

Pemodelan Matematika Kasus Korupsi pada Instansi Pemerintahan

Abraham,^{1,a)}, Restika Samosir^{2,b)}, Jonner Nainggolan^{3,c)}

¹ Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

a) email: bramit1112@gmail.com

b) email: samosirestika@gmail.com

c) email: jonner2766@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini mengkaji dinamika kasus korupsi tipe *susceptible* (S), *exposed* (E), *corrupt* (C), dan *recovered* (R) dengan menambahkan parameter edukasi (α) dari subpopulasi S ke R . Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membentuk model matematika kasus korupsi dengan memperhatikan parameter edukasi pada sub populasi *susceptible* pada instansi pemerintahan dengan langkah-langkah yang dilakukan yaitu menentukan titik ekuilibrium, menganalisis kestabilan dari titik ekuilibrium, menentukan bilangan reproduksi dasar (R_0), dan melakukan simulasi numerik model matematika kasus korupsi. Titik ekuilibrium non endemik stabil asimtotik lokal jika $R_0 < 1$ ditunjukkan dengan syarat memenuhi aturan Routh-Hurwitz. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh $R_0 < 1$ yaitu 0.11 yang artinya jumlah individu-individu sub populasi korupsi (C) akan menurun, sehingga jika semakin besar nilai parameter α yang diberikan maka jumlah individu-individu sub populasi C semakin menurun, sebaliknya semakin kecil nilai parameter α yang diberikan maka jumlah individu-individu sub populasi C akan semakin meningkat dan semakin besar laju parameter β yang diberikan maka jumlah individu-individu sub populasi C akan semakin meningkat, sebaliknya jika semakin kecil parameter β yang diberikan maka jumlah individu-individu sub populasi C akan menurun.

Kata Kunci: Korupsi, Model Matematika, Titik Ekuilibrium, Bilangan Reproduksi Dasar

MSC2020: 91D10, 34D20.

Abstract

This study examines the dynamics of corruption cases of susceptible (S), exposed (E), corrupt (C), and recovered (R) types by adding educational parameters (α) from subpopulation S to R . The purpose of this study is to form a mathematical model of corruption cases by considering educational parameters in the susceptible subpopulation in government agencies with the steps taken, namely determining the equilibrium point, analyzing the stability of the equilibrium point, determining the basic reproduction number (R_0), and performing numerical simulations of the mathematical model of corruption cases. The non-endemic equilibrium point is locally asymptotically stable if $R_0 < 1$ it is shown to fulfill the Routh-Hurwitz rule. Based on the results of the study obtained $R_0 < 1$ is 0.11, which means that the number of individuals of the corruption sub-population (C) will decrease, so that if the greater the value of parameter α given, the number of individuals of sub-population C will decrease, otherwise the smaller the value of parameter α given, the number of individuals of sub-population C will increase and the greater the rate of parameter β given, the number of individuals of sub-population C will increase, otherwise if the smaller parameter β given, the number of individuals of sub-population C will decrease.

Keywords: Corruption, Mathematical Model, Equilibrium Point, Basic Reproduction Number

Pendahuluan

Korupsi merupakan suatu tindakan yang dapat merugikan pertumbuhan ekonomi maupun kehidupan masyarakat. Korupsi dapat dikategorikan dalam beberapa hal, seperti penyalahgunaan kekuasaan, penggelapan keuangan dan mencari keuntungan yang berlebihan. Korupsi berdampak besar terhadap pertumbuhan ekonomi suatu negara khususnya di negara berkembang seperti Indonesia.

Tahun 2022, menurut data Indeks Persepsi Korupsi (IPK), Indonesia meraih skor 38 dari skala 0 hingga 100, dimana skor tersebut merupakan skor terendah Indonesia sejak Tahun 2015 dan menempati peringkat 110 dari 180 negara [3]. Dalam hal ini Indonesia merupakan salah satu negara berkembang yang menempati kasus korupsi yang cukup tinggi karena sistem pada kasus korupsi yang sulit diberantas. Studi yang dilakukan oleh Nasik mencatat bahwa data dari Komisi Pemberantasan Korupsi (KPK) [8], dari Tahun 2004 hingga Oktober 2022 terdapat 1.310 kasus korupsi, 79 diantaranya terjadi pada Tahun 2022. Selanjutnya 118 Pegawai Negeri Sipil (PNS) telah ditetapkan oleh Pengadilan Negeri terlibat tindak pidana korupsi namun masih bekerja, sehingga menimbulkan kerugian bagi keuangan negara [11].

