

MODEL DINAMIKA KECANDUAN GAME ONLINE MENGUNAKAN MODEL EPIDEMI TIPE SEIR

Nabila Asyiqotur Rohmah¹

¹Institut Agama Islam Negeri Ponorogo

annabila1515@gmail.com

Abstract

Online game and the easeness of internet access to it has led to addictive behavior in online gaming. Online gaming addiction has caused many negative effects on society. This study discusses a mathematical model of online gaming addiction based on the SEIR-type epidemiological model. The research aims to understand the social behavior of online gaming addiction through a mathematical model. The model will be examined for equilibrium points, basic reproduction number, and system behavior analysis based on software simulations. The results show two equilibrium points: a disease-free equilibrium E_0 and an endemic equilibrium E_1 . The basic reproduction number obtained is $R_0 = -\frac{\alpha\beta S_0}{(\varepsilon+\mu)(\alpha+\mu+\theta)}$. Simulations were performed three times. The simulation with $R_0 < 1$ indicates that the system will asymptotically stable towards the state of eliminating the individuals addicted to online gaming. Meanwhile, the simulation with $R_0 > 1$ shows that the system will asymptotically stable towards the existence of the individuals addicted to online gaming.

Keywords : online game addiction, SEIR epidemiological model, basic reproduction number

Abstrak

Adanya *game online* dan kemudahan akses internet memunculkan perilaku kecanduan bermain *game online*. Kecanduan *game online* menimbulkan banyak efek negatif ke masyarakat. Penelitian ini membahas tentang model matematika kecanduan *game online* yang didasari dari model epidemi tipe SEIR. Penelitian ini bertujuan untuk memahami perilaku sosial kecanduan *game online* lewat model matematika. Model yang terbentuk akan diselidiki titik setimbang, bilangan reproduksi dasar, lalu dianalisis perilaku sistem berdasarkan simulasi software. Hasilnya, didapatkan dua titik setimbang bebas penyakit E_0 dan titik setimbang endemik E_1 . Bilangan reproduksi dasar yang didapatkan adalah $R_0 = -\frac{\alpha\beta S_0}{(\varepsilon+\mu)(\alpha+\mu+\theta)}$. Simulasi dilakukan tiga kali. Simulasi dengan $R_0 < 1$ menunjukkan sistem akan stabil asimtotik menuju keadaan hilangnya individu yang kecanduan bermain *game online*. Sementara simulasi dengan $R_0 > 1$ menunjukkan sistem akan stabil asimtotik menuju adanya individu yang kecanduan *game online*.

Kata Kunci: kecanduan *game online*, model epidemi SEIR, bilangan reproduksi dasar

PENDAHULUAN

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi telah melahirkan banyak produk baru. Contoh produk hasil kemajuan teknologi adalah kemunculan PC (*personal computer*) dan *smartphone* yang disertai dengan internet berkecepatan tinggi. Produk-produk tersebut melahirkan produk-produk turunan yang ikut membentuk perilaku baru di masyarakat, contohnya kemunculan *game online*. Hanya dengan memasang sebuah aplikasi game atau mengakses laman tertentu, semua orang dapat bermain game secara online.

Kemunculan *game online* yang didukung internet berkecepatan tinggi menyebabkan banyak kasus kecanduan bermain *game online*. Bagi remaja, kecanduan *game online* berefek terhadap gangguan kesehatan, psikologi, akademik, sosial, dan keuangan (Hasibuan & Anggreni, 2022). Bagi siswa, kecanduan *game online* dapat menyebabkan siswa tidak masuk sekolah, tidak mengerjakan tugas, bahkan melakukan tindak kriminal (Putra & Nuryono, 2022). Bagi dewasa, efek kecanduan *game online* dapat mencapai tahap bahaya karena merusak hidup, produktifitas bekerja, dan hubungan sosial (Hou & Chen, 2023). Dengan banyaknya dampak negatif, perlu upaya pencegahan kecanduan *game online*, terutama pada generasi muda serta pada usia produktif.

