kebiasaan merokok dapat dikategorikan sebagai epidemiologi, sehingga dapat dianalisis melalui pendekatan model matematika. Model dinamika populasi perokok dibagi menjadi empat subpopulasi, yaitu subpopulasi N menyatakan orang yang belum merokok, subpopulasi S menyatakan orang yang merokok, subpopulasi Q menyatakan orang yang berhenti merokok, dan subpopulasi M menyatakan banyaknya kampanye anti merokok. Model tersebut selanjutnya dikaji kemudian dianalisis. Langkah pertama, menentukan the smoking free equilibrium point dan the smoking present equilibrium point. Langkah kedua, menentukan the smokers generation number (\mathcal{R}). Langkah ketiga, menganalisis kestabilan di sekitar titik ekuilibrium. Hasil analisis menunjukkan bahwa the smoking free equilibrium point bersifat stabil asimtotik lokal saat $\mathcal{R} < 1$ dan $\mu > \beta$ serta the smoking present equilibrium point bersifat stabil asimtotik lokal saat $\mathcal{R} > 1$ dan $\beta S^{**} - \rho S^{**} - \sigma > 0$.

Kata Kunci: Model Dinamika Populasi Perokok, Penyebaran Perokok, Titik Ekuilibrium, The Smokers Generation Number.

Abstract

Smoking is the activity of burning tobacco rolls that are smoked by smokers. An increase in the number of smokers can lead to an increase in patients with disease and death due to smoking. Smoking habits can be categorized as epidemiology, so it can be analyzed through a mathematical model approach. The population dynamics model of smokers is divided into four subpopulations, namely subpopulation N representing people who have not smoked, subpopulation S representing people who smoke, subpopulation Q representing people quitting smoking, and subpopulation M representing the number of anti-smoking campaigns. The model is then studied and then analyzed. The first step is to determine the smoking free equilibrium point and the smoking present equilibrium point. The second step is to determine the smokers generation number (\mathcal{R}). The third step is to analyze the stability around the equilibrium point. The results of the analysis show that the smoking free equilibrium point is locally asymptotically stable when $\mathcal{R} < 1$ and $\mu > \beta$ and the smoking present equilibrium point is locally asymptotically stable when $\mathcal{R} > 1$ and $\beta S^{**} - \rho S^{**} - \sigma > 0$.

Keywords: Model Of The Dynamics Of The Smokers Population, The Distribution Of Smokers, The Equilibrium Point, The Smokers Generation Number.

A. Pendahuluan

Rokok adalah gulungan tembakau yang dibungkus kertas dan dibakar ujungnya kemudian dihisap asapnya oleh perokok (Kemenkes RI, 2017). Berdasarkan data *the tobacco atlas*, pada 2016 terdapat lebih dari 7,1 juta kematian disebabkan oleh penggunaan tembakau dengan rincian 6,3 juta kematian dari perokok aktif dan 884.000 kematian dari perokok pasif. (Drope dan Schluger, 2018). Lebih dari 6 juta orang per tahun meninggal akibat mengonsumsi tembakau di seluruh dunia. Namun angka kematian pada tahun 2030 diprediksi akan mengalami peningkatan menjadi 8 juta orang per tahun (WHO, 2015).

Permasalahan mengenai merokok telah banyak dibahas oleh beberapa peneliti diantaranya pada artikel ilmiah Sharma dan Misra (2015) mengkaji tentang bifurkasi mundur dalam model berhenti merokok dengan kampanye media. Hasil dalam penelitian tersebut adalah meningkatnya kampanye media dan mengatasi hasrat kembali merokok setelah berhenti merokok dapat menghentikan terjadinya epidemi merokok. Artikel ilmiah Govan, dkk (2016) membahas tentang model penyebaran perilaku merokok berdasarkan faktor biologis dan faktor lingkungan sosial. Hasil yang diperoleh yaitu kebiasaan merokok tidak pernah menghilang dari populasi.

Selanjutnya, peneliti Wjayanti, dkk (2020) mengkaji tentang model matematika dinamika populasi perokok dengan faktor edukasi dan *candy treatment*. Hasil penelitian tersebut adalah epidemi merokok akan berkurang jika penyuluhan berupa edukasi dan terapi permen terus ditingkatkan.

Dalam artikel ini akan dibahas formulasi model, menganalisis kestabilan lokal titik ekuilibrium, dan menentukan bilangan reproduksi dasar. Untuk pembahasan selanjutnya, bilangan reproduksi dasar dinamakan *the smokers generation number*.