Pemberantasan korupsi di Indonesia harus semakin ditingkatkan oleh pihak penegak hukum bekerjasama dengan masyarakat. Strategi pemberantasan korupsi dilakukan oleh KPK dengan memberikan program-program edukasi dan Kampanye dan program lainnya untuk mencegah korupsi. Secara teoritis matematika berperan memberikan solusi dalam pemberantasan korupsi. Ilmu matematika yang dapat dimanfaatkan dalam memberikan solusi pada masalah pemberantasan korupsi yaitu matematika terapan.

Beberapa peneliti sebelumnya telah memodelkan masalah yang berkaitan dengan kasus korupsi. Abdulrahman meneliti tentang model matematika korupsi dengan membagi populasi menjadi empat kompartemen [1]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa korupsi dapat dikendalikan atau dikurangi tetapi tidak sepenuhnya dapat dihilangkan mengkaji tentang simulasi numerik model matematika untuk menganalisis relasi antara korupsi dengan dinamika penyebaran penyakit menular [9]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat korelasi yang signifikan antara jumlah infeksi dengan jumlah korupsi. Selanjutnya mengkaji tentang pendekatan matematika untuk menganalisis pengaruh korupsi terhadap dinamika penyebaran malaria dengan hasil penelitian menunjukkan bahwa korupsi berpengaruh negatif terhadap upaya penurunan jumlah kasus malaria [10].

Kajian yang lebih baru juga mengembangkan analisis matematika untuk memahami dinamika korupsi [12], [13], [14], dan [15]. Kajian-kajian tersebut memperlihatkan bahwa pemodelan kompartemen dan evaluasi intervensi dapat digunakan untuk mempelajari mekanisme perubahan perilaku korupsi.

Penelitian terbaru juga meninjau mekanisme pengendalian korupsi dari sudut pandang yang berbeda. Birhanu dan Fantaye (2022) mempelajari peran pemberitaan media dalam dinamika korupsi serta menganalisis kestabilan titik ekuilibrium melalui simulasi numerik [16]. Kigodi dkk. (2025) mengembangkan model kompartemen untuk korupsi pada sektor publik dengan mempertimbangkan tingkat remunerasi pegawai dan kendali optimal [17]. Id Ouaziz dkk. (2025) memodelkan interaksi antara mahasiswa dan pekerja serta mengevaluasi strategi kendali optimal [18]. Selanjutnya, Isa dkk. (2026) menyusun model susceptible–exposed–corrupted–reformed (SECR) untuk mengkaji pengaruh sosial, kestabilan titik ekuilibrium, dan upaya pencegahan [19]. Ali dkk. (2026) menganalisis dinamika korupsi melalui persamaan diferensial dengan strategi kendali berupa peningkatan kesadaran, penegakan hukum, dan rehabilitasi [20]. Kajian-kajian tersebut menunjukkan relevansi analisis kompartemen dan intervensi perilaku dalam pengendalian korupsi.

Pencegahan korupsi perlu dilakukan dengan langkah atau strategi yang tepat, salah satunya menggunakan program edukasi. Berdasarkan uraian tersebut, maka penulis memodifikasi model matematika pada kasus korupsi yang dikaji oleh Radja dan Ndi (2022) dengan menambahkan parameter pemberian edukasi dan menambahkan sub populasi exposed (E), sehingga model yang dikaji menjadi empat sub populasi yaitu susceptible (S), exposed (E), corrupt (C), dan recovered (R).

Metode

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kajian pustaka. Metode kajian pustaka yaitu dengan mempelajari beberapa referensi yang memuat materi yang berkaitan model dinamika, dan model matematika pada kasus korupsi. Kajian pustaka yang digunakan yaitu jurnal ilmiah, buku-buku teks dan informasi-informasi dari internet. Untuk simulasi numerik digunakan alat bantu program matlab.