Kecanduan *game online* merupakan fenomena sosial yang dapat diteliti dan dipahami dalam bentuk pemodelan matematika. Model matematika yang umum digunakan untuk fenomena kecanduan *game online* adalah model penyebaran penyakit. Model dinamika kecanduan *game online* pada gawai telah diteliti perilakunya menggunakan model penyebaran penyakit tipe SEAR dengan empat kompartemen (Wijaya & Maulana, 2022). Penelitian tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa kecanduan bermain *game online* cenderung terjadi ketika seseorang melakukan instalasi game lalu memainkannya di gawai milik pribadi. Penelitian lain dilakukan oleh Noor dkk menggunakan model penyebaran penyakit tipe SIRS pada pecandu *game online*. Dalam penelitian tersebut, diketahui bahwa untuk mengurangi populasi individu yang kecanduan *game online*, laju perubahan individu rentan ke individu aktif bermain game harus dikurangi dan menambah parameter laju perubahan individu yang aktif bermain ke individu yang sembuh dari kecanduan (Noor dkk., 2020). Fatahillah dkk (2021) memodelkan kasus kecanduan *game online* menggunakan metode Runge-Kutta Orde 14 dan melakukan simulasi secara numerik.

Pada penelitian ini akan diteliti bagaimana perilaku sosial kecanduan *game online*. Perilaku tersebut digambarkan dengan model epidemi tipe SEIR. Model yang dibentuk akan dicari titik kesetimbangannya. Selanjutnya dicari bilangan reproduksi dasar dari model, lalu dilakukan simulasi dan dianalisis hasilnya.

METODE PENELITIAN

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pembentukan model kecanduan *game online*
2. Mencari titik kesetimbangan
3. Mencari bilangan reproduksi dasar
4. Simulasi model kecanduan *game online*
5. Analisis hasil simulasi model

Untuk membantu menyelesaikan perhitungan dalam penelitian ini, software yang digunakan adalah Matlab, sementara simulasi numerik menggunakan bahasa pemrograman Python yang diakses via Google Colaboratory. Nilai-nilai awal (*initial condition*) dan nilai parameter yang digunakan untuk simulasi ada berasal dari penelitian (Fatahillah dkk., 2021) dan ada yang berupa nilai asumsi, karena akan digunakan untuk membandingkan beberapa skenario dalam kecanduan *game online*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembentukan Model

Model matematika biasanya dibentuk dari satu atau lebih persamaan. Model matematika sering digunakan untuk menjelaskan berbagai fenomena dalam bentuk persamaan matematis, termasuk untuk menjelaskan penyebaran penyakit. Perilaku sosial pada kecanduan *game online* dapat digambarkan dengan model epidemi (penyebaran penyakit). Pada penyebaran penyakit ada beberapa tipe model epidemi yang digunakan, contohnya tipe SIR, tipe SEIR, tipe SEAR, dan banyak tipe lain. Pada penelitian ini akan dibatasi menggunakan model epidemi tipe SEIR (Fatahillah dkk., 2021).

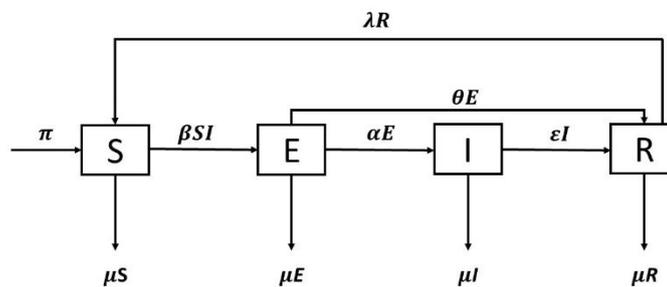
Model epidemi tipe SEIR ini tersusun atas empat kompartemen. Tiap kompartemen digunakan untuk menggambarkan kumpulan individu atau variabel. Keempat variabel tersebut adalah S (*susceptible*), E (*exposed*), I (*infected*), dan R (*recovered*). Berikut asumsi pada variabel dan parameter pada model matematika kecanduan *game online* tipe SEIR:

Tabel 1. Asumsi pada Variabel dan Parameter pada Model Kecanduan *Game online* Tipe SEIR

Notasi	Keterangan
S	<i>Susceptible</i> , merupakan individu yang tidak bermain <i>game online</i> atau individu yang rentan. Individu ini rentan menjadi individu terpapar (E) atau individu kecanduan bermain <i>game online</i> (R)
E	<i>Exposed</i> , merupakan individu yang terpapar <i>game online</i> dengan intensitas <i>game online</i> yang jarang. Individu terpapar (E) dapat menjadi individu yang kecanduan <i>game online</i> ataupun menjadi individu berhenti main <i>game online</i>
I	<i>Infected</i> , merupakan individu yang kecanduan <i>game online</i> . Individu yang kecanduan (I) dapat berubah menjadi individu sembuh yang berhenti main <i>game online</i>