B. Metode Penelitian

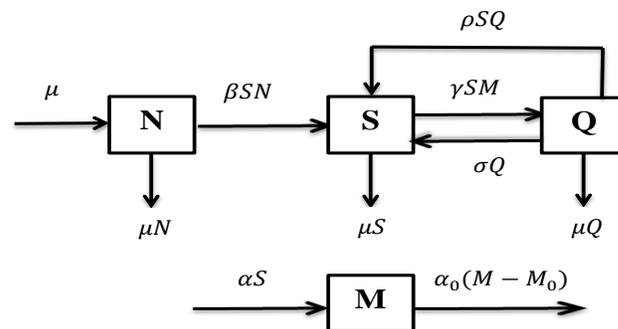
Pembahasan pada artikel ini menggunakan metode kajian pustaka dengan mempelajari beberapa jurnal ilmiah, buku, dan artikel dari internet yang terkait dengan model dinamika populasi perokok.

C. Hasil Dan Pembahasan

1. Formulasi Model

Pada model dinamika populasi perokok dibagi menjadi empat subpopulasi, yaitu N , S , Q , dan M . Ukuran subpopulasi N, S, Q adalah proporsi dengan total populasi awal sebesar 1. Untuk ukuran $N(t)$ adalah proporsi individu yang tidak merokok pada saat t , $S(t)$ menyatakan proporsi individu yang merokok pada saat t , $Q(t)$ menyatakan proporsi

individu yang telah berhenti merokok pada saat t , dan $M(t)$ menyatakan banyaknya kampanye anti merokok pada saat t . Selanjutnya, asumsi-asumsi model dalam pembahasan ini sama seperti pembahasan pada artikel yang ditulis oleh Sharma dan Misra (2015) yaitu populasi tertutup, terjadi kematian alami dengan laju yang sama pada subpopulasi N , subpopulasi S , dan subpopulasi Q , laju kelahiran diasumsikan sama dengan laju kematian alami, tidak terjadi kematian akibat rokok, individu yang tidak merokok diasumsikan mulai merokok karena pengaruh lingkungan dan bergabung ke subpopulasi S , beberapa perokok menjadi sadar akan efek buruk dari merokok karena kampanye anti merokok dan bergabung ke subpopulasi Q , perokok yang telah berhenti mengonsumsi rokok dapat kembali ke subpopulasi S karena efek dari nikotin dan pengaruh lingkungan, serta pelaksanaan kampanye anti merokok diasumsikan sebanding dengan jumlah perokok di masyarakat. Diagram alir model dinamika populasi perokok sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram alir model dinamika populasi perokok

Gambar 1 mengilustrasikan bahwa proporsi subpopulasi N akan bertambah sebesar μ . Selanjutnya, berkurang karena adanya pengaruh populasi perokok sebesar βSN dan kematian alami sebesar μN . Proporsi subpopulasi S akan bertambah sebesar βSN . Selanjutnya, berkurang karena perokok melihat kampanye anti merokok sebesar γSM . Ada juga pertambahan proporsi pada subpopulasi S karena ada individu yang kembali merokok akibat pengaruh lingkungan sebesar ρSQ dan kembali merokok akibat efek nikotin sebesar σQ serta berkurang karena terjadi kematian alami sebesar μS . Proporsi subpopulasi Q akan bertambah sebesar γSM . Selanjutnya, berkurang karena ada individu yang kembali merokok akibat pengaruh lingkungan sebesar ρSQ , kembali merokok akibat efek nikotin sebesar σQ , dan kematian alami sebesar μQ . Subpopulasi M akan bertambah sebesar αS . Selanjutnya, kampanye anti

merokok dapat berkurang sebesar $\alpha_0(M - M_0)$. Secara matematis, model dinamika populasi perokok dapat diformulasikan dalam bentuk sistem persamaan diferensial biasa berikut ini.

$$\begin{aligned}\frac{dN}{dt} &= \mu - \beta SN - \mu N \\ \frac{dS}{dt} &= \beta SN - \gamma SM + \rho SQ + \sigma Q - \mu S \\ \frac{dQ}{dt} &= \gamma SM - \rho SQ - \sigma Q - \mu Q \\ \frac{dM}{dt} &= \alpha S - \alpha_0(M - M_0)\end{aligned}\quad (1)$$

Berikut ini parameter-parameter yang digunakan dalam model.