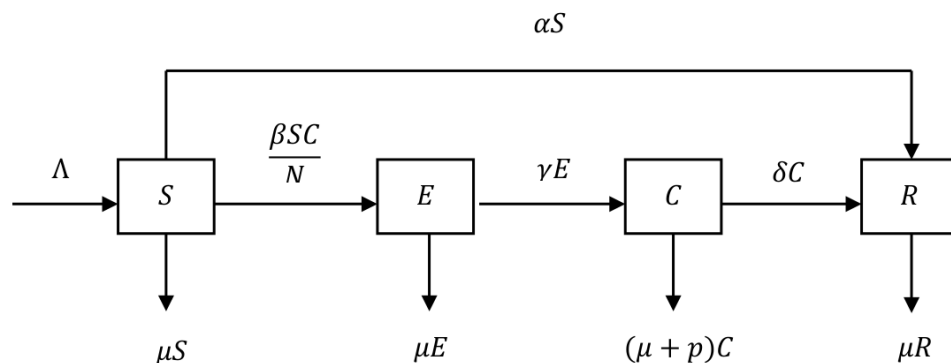
Hasil dan Diskusi

Model Matematika Kasus Korupsi

Pada model matematika kasus korupsi dengan memperhatikan parameter edukasi, populasi dibagi menjadi empat sub populasi, yaitu sub populasi susceptible (S), exposed (E), corrupt (C), dan recovered (R). Jumlah individu dari setiap sub populasi bergantung pada waktu. Waktu dinyatakan sebagai variabel t . $S(t)$ menyatakan jumlah individu rentan terhadap perilaku korupsi pada saat t . $E(t)$ menyatakan jumlah individu yang telah terpapar dengan perilaku korupsi, sudah ada niat untuk melakukan korupsi tetapi belum melakukan korupsi. $C(t)$ menyatakan jumlah individu yang melakukan korupsi dan mampu mempengaruhi sub populasi rentan untuk melakukan korupsi. $R(t)$ menyatakan jumlah individu yang sudah di penjara yang kemudian sadar untuk tidak melakukan korupsi. Selanjutnya $S(t)$, $E(t)$, $C(t)$, $R(t)$ dapat ditulis S , E , C , R . Adapun parameter dari model yaitu

- Λ menyatakan laju pertambahan subpopulasi rentan melalui perekrutan pegawai dalam pemerintahan
- α menyatakan laju subpopulasi rentan yang sadar tidak korupsi dengan upaya edukasi
- β menyatakan laju kontak individu S dengan individu C
- γ menyatakan laju perpindahan individu E masuk ke C
- δ menyatakan laju perpindahan individu C masuk ke R
- p menyatakan laju keluarnya individu C karena dipekat
- μ menyatakan laju individu yang keluar dari setiap kompartemen karena kematian alami

Secara skematik, model matematika kasus korupsi dengan memperhatikan parameter edukasi dapat digambarkan dalam diagram pada Gambar 1 berikut



Gambar 1. Diagram skematik model matematika penyebaran korupsi tipe SECR

Gambar 1 mengilustrasikan jumlah individu pada subpopulasi S akan bertambah karena perekrutan pegawai dalam pemerintahan sebesar Λ , dengan Λ adalah konstan. Kemudian S akan berkurang karena adanya individu yang diberi edukasi sebesar αS , penularan perilaku korupsi sebesar $\frac{\beta SC}{N}$ dan kematian alami sebesar μS . Jumlah subpopulasi E akan bertambah karena adanya individu yang terpapar korupsi sebesar $\frac{\beta SC}{N}$, dan akan berkurang karena adanya individu terpapar menjadi individu korupsi sebesar γE dan kematian alami sebesar μE . Jumlah individu subpopulasi C akan bertambah karena adanya individu yang terpapar menjadi individu yang korupsi sebesar γE . Kemudian akan berkurang karena adanya individu korupsi yang berpindah ke subpopulasi R sebesar δC serta kematian alami dan dipecat pada individu yang korupsi sebesar $(\mu + p)C$. Jumlah individu subpopulasi R akan bertambah karena adanya individu yang diberi edukasi sebesar αS dan individu korupsi C masuk ke subpopulasi R sebesar δC dan akan berkurang karena adanya kematian alami sebesar μR .