Notasi	Keterangan
R	<i>Recovered</i> , merupakan individu yang berhenti bermain <i>game online</i> . Individu sembuh (R) dapat kembali bermain <i>game online</i> karena paparan beragam <i>game online</i> yang didukung perkembangan teknologi masa kini
α	Laju perubahan individu terpapar (E) ke individu kecanduan bermain <i>game online</i> (I)
β	Laju perubahan individu rentan (S) ke individu terpapar <i>game online</i> (E)
ε	Laju kesembuhan individu kecanduan bermain (I) ke individu sembuh atau individu berhenti bermain <i>game online</i> (R)
θ	Laju perubahan individu terpapar (E) ke individu sembuh atau individu berhenti bermain <i>game online</i> (R)
λ	Laju perubahan individu sembuh (R) ke individu rentan (S)
μ	Tingkat pengguna masuk bermain <i>game online</i>
π	Tingkat pengguna keluar bermain <i>game online</i>

Berdasarkan variabel dan parameter yang dijabarkan pada tabel di atas, maka kasus kecanduan bermain *game online* dapat digambarkan dengan diagram kompartemen sebagai berikut:



Gambar 1. Model Kompartemen Epidemik Tipe SEIR untuk Kecanduan *Game Online*

Berdasarkan Gambar 1, maka model matematika untuk kecanduan *game online* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \frac{dS}{dt} &= \pi - \mu S - \beta SI - \lambda R \\
 \frac{dE}{dt} &= \beta SI - \alpha E - \mu E - \theta E \\
 \frac{dI}{dt} &= \alpha E - \varepsilon I - \mu I \\
 \frac{dR}{dt} &= \varepsilon I - \mu R + \theta E - \lambda R
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Titik Setimbang

Titik setimbang diperoleh ketika semua persamaan diferensial dalam model matematika bernilai nol, dengan kata lain adalah ketika $\dot{S} = \dot{E} = \dot{I} = \dot{R} = 0$. Model matematika pada Persamaan (1) dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \pi - \mu S - \beta SI - \lambda R &= 0 \\
 \beta SI - \alpha E - \mu E - \theta E &= 0
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

$$\begin{aligned} \alpha E - \varepsilon I - \mu I &= 0 \\ \varepsilon I - \mu R + \theta E - \lambda R &= 0 \end{aligned}$$

Selanjutnya, dilakukan komputasi pada Persamaan (2). Komputasi dilakukan dengan bantuan Phyton yang diakses via Google Colaboratory, sehingga didapatkan dua titik kesetimbangan, yaitu:

1. Titik kesetimbangan bebas penyakit $E_0 = (S^*, E^*, I^*, R^*) = (\frac{\pi}{\mu}, 0, 0, 0)$
2. Titik kesetimbangan endemik $E_1 = (S^{**}, E^{**}, I^{**}, R^{**})$ dengan

$$\begin{aligned} S^{**} &= \frac{(\varepsilon + \mu)(\alpha + \mu + \theta)}{\alpha + \beta} \\ E^{**} &= \frac{(\varepsilon + \mu)(\lambda + \mu)(\alpha\beta\pi - \alpha\varepsilon\mu - \alpha\mu^2 - \varepsilon\mu^2 - \varepsilon\mu\theta - \mu^3 + \mu^3\theta)}{\alpha\beta\mu(\alpha\varepsilon + \alpha\lambda + \alpha\mu + \varepsilon\lambda + \varepsilon\mu + \varepsilon\theta + \lambda\mu + \mu^2 + \mu\theta)} \\ I^{**} &= \frac{(\lambda + \mu)(\alpha\beta\pi - \alpha\varepsilon\mu - \alpha\mu^2 - \varepsilon\mu^2 - \varepsilon\mu\theta - \mu^3 + \mu^3\theta)}{\beta\mu(\alpha\varepsilon + \alpha\lambda + \alpha\mu + \varepsilon\lambda + \varepsilon\mu + \varepsilon\theta + \lambda\mu + \mu^2 + \mu\theta)} \\ R^{**} &= \frac{(\alpha\varepsilon + \varepsilon\theta + \mu\theta)(\alpha\beta\pi - \alpha\varepsilon\mu - \alpha\mu^2 - \varepsilon\mu^2 - \varepsilon\mu\theta - \mu^3 + \mu^3\theta)}{\alpha\beta\mu(\alpha\varepsilon + \alpha\lambda + \alpha\mu + \varepsilon\lambda + \varepsilon\mu + \varepsilon\theta + \lambda\mu + \mu^2 + \mu\theta)} \end{aligned}$$