- 1) μ menyatakan laju kelahiran individu.
- 2) β menyatakan laju kontak perokok terhadap individu yang tidak merokok.
- 3) γ menyatakan laju individu yang merokok menjadi sadar akan efek buruk dari merokok karena melihat kampanye anti merokok.
- 4) σ menyatakan laju kembali untuk merokok atau kambuh karena efek nikotin.
- 5) ρ menyatakan laju kembali untuk merokok atau kambuh karena pengaruh lingkungan.
- 6) α menyatakan laju implementasi kampanye anti merokok.
- 7) α_0 menyatakan laju penurunan kampanye anti merokok.
- 8) M_0 menyatakan banyaknya kampanye di waktu awal.

dengan $N(0) > 0$, $S(0) > 0$, $Q(0) > 0$, $M(0) > 0$, $N + S + Q = 1$, dan semua parameternya bernilai positif. Karena $N + S + Q = 1$ maka $Q = 1 - N - S$. Dengan demikian, Sistem (1) dapat direduksi menjadi tiga subpopulasi sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\frac{dN}{dt} &= \mu - \beta SN - \mu N \\ \frac{dS}{dt} &= \beta SN - \gamma SM + \rho S(1 - N - S) + \sigma(1 - N - S) - \mu S \\ \frac{dM}{dt} &= \alpha S - \alpha_0(M - M_0)\end{aligned}\quad (2)$$

2. Titik Ekuilibrium dan *The Smokers Generation Number*

Pada Sistem (2) akan ditentukan titik ekuilibriumnya dan terdapat dua titik ekuilibrium yaitu *the smoking free equilibrium point* dan *the smoking present equilibrium point*. Sehingga dari Sistem (2), diperoleh

$$\mu - \beta S^* N^* - \mu N^* = 0 \quad (3)$$

$$\beta S^* N^* - \gamma S^* M^* + \rho S^*(1 - N^* - S^*) + \sigma(1 - N^* - S^*) - \mu S^* = 0 \quad (4)$$

$$\alpha S^* - \alpha_0(M^* - M_0) = 0 \quad (5)$$

Keadaan saat $S^* = 0$ merupakan syarat untuk memperoleh *the smoking free equilibrium point*. Maka Persamaan (3), diperoleh

$$N^* = 1$$

Dari Persamaan (5), diperoleh

$$M^* = M_0$$

Jadi, *the smoking free equilibrium point* $E^*(N^*, S^*, M^*) = E^*(1, 0, M_0)$

Bilangan reproduksi dasar pada model dinamika populasi perokok menggunakan istilah *the smokers generation number* yang dinotasikan dengan \mathcal{R} sebagai berikut.

$$\mathcal{R} = \frac{\beta(\sigma + \mu)}{\mu(\mu + \sigma + \gamma M_0)}$$

Keadaan saat $S^{**} \neq 0$ merupakan syarat untuk memperoleh *the smoking present equilibrium point*. Dari Persamaan (3) dan (5), diperoleh

$$N^{**} = \frac{\mu}{(\beta S^{**} + \mu)}$$

$$M^{**} = \frac{\alpha S^{**}}{\alpha_0} + M_0$$

Dari Persamaan (4) dengan $S^{**} \neq 0$, maka yang terjadi adalah $\beta S^{**} N^{**} - \gamma S^{**} M^{**} + \rho S^{**} (1 - N^{**} - S^{**}) + \sigma (1 - N^{**} - S^{**}) - \mu S^{**} = 0$.

Selanjutnya, substitusi N^{**} dan M^{**} diperoleh

$$\beta S^{**} N^{**} - \gamma S^{**} M^{**} + \rho S^{**} (1 - N^{**} - S^{**}) + \sigma (1 - N^{**} - S^{**}) - \mu S^{**} = 0$$

$$\beta N^{**} - \gamma M^{**} + \rho (1 - N^{**} - S^{**}) + \sigma \frac{(1 - N^{**} - S^{**})}{S^{**}} - \mu = 0$$

$$\frac{\beta \mu}{(\beta S^{**} + \mu)} - \gamma \left(\frac{\alpha S^{**}}{\alpha_0} + M_0 \right) + \rho \left(1 - \frac{\mu}{(\beta S^{**} + \mu)} - S^{**} \right) + \sigma \left(\frac{1 - \frac{\mu}{(\beta S^{**} + \mu)} - S^{**}}{S^{**}} \right) - \mu = 0$$