Berdasarkan uraian tersebut, maka model matematika kasus korupsi dengan memperhatikan parameter edukasi merupakan sistem persamaan diferensial biasa sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= \Lambda - \frac{\beta SC}{N} - \alpha S - \mu S \\ \frac{dE}{dt} &= \frac{\beta SC}{N} - \gamma E - \mu E \\ \frac{dC}{dt} &= \gamma E - \delta C - (\mu + p)C \\ \frac{dR}{dt} &= \delta C + \alpha S - \mu R\end{aligned}\tag{1}$$

Dengan $\frac{dS}{dt}, \frac{dE}{dt}, \frac{dC}{dt}, \frac{dR}{dt}$ menyatakan laju perubahan jumlah individu pada tiap subpopulasi per satuan waktu t dan $N = S + E + C + R$, dengan $S, E, C, R \geq 0$, untuk setiap $t \geq t_0$. Berikut ini diuraikan eksistensi titik ekuilibrium non endemik model matematika kasus korupsi.

Penentuan Titik Ekuilibrium Nonendemik

Untuk menganalisis kestabilan model S, E, C, R , pertama yang akan dilakukan yaitu menentukan terlebih dahulu titik ekuilibrium non endemik (3.1) dengan membuat laju perubahan masing-masing subpopulasi konstan terhadap waktu (t) yaitu saat $\frac{dS}{dt}, \frac{dE}{dt}, \frac{dC}{dt}, \frac{dR}{dt} = 0$. Keadaan saat $E = 0$ dan $C = 0$ merupakan syarat perlu untuk memperoleh titik ekuilibrium non endemik sehingga berdasarkan Sistem (1) diperoleh titik ekuilibrium non endemik adalah

$$\begin{aligned}E_0 &= (S^*, E^*, C^*, R^*) \\ &= \left(\frac{\Lambda}{\alpha + \mu}, 0, 0, \frac{\alpha \Lambda}{\mu^2 + \mu \alpha} \right)\end{aligned}\tag{2}$$

Penentuan Titik Ekuilibrium Endemik

Titik ekuilibrium endemik adalah keadaan dimana terdapat korupsi yang akan menyebar dalam suatu populasi jika $E > 0$ dan $C > 0$. Dengan membuat laju perubahan masing-masing subpopulasi konstan terhadap waktu (t) yaitu saat $\frac{dS}{dt}, \frac{dE}{dt}, \frac{dC}{dt}, \frac{dR}{dt} = 0$. Berdasarkan Sistem (1) diperoleh titik ekuilibrium endemik (E_1) adalah

$$S^{**} = \frac{(\gamma + \mu)mN}{\beta} \quad (3)$$

$$E^{**} = \frac{(\delta + \mu + p)C}{\gamma} = mC \quad (4)$$

$$C^{**} = \frac{\beta\Lambda - (\alpha + \mu)(\gamma + \mu)mN}{(\gamma + \mu)m\beta} \quad (5)$$

$$R^{**} = \frac{\delta\beta\Lambda - (\alpha + \mu)(\gamma + \mu)\delta mN + (\gamma + \mu)^2 m^2 N\alpha}{(\gamma + \mu)m\beta\mu} \quad (6)$$

Penentuan Bilangan Reproduksi Dasar

Analisis kestabilan titik ekuilibrium pada model *SECR* melibatkan bilangan reproduksi dasar atau basic reproduction number (R_0). Penentuan bilangan reproduksi dasar R_0 dengan menggunakan matriks next generation yang melibatkan radius spektral [4]. Berdasarkan titik ekuilibrium non endemik pada Sistem (1) diperoleh matriks next generation berikut

$$K = FV^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{\beta\gamma S}{N(\gamma + \mu)(\delta + \mu + p)} & \frac{\beta S}{N(\delta + \mu + p)} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Selanjutnya menghitung nilai eigen terbesar dari matriks K , dengan mencari $\det(\lambda I - FV^{-1}) = 0$ diperoleh

$$R_0 = \frac{\beta\gamma\Lambda}{N(\gamma + \mu)(\delta + \mu + p)(\alpha + \mu)} \quad (8)$$

Penentuan Kestabilan Titik Ekuilibrium

Kestabilan titik ekuilibrium non endemik dapat diperoleh berdasarkan teorema berikut:

Teorema 3.1 Titik ekuilibrium non-endemik E_0 bersifat stabil asimtotik jika $R_0 < 1$ dan tidak stabil jika $R_0 > 1$. Bukti : Untuk menganalisis kestabilan titik ekuilibrium non endemik dapat diperoleh berdasarkan analisis nilai eigen matriks Jacobian $J(E_0)$. Untuk mendapatkan matriks $J(E_0)$, yaitu dengan cara mensubstitusi $E_0 = (S^*, E^*, C^*, R^*)$ ke Persamaan (3.7) dengan $E_0 = \left(\frac{\Lambda}{\alpha + \mu}, 0, 0, \frac{\alpha\Lambda}{\mu^2 + \mu\alpha}\right)$, diperoleh

$$J(E_0) = \begin{bmatrix} -A & 0 & -\frac{\beta S^*}{N} & 0 \\ 0 & -B & \frac{\beta S^*}{N} & 0 \\ 0 & \gamma & -D & 0 \\ \alpha & 0 & \delta & -\mu \end{bmatrix} \quad (9)$$