Bilangan Reproduksi Dasar

Bilangan reproduksi dasar adalah rerata banyaknya jumlah infeksi lanjutan yang terjadi akibat satu individu terinfeksi dan menularkan infeksi tersebut terhadap individu rentan (Ma & Li, 2009). Bilangan reproduksi dasar biasa dituliskan dengan R_0 . Untuk mendapatkan R_0 , akan digunakan *Next Gen Matrix* atau disingkat NGM (Diekmann dkk., 2010). Langkah untuk mendapatkan NGM, di awal perlu dilakukan linearisasi pada persamaan-persamaan matematika untuk kemudian membentuk matriks Jacobian. Selanjutnya, titik-titik kesetimbangan dapat disubstitusikan ke dalam matriks Jacobian. Matriks Jacobian yang terbentuk akan diuraikan sehingga terdapat dua fungsi, yaitu matriks transmisi dan matriks transisi. Matriks transisi dilambangkan dengan T, sementara matriks transmisi dengan U.

Populasi dengan individu terinfeksi ditentukan oleh persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \frac{dE}{dt} &= \beta SI - \alpha E - \mu E - \theta E \\ \frac{dI}{dt} &= \alpha E - \varepsilon I - \mu I \end{aligned} \tag{3}$$

Misalkan F adalah faktor infeksi baru dan V faktor perpindahan penyakit dari Persamaan (3). F dan V dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F &= \begin{pmatrix} F_1 \\ F_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \beta SI \\ 0 \end{pmatrix} \\ V &= \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -(\alpha + \mu + \theta)E \\ \alpha E - (\varepsilon + \mu)I \end{pmatrix} \end{aligned} \tag{4}$$

Matriks Jacobian akan diturunkan dari Persamaan (4) ke matriks T dan U, kemudian dicari kebalikan dari matriks U, sehingga didapatkan NGM.

$$T = \begin{pmatrix} \frac{dF_1}{dE} & \frac{dF_1}{dI} \\ \frac{dF_2}{dE} & \frac{dF_2}{dI} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \beta S_0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$U = \begin{pmatrix} \frac{dV_1}{dE} & \frac{dV_1}{dI} \\ \frac{dV_2}{dE} & \frac{dV_2}{dI} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -(\alpha + \mu + \theta) & 0 \\ \alpha & -(\varepsilon + \mu) \end{pmatrix}$$

Sehingga diperoleh bentuk NGM sebagai berikut:

$$K = TU^{-1}$$

$$K = \begin{pmatrix} 0 & \beta S_0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -\frac{1}{\alpha + \mu + \theta} & 0 \\ -\frac{1}{(\varepsilon + \mu)(\alpha + \mu + \theta)} & -\frac{1}{\varepsilon + \mu} \end{pmatrix}$$

$$K = \begin{pmatrix} -\frac{\alpha\beta S_0}{(\varepsilon + \mu)(\alpha + \mu + \theta)} & -\frac{\beta S_0}{\varepsilon + \mu} \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Untuk mendapatkan bilangan reproduksi dasar, perlu dilakukan perhitungan pada NGM sehingga akan didapatkan nilai eigen. Nilai eigen yang terbesar adalah bilangan reproduksi dasar yang dimaksud. Dengan menyelesaikan persamaan $\det(\lambda I - K) = 0$, didapatkan nilai eigen yang terbesar yang didapatkan adalah sebagai berikut:

$$R_0 = -\frac{\alpha\beta S_0}{(\varepsilon + \mu)(\alpha + \mu + \theta)}$$

Simulasi Model

Simulasi pada model dilakukan untuk memahami perilaku model. Pada penelitian ini, dilakukan tiga (3) skenario. Simulasi dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Python. Nilai parameter pada simulasi dapat menggunakan sumber tertentu dan dapat menggunakan asumsi. Nilai-nilai semua parameter diasumsikan lebih besar atau sama dengan nol (o).