$$\frac{\beta \mu}{(\beta S^{**} + \mu)} - \gamma \left(\frac{\alpha S^{**}}{\alpha_0} + M_0 \right) + \rho \left(\frac{(\beta S^{**} + \mu) - \mu - (\beta S^{**} + \mu) S^{**}}{(\beta S^{**} + \mu)} \right) +$$

$$\sigma \left(\frac{\frac{(\beta S^{**} + \mu) - \mu - (\beta S^{**} + \mu) S^{**}}{(\beta S^{**} + \mu)}}{S^{**}} \right) - \mu = 0$$

$$(\rho \beta \alpha_0 + \beta \gamma \alpha) S^{**2} + (\beta \mu \alpha_0 + \sigma \beta \alpha_0 + \beta \gamma M_0 \alpha_0 + \mu \gamma \alpha - \rho \beta \alpha_0 + \rho \mu \alpha_0) S^{**} + (\beta \alpha_0 (-\mu - \sigma) + (\mu \alpha_0 (\mu + \sigma + \gamma M_0))) = 0$$

$$(\beta (\rho \alpha_0 + \gamma \alpha)) S^{**2} + (\beta \alpha_0 (\mu + \sigma + \gamma M_0) + \mu \gamma \alpha - \rho \alpha_0 (\beta - \mu)) S^{**} - (\mu \alpha_0 (\mu + \sigma + \gamma M_0) (\mathcal{R} - 1)) = 0 \quad (6)$$

Persamaan (6) dapat ditulis menjadi

$$a_1 S^{**2} + a_2 S^{**} - a_3 = 0 \quad (7)$$

dengan

$$a_1 = \beta (\rho\alpha_0 + \gamma\alpha)$$

$$a_2 = \beta\alpha_0(\mu + \sigma + \gamma M_0) + \mu\gamma\alpha - \rho\alpha_0(\beta - \mu)$$

$$a_3 = \mu\alpha_0(\mu + \sigma + \gamma M_0)(\mathcal{R} - 1)$$

Dengan demikian, nilai S^{**} merupakan akar dari Persamaan (7), yaitu

$$S_1^{**} = \frac{-a_2 + \sqrt{a_2^2 + 4a_1a_3}}{2a_1}$$

$$S_2^{**} = \frac{-a_2 - \sqrt{a_2^2 + 4a_1a_3}}{2a_1}$$

Oleh karena S^{**} merupakan proporsi subpopulasi orang yang merokok sehingga haruslah S^{**} merupakan bilangan real positif. Jadi, *the smoking present equilibrium point* adalah

$$E^{**}(N^{**}, S^{**}, M^{**}) = E^{**} \left(\frac{\mu}{(\beta S^{**} + \mu)}, S_1^{**}, \frac{\alpha S^{**}}{\alpha_0} + M_0 \right)$$

dengan S_1^{**} merupakan akar positif dari Persamaan (7).

a. Kestabilan Lokal Titik Ekuilibrium

Kestabilan lokal titik ekuilibrium Sistem (2) diberikan dalam teorema berikut ini.

Teorema 1. Jika $\mathcal{R} < 1$ dan $\mu > \beta$, maka *the smoking free equilibrium point* E^* bersifat stabil asimtotik lokal dan jika $\mathcal{R} > 1$, maka *the smoking free equilibrium point* E^* tidak stabil.

Bukti:

Matriks Jacobian dari Sistem (2) di titik E^* , diperoleh

$$J(E^*) = J(1, 0, M_0) = \begin{bmatrix} -\mu & -\beta & 0 \\ -\sigma & \beta - (\gamma M_0 + \sigma + \mu) & 0 \\ 0 & \alpha & -\alpha_0 \end{bmatrix}$$