Dengan $A = \alpha + \mu$, $B = (\gamma + \mu)$ dan $D = (\delta + \mu + p)$ Selanjutnya mencari nilai eigen matriks $J(E_0)$ diperoleh menggunakan kestabilan Routh-Hurwitz diperoleh

$$\lambda_1 = -A, \quad \lambda_2 = -\mu$$

Karena nilai eigen λ_1 dan λ_2 bernilai negatif dan $\gamma\beta\Lambda/BD > 1 \Leftrightarrow R_0 < 1$ maka bersifat stabil asimtotik.

$$\frac{\gamma\beta\Lambda}{BD} > 1 \Leftrightarrow R_0 < 1$$

Selanjutnya menentukan analisis kestabilan titik ekuilibrium endemik. Untuk menganalisis kestabilan titik ekuilibrium endemik dapat dilakukan dengan cara melihat nilai eigen pada matrik $J(E_1)$ diperoleh menggunakan kestabilan Routh-Hurwitz. Sehingga titik ekuilibrium endemik E_1 stabil asimtotik jika

$$X, Z > 0, \quad Y > \frac{Z}{X}, \quad R_0 > 1$$

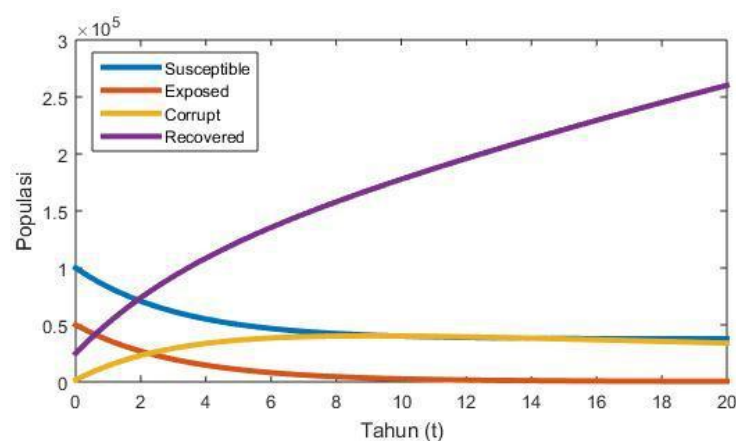
Simulasi Numerik

Simulasi numerik dilakukan dengan bantuan bahasa pemrograman MATLAB, dengan nilai-nilai parameter yang diberikan untuk kasus $R_0 < 1$ dan $R_0 > 1$. Simulasi ini dilakukan untuk melihat pengaruh parameter-parameter terhadap dinamika subpopulasi S , E , C , dan R . Berikut adalah parameter-parameter yang digunakan untuk membuat simulasi numerik.

Tabel 1. Nilai parameter pada saat $R_0 < 1$

Parameter	Nilai parameter (per tahun)	Sumber
Λ	12000	[6]
β	0,0234	[1]
α	0,3	Asumsi
μ	0,0160	[7]
γ	0,3	Asumsi
δ	0,007	[2]
ρ	0,0021	[5]

Berdasarkan nilai parameter pada Tabel 1 diperoleh $R_0 = 0.11$ yang artinya jumlah individu subpopulasi korupsi (C) menurun. Dengan nilai awal untuk masing-masing subpopulasi yaitu $S(0) = 100000$, $E(0) = 50000$, $C(0) = 1600$, $R(0) = 25000$. Hasil simulasi numerik dengan menggunakan bahasa pemrograman MATLAB diperoleh grafik yang menunjukkan jumlah subpopulasi S , E , C , dan R terhadap variabel waktu sebagai berikut.