Tabel 2. Nilai Awal Model Kecanduan Game Online

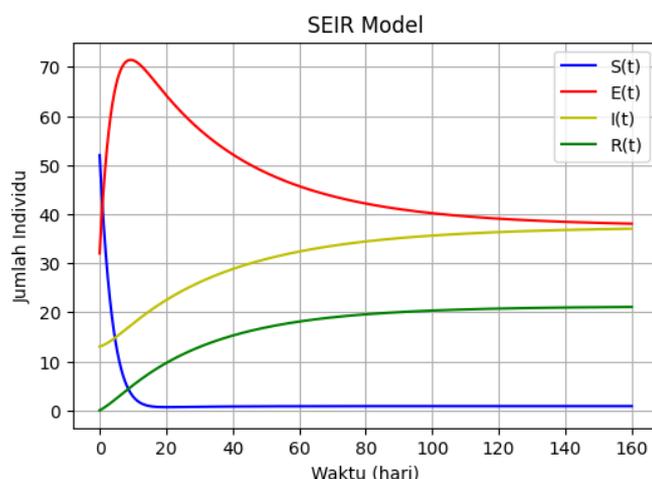
Notasi	Keterangan	Keterangan	Satuan	Sumber
S(o)	Jumlah individu rentan saat t=0	52	individu	Fatahillah (2021)
E(o)	Jumlah individu terpapar saat t=0	32	individu	Fatahillah (2021)
I(o)	Jumlah individu kecanduan <i>game online</i> saat t=0	13	individu	Fatahillah (2021)
R(o)	Jumlah individu berhenti main <i>game online</i> saat t=0	0	individu	Fatahillah (2021)

Tabel 3. Nilai-nilai Parameter untuk Simulasi

Notasi	Nilai Parameter			Satuan
	Kasus 1	Kasus 2	Kasus 3	
α	0,01	0,01	0,01	Individu/hari
β	0,02	0,02	0,02	Individu/hari
ε	0,01	0,19	0,07	Individu/hari

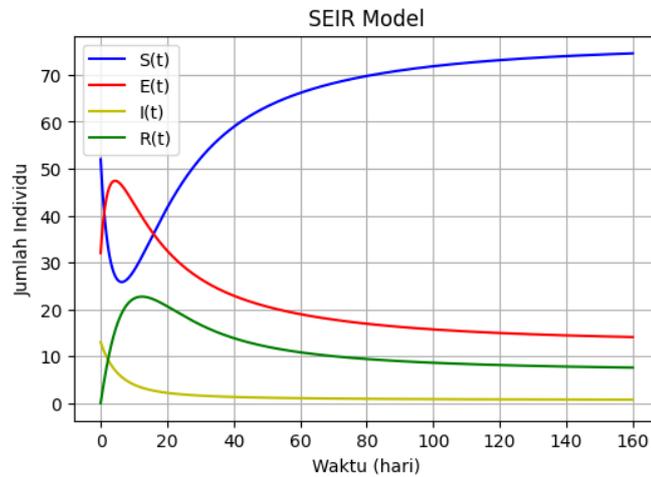
θ	0,007	0,07	0,09	Individu/hari
λ	0,03	0,15	0,09	Individu/hari
μ	0	0	0	Individu/hari
π	0	0	0	Individu/hari

Pada Tabel 3, nilai parameter yang digunakan untuk simulasi pada Kasus 1 berasal dari penelitian (Fatahillah dkk., 2021), sementara nilai parameter untuk simulasi pada Kasus 2 dan Kasus 3 (selain nilai α dan β) berdasarkan asumsi. Simulasi dilakukan hingga hari ke-160.



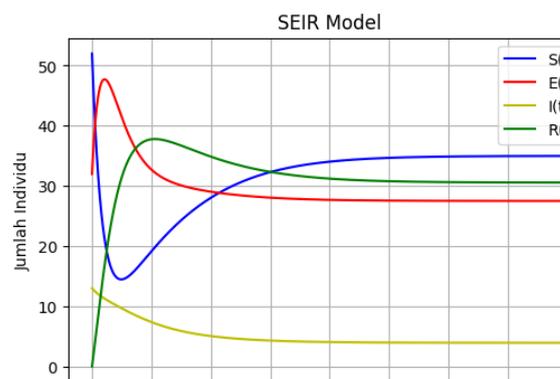
Gambar 2. Simulasi Model Kecanduan Game Online pada $R_0 = 61,1765$