Persamaan karakteristik matriks $J(E^*)$, yaitu

$$(\lambda + \alpha_0)(\lambda^2 + b_1\lambda + b_2) = 0 \quad (8)$$

dengan

$$b_1 = \mu - \beta + \gamma M_0 + \sigma + \mu$$

$$b_2 = \mu(\gamma M_0 + \sigma + \mu)(1 - \mathcal{R})$$

Dari Persamaan (8) diperoleh $\lambda_1 = -\alpha_0$ bernilai negatif karena $\alpha_0 > 0$. Jelas bahwa b_1 bernilai positif karena $\mu > \beta$ dan semua parameter bernilai positif. Sedangkan b_2 juga bernilai positif karena $\mathcal{R} < 1$. Karena $b_1, b_2 > 0$ maka berdasarkan kriteria Routh-Hurwitz semua akar dari $\lambda^2 + b_1\lambda + b_2 = 0$ bernilai negatif. Oleh karena itu, semua nilai eigen matriks $J(E^*)$ bernilai negatif, *the smoking free equilibrium point* $E^*(N^*, S^*, M^*)$ bersifat stabil asimtotik lokal. Jadi, terbukti bahwa $\mathcal{R} < 1$ dan $\mu > \beta$ maka $E^*(N^*, S^*, M^*)$ bersifat stabil asimtotik lokal. Sebaliknya jika $\mathcal{R} > 1$, maka *the smoking free equilibrium point* $E^*(N^*, S^*, M^*)$ tidak stabil karena b_2 bernilai negatif saat $\mathcal{R} > 1$.

Teorema 2. Jika $\mathcal{R} > 1$ dan $\beta S^{**} - \rho S^{**} - \sigma > 0$, maka *the smoking present equilibrium point* E^{**} bersifat stabil asimtotik lokal.

Bukti:

Matriks Jacobian dari Sistem (2) di titik E^{**} , diperoleh

$$J(E^{**}) = \begin{bmatrix} -(\beta S^{**} + \mu) & -\beta N^{**} & 0 \\ (\beta S^{**} - \rho S^{**} - \sigma) & -\rho S^{**} - \frac{\sigma(1-N^{**})}{S^{**}} & -\gamma S^{**} \\ 0 & \alpha & -\alpha_0 \end{bmatrix}$$

Persamaan karakteristik matriks $J(E^{**})$, yaitu

$$\lambda^3 + c_1\lambda^2 + c_2\lambda + c_3 = 0 \quad (9)$$

dengan

$$c_1 = \alpha_0 + \rho S^{**} + \frac{\sigma(1-N^{**})}{S^{**}} + \beta S^{**} + \mu$$

$$c_2 = \alpha_0 \left(\rho S^{**} + \frac{\sigma(1-N^{**})}{S^{**}} \right) + \alpha \gamma S^{**} + \alpha_0 (\beta S^{**} + \mu) + (\beta S^{**} + \mu) \left(\rho S^{**} + \frac{\sigma(1-N^{**})}{S^{**}} \right) + \beta N^{**} (\beta S^{**} - \rho S^{**} - \sigma)$$

$$c_3 = (\beta S^{**} + \mu) \left(\alpha_0 \left(\rho S^{**} + \frac{\sigma(1-N^{**})}{S^{**}} \right) + \alpha \gamma S^{**} \right) + \beta \alpha_0 N^{**} (\beta S^{**} - \rho S^{**} - \sigma)$$

Nilai c_1 positif karena semua parameter bernilai positif, nilai c_2 dan c_3 juga bernilai positif karena $\beta S^{**} - \rho S^{**} - \sigma > 0$.

Berdasarkan kriteria Routh-Hurwitz, semua akar dari Persamaan (9) bernilai negatif jika dipenuhi $c_1 > 0, c_2 > 0, c_3 > 0$, dan $c_1 c_2 - c_3 > 0$.

Berikut ini akan ditunjukkan $c_1 c_2 - c_3 > 0$.

$$c_1 c_2 - c_3 > 0$$

$$\begin{aligned}
 &= \left(\alpha_0 + \rho S^{**} + \frac{\sigma(1-N^{**})}{S^{**}} + \beta S^{**} + \mu \right) \left(\alpha_0 \left(\rho S^{**} + \frac{\sigma(1-N^{**})}{S^{**}} \right) + \alpha \gamma S^{**} + \right. \\
 &\alpha_0(\beta S^{**} + \mu) + (\beta S^{**} + \mu) \left(\rho S^{**} + \frac{\sigma(1-N^{**})}{S^{**}} \right) + \beta N^{**}(\beta S^{**} - \rho S^{**} - \sigma) \left. \right) - \\
 &\left((\beta S^{**} + \mu) \left(\alpha_0 \left(\rho S^{**} + \frac{\sigma(1-N^{**})}{S^{**}} \right) + \alpha \gamma S^{**} \right) + \beta \alpha_0 N^{**}(\beta S^{**} - \rho S^{**} - \sigma) \right) > 0 \\
 &= \left(\alpha_0 + \rho S^{**} + \frac{\sigma(1-N^{**})}{S^{**}} + \beta S^{**} + \mu \right) \left(\alpha_0 \left(\rho S^{**} + \frac{\sigma(1-N^{**})}{S^{**}} \right) + \alpha \gamma S^{**} + \right. \\
 &\left. \alpha_0(\beta S^{**} + \mu) + (\beta S^{**} + \mu) \left(\rho S^{**} + \frac{\sigma(1-N^{**})}{S^{**}} \right) \right) > 0
 \end{aligned}$$