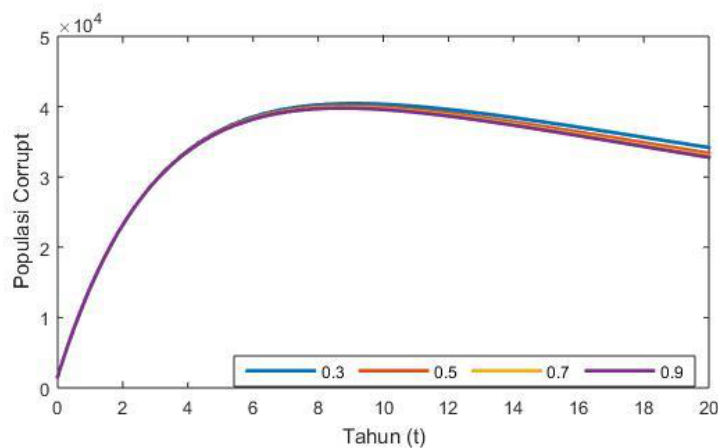


Gambar 2. Diagram skematik kelas $SECR$ terhadap waktu (t) saat $R_0 < 1$

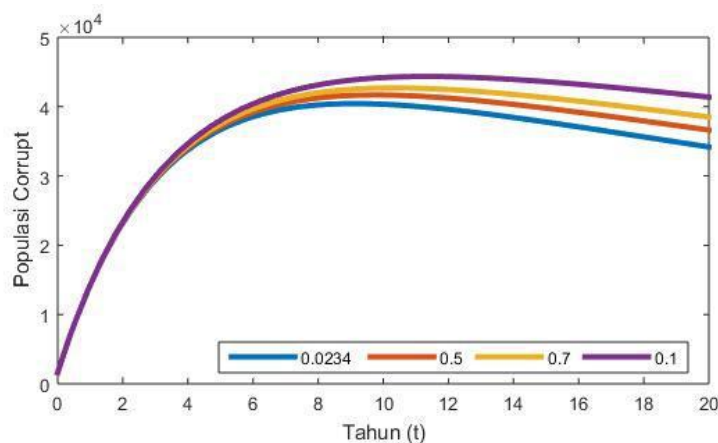
Gambar 2 menunjukkan jumlah individu subpopulasi rentan (S) mengalami penurunan dari yang awalnya 1×10^5 individu menjadi 0.5×10^5 individu dalam waktu kurang dari 9 tahun dan stabil pada

titik tersebut. Jumlah individu subpopulasi terpapar (E) mengalami penurunan, dari yang awalnya 0.5×10^5 individu menurun hingga mendekati nol dalam waktu kurang dari 9 tahun dan stabil pada titik tersebut. Jumlah individu subpopulasi korupsi (C) meningkat dari waktu $t = 0$ sampai pada waktu $t = 8$ mencapai 0.4×10^5 individu dan stabil pada titik tersebut, namun individu subpopulasi korupsi mengalami penurunan pada waktu $t = 16$ sampai waktu $t = 20$ mencapai 0.5×10^5 individu. Jumlah individu subpopulasi yang sudah sadar tidak melakukan korupsi (R) meningkat seiring berjalannya waktu dari waktu $t = 0$, sampai pada waktu $t = 20$ mencapai 2.6×10^5 individu.

Selanjutnya pada Gambar 3 dilakukan simulasi untuk melihat laju edukasi individu dari subpopulasi rentan (S) dengan individu subpopulasi korupsi dengan membandingkan $\alpha = 0,3$; $\alpha = 0,5$; $\alpha = 0,7$; dan $\alpha = 0,9$. Gambar 3 menunjukkan jika semakin besar laju edukasi (α) yang diberikan pada subpopulasi rentan (S) maka jumlah individu pada subpopulasi korupsi akan semakin berkurang atau menurun.



Gambar 3. Diagram skematik kelas C untuk α



Gambar 4. Diagram skematik kelas C untuk β

Gambar 4 menunjukkan laju kontak individu dari subpopulasi rentan dengan individu subpopulasi korupsi dengan membandingkan $\beta = 0,0234$; $\beta = 0,5$; $\beta = 0,7$; dan $\beta = 0,9$. Diperoleh jika semakin besar laju kontak individu dari subpopulasi rentan dengan individu subpopulasi korupsi maka jumlah individu pada subpopulasi korupsi akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena individu subpopulasi korupsi kontak dengan individu subpopulasi rentan (S) yang mengakibatkan adanya transmisi perilaku korupsi. sehingga jika semakin kecil laju kontak individu dari subpopulasi rentan dengan individu subpopulasi korupsi maka jumlah individu subpopulasi korupsi semakin menurun.

Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan hasil penelitian ini dapat disimpulkan: Model matematika kasus korupsi dengan memperhatikan parameter edukasi pada instansi pemerintahan tipe *SECR* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= \Lambda - \frac{\beta SC}{N} - \alpha S - \mu S \\ \frac{dE}{dt} &= \frac{\beta SC}{N} - \gamma E - \mu E \\ \frac{dC}{dt} &= \gamma E - \delta C - (\mu + p)C \\ \frac{dR}{dt} &= \delta C + \alpha S - \mu R\end{aligned}$$

Model matematika kasus korupsi dengan memperhatikan parameter edukasi pada instansi pemerintahan tipe *SECR* mempunyai dua titik ekuilibrium, yaitu:

- a. Titik ekuilibrium non endemik (tanpa korupsi) adalah titik dengan representasi perilaku korupsi tidak ada pada suatu instansi ($C = 0$). Titik ekuilibrium non endemik dari model yang dikaji adalah

$$E_0 = (S^*, E^*, C^*, R^*) = \left(\frac{\Lambda}{\alpha + \mu}, 0, 0, \frac{\alpha \Lambda}{\mu^2 + \mu \alpha} \right)$$

- b. Titik ekuilibrium endemik (E_1) diperoleh dengan syarat $E > 0$ dan $C > 0$ yaitu $E_1 = (S^{**}, E^{**}, C^{**}, R^{**})$ dengan

$$\begin{aligned}S^{**} &= \frac{(\gamma + \mu)mN}{\beta} \\ E^{**} &= \frac{(\delta + \mu + p)C}{\gamma} = mC \\ C^{**} &= \frac{\beta \Lambda - (\alpha + \mu)(\gamma + \mu)mN}{(\gamma + \mu)m\beta} \\ R^{**} &= \frac{\delta \beta \Lambda - (\alpha + \mu)(\gamma + \mu)\delta mN + (\gamma + \mu)^2 m^2 N \alpha}{(\gamma + \mu)m\beta \mu}\end{aligned}$$

Berdasarkan hasil simulasi model diperoleh bahwa jumlah individu subpopulasi korupsi akan berkurang jika $R_0 < 1$, sehingga jika semakin besar nilai parameter edukasi (α) yang diberikan maka jumlah individu subpopulasi C semakin menurun. Sebaliknya semakin kecil nilai parameter α yang diberikan maka jumlah individu subpopulasi C akan semakin meningkat dan semakin besar laju parameter β yang diberikan maka jumlah individu subpopulasi C akan semakin meningkat, sebaliknya jika semakin kecil parameter β yang diberikan maka jumlah individu-individu sub populasi C akan menurun.