Pada simulasi Kasus 1 (Gambar 2), individu yang rentan (*susceptible*) mengalami penurunan drastis pada hari pertama dan terus menurun hingga mendekati nol individu pada hari ke-10, selanjutnya stabil hingga pada simulasi hari ke-160. Untuk individu terpapar (*exposed*), di awal simulasi naik hingga hari ke-10, lalu terus menurun dan stabil jumlahnya di angka 38 individu hingga akhir simulasi. Sementara, untuk individu kecanduan game online (*infected*) mengalami kenaikan jumlah sejak awal simulasi, lalu stabil menuju angka 37 individu. Pada jumlah individu yang berhenti main game online (*recovered*), naik stabil menuju angka 21 individu. Grafik ini berarti, individu rentan punya kecenderungan untuk terpapar game online tersebut, individu terpapar cenderung menjadi individu yang kecanduan game online, individu kecanduan game online cenderung bertambah, sementara individu yang berhenti main game online bertambah dan cenderung stabil meskipun jumlahnya di bawah individu yang bermain game online. Hal ini juga berarti bahwa individu yang pernah terpapar game online punya kecenderungan menjadi kecanduan, sementara sebagian individu yang tidak kecanduan beralih menjadi individu yang berhenti bermain game karena berbagai faktor. Individu yang kecanduan game online cenderung terus bermain game, atau dengan kata lain individu yang sudah kecanduan akan sulit lepas dari game online tersebut. Pada simulasi ini, didapatkan nilai $R_0 = 61,1765$ ($R_0 > 1$), yaitu sistem akan stabil asimtotik menuju titik endemik (E_1), yang berarti sistem memiliki kecenderungan untuk menuju kecanduan game online.



Gambar 3. Simulasi Model Kecanduan *Game Online* Saat $R_0 = 0,684$

Pada simulasi Kasus 2 (Gambar 3), individu rentan awalnya turun drastis hingga hari ke-7, lalu naik terus hingga hari terakhir simulasi. Individu terpapar naik hingga hari ke-4, lalu menurun terus jumlahnya hingga hari terakhir simulasi. Jumlah individu yang kecanduan *game online* dari awal simulasi terus menurun jumlahnya. Untuk individu yang berhenti main *game online*, pada awalnya naik hingga hari ke 12, lalu terus menurun hingga hari terakhir simulasi. Simulasi kedua ini berarti, individu rentan cenderung mudah terpapar atau kecanduan *game online* tetapi cepat pula kembali menjadi individu rentan, sementara individu terpapar dan individu kecanduan *game online* cenderung berhenti main *game online* atau kembali menjadi individu rentan. Simulasi ini juga berarti bahwa yang sudah bermain *game online* banyak yang memilih menghentikan game tersebut sehingga tidak berlarut-larut menjadi kecanduan bermain. Pada simulasi ketiga, didapatkan $R_0 = 0,684$ ($R_0 < 1$), yaitu sistem akan stabil asimtotik menuju titik bebas penyakit (E_0), artinya sistem memiliki kecenderungan untuk tidak kecanduan *game online*.



Gambar 4. Simulasi Model Kecanduan *Game Online* Saat $R_0 = 1,4857$

Pada simulasi Kasus 3 (Gambar 4) didapatkan $R_0 = 1,4857$ ($R_0 > 1$). Simulasi ini menunjukkan sistem menuju titik setimbang endemik penyakit E_1 . Simulasi ini berarti ada kecenderungan individu yang pernah bermain *game online* menjadi kecanduan.

Pada penelitian ini, didapatkan bahwa individu yang pernah terpapar *game online* punya kecenderungan yang besar untuk terus kecanduan *game online*. Faktor-faktor lain terkait game yang digunakan untuk edukasi, adanya pemain *game online* profesional, dan jenis kelamin tidak diperhitungkan. Agar tidak terjadi kecanduan, ada baiknya dilakukan strategi pencegahan dengan mengurangi paparan *game online* terhadap individu yang rentan.

PENUTUP

Simpulan

Penelitian model kecanduan *game online* ini menggunakan model epidemi untuk empat kompartemen tipe SEIR (*Susceptible, Exposed, Infected, Recovered*). Dari hasil komputasi dan simulasi, didapatkan simpulan:

1. Titik kesetimbangan bebas penyakit $E_0 = (S^*, E^*, I^*, R^