Karena $c_1 > 0, c_2 > 0, c_3 > 0$, dan $c_1 c_2 - c_3 > 0$ dipenuhi maka berdasarkan kriteria Routh-Hurwitz semua akar dari Persamaan (9) bernilai negatif. Akibatnya *the smoking present equilibrium point* $E^{**}(N^{**}, S^{**}, M^{**})$ bersifat stabil asimtotik lokal. Jadi, terbukti bahwa $\mathcal{R} > 1$ dan $\beta S^{**} - \rho S^{**} - \sigma > 0$, maka $E^{**}(N^{**}, S^{**}, M^{**})$ bersifat stabil asimtotik lokal.

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Model dinamika populasi perokok sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \frac{dN}{dt} &= \mu - \beta SN - \mu N \\
 \frac{dS}{dt} &= \beta SN - \gamma SM + \rho SQ + \sigma Q - \mu S \\
 \frac{dQ}{dt} &= \gamma SM - \rho SQ - \sigma Q - \mu Q \\
 \frac{dM}{dt} &= \alpha S - \alpha_0(M - M_0)
 \end{aligned}$$

dengan $N(0) > 0, S(0) > 0, Q(0) > 0, M(0) > 0, N + S + Q = 1$, dan semua parameternya bernilai positif.

2. Hasil analisis kestabilan lokal *the smoking free equilibrium point* dan *the smoking present equilibrium point* menunjukkan bahwa $\mathcal{R} < 1$ dan $\mu > \beta$ maka *the smoking free equilibrium point* bersifat stabil asimtotik lokal. Hal ini dapat dikatakan bahwa untuk waktu yang cukup lama populasi perokok akan menghilang. Sebaliknya jika $\mathcal{R} > 1$ dan $\beta S^{**} - \rho S^{**} - \sigma > 0$, maka *the smoking present equilibrium point* bersifat stabil asimtotik lokal. Hal ini berarti untuk waktu yang cukup lama populasi perokok masih tetap ada.
3. Penentuan *the smokers generation number* menggunakan metode *next generation matrix* (matriks generasi selanjutnya). Hasil penentuan dari metode tersebut adalah

$$\mathcal{R} = \frac{\beta(\sigma + \mu)}{\mu(\mu + \sigma + \gamma M_0)}$$

4. Simulasi numerik model dinamika populasi perokok sesuai dengan hasil analisis kestabilan lokal titik ekuilibriumnya.

E. Daftar Pustaka

- Drope, J. dan N.W. Schluger. (2018). *The Tobacco Atlas Sixth Edition*. Atlanta: American Cancer Society and Vital Strategies.
- Govan., R. Ratianigsih, dan J.W. Puspita. (2016). Membangun Model Penyebaran Perilaku Merokok Berdasarkan Faktor Biologis dan Faktor Lingkungan Sosial. *Jurnal Ilmiah Matematika dan Terapan*. 13:35-47.
- Kemenkes RI. (2017). *Hidup Sehat Tanpa Rokok*. Jakarta: Departemen Kesehatan.
- Sharma, A. dan A.K. Misra. (2015). Backward Bifurcation in a Smoking Cessation Model with Media Campaigns. *Applied Mathematical Modelling*. 39:1087-1098.
- Verma, V. dan A.S. Bhadauria. (2019). Global Dynamics of a Mathematical Model on Smoking: Impact of Anti-Smoking Campaign. *Journal of Mathematical Modelling*. 7:49-62.
- WHO. (2015). *Global Youth Tobacco Survey (GYTS): Indonesia Report 2014*. New Delhi: WHO-SEARO. Diakses dari [Global Youth Tobacco Survey \(GYTS\) Indonesia Report, 2014 \(who.int\)](http://www.who.int)
- Wjayanti, A.D., dkk. (2020). Model Matematika Dinamika Populasi Perokok dengan Faktor Edukasi dan Candy Treatment. *OSF Preprints*. Diakses dari <https://doi.org/10.31219/osf.io/cxt2s>, pada tanggal 6 Oktober 2021.