Referensi

- [1] S. Abdulrahman, "Stability Analysis of the Transmission Dynamics and Control of Corruption," *The Pacific Journal of Science and Technology*, vol. 15, no. 1, pp. 99–113, 2014.
- [2] H. T. Alemneh, "Mathematical Modeling, Analysis, and Optimal Control of Corruption Dynamics," *Journal of Applied Mathematics*, vol. 2020, art. no. 5109841, 2020, doi: 10.1155/2020/5109841.
- [3] BPHN, "Indeks Persepsi Korupsi Indonesia," Badan Pembinaan Hukum Nasional R.I., 2023.
- [4] P. van den Driessche dan J. Watmough, "Reproduction Numbers and Sub-threshold Endemic Equilibria for Compartmental Models of Disease Transmission," *Mathematical Biosciences*, vol. 180, no. 1–2, pp. 29–48, 2002, doi: 10.1016/S0025-5564(02)00108-6.
- [5] F. Y. Egudap, F. Oguntolup, dan T. Ashezuap, "Understanding the Dynamics of Corruption Using Mathematical Modeling Approach," *IJISSET–International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, vol. 4, 2017. [Daring]. Tersedia: www.ijiset.com.
- [6] A. K. Fantaye dan Z. K. Birhanu, "Mathematical Model and Analysis of Corruption Dynamics with Optimal Control," *Journal of Applied Mathematics*, vol. 2022, art. no. 8073877, 2022, doi: 10.1155/2022/8073877.
- [7] L. Lemecha dan S. Feyissa, "Mathematical Modeling and Analysis of Corruption Dynamics," *Ethiopian Journal of Science and Sustainable Development*, vol. 5, no. 2, pp. 13–26, 2018.
- [8] Nasik, "Kasus Korupsi di Indonesia: Penyebab, Contoh dan Hambatan," 2023. [Daring]. Tersedia: <https://www.gramedia.com/best-seller/kasus-korupsi-di-indonesia/> (diakses 25 Agustus 2023).
- [9] J. B. A. Radja dan M. Z. Ndii, "Simulasi numerik model matematika untuk menganalisis relasi antara korupsi dan dinamika penyebaran penyakit menular," *Jambura Journal of Biomathematics*, vol. 3, no. 1, pp. 12–16, 2022, doi: 10.34312/jjbm.v3i1.14187.
- [10] J. B. A. Radja, G. L. Putra, dan M. Z. Ndii, "Pendekatan Matematika untuk Menganalisis Pengaruh Korupsi terhadap Dinamika Penyebaran Malaria," vol. 5, no. 1, pp. 35–42, 2023. [Nama jurnal belum tercantum pada sumber].
- [11] H. Rika, "Rugikan Negara, PNS Koruptor Masih Digaji," *CNN Indonesia*, 2020. [Daring]. Tersedia: <https://www.cnnindonesia.com/ekonomi/20201229192241-532-587567/rugikan-negara-pns-koruptor-masih-digaji> (diakses 30 Oktober 2023).
- [12] B. Z. Aga, H. G. Tasisa, T. D. Keno, A. G. Geleta, D. W. Dinsa, dan A. R. Geletu, "Corruption dynamics: a mathematical model and analysis," *Frontiers in Applied Mathematics and Statistics*, vol. 10, art. no. 1323479, 2024, doi: 10.3389/fams.2024.1323479.
- [13] S. I. Rwat, S. Emmanuel, N. T. Danat, dan S. H. Tsok, "Mathematical modeling of corruption dynamics: Examining the reintegration of formerly corrupt individuals," *FUDMA Journal of Sciences*, vol. 7, no. 4, pp. 1–13, 2023, doi: 10.33003/fjs-2023-0704-1888.
- [14] T. W. Gutema, A. G. Wedajo, dan P. R. Koya, "A mathematical analysis of the corruption dynamics model with optimal control strategy," *Frontiers in Applied Mathematics and Statistics*, vol. 10, art. no. 1387147, 2024, doi: 10.3389/fams.2024.1387147.
- [15] M. Ahmed, M. Kamal, dan M. A. Hossain, "A mathematical model of corruption dynamics and optimal control," *Franklin Open*, vol. 10, art. no. 100216, 2025, doi: 10.1016/j.fraope.2025.100216.
- [16] Z. K. Birhanu dan A. K. Fantaye, "Modeling and analysis of corruption dynamics incorporating media coverage," *Communications in Mathematical Biology and Neuroscience*, vol. 2022, art. no. 94, 2022, doi: 10.28919/cmbn/7651.

- [17] O. J. Kigodi, M. S. Manjenga, F. M. Mrope, dan H. N. Masasila, "Modeling the Dynamics of Corruption and Optimal Control in Public Sectors," *Journal of Mathematical Analysis and Modeling*, vol. 6, no. 2, pp. 43–59, 2025, doi: 10.48185/jmam.v6i2.1215.
- [18] S. Id Ouaziz, M. El Khomssi, A. A. Raezah, dan Y. Sabbar, "Exploring Corruption Through Mathematical Modeling and Optimal Control Analysis: Examining Interactions Between Students and Employees," *Journal of Mathematics*, vol. 2025, art. no. 2621856, 2025, doi: 10.1155/jom/2621856.
- [19] R. S. Isa, K. Mensah, G. O. Acheneje, N. Jeeva, M. Gümüş, K. Ali, dan A. Raza, "Modeling corruption as a social contagion: a mathematical approach to dynamics, thresholds, and control," *International Journal of Dynamics and Control*, vol. 14, art. no. 259, 2026, doi: 10.1007/s40435-026-02205-y.
- [20] K. Ali, I. Aldawish, A. Raza, S. T. R. Rizvi, M. Adel, dan A. R. Seadawy, "Mathematical modelling and analysis of corruption dynamics with optimal control techniques and applications," *Journal of Inequalities and Applications*, 2026, doi: 10.1186/s13660-026-03547-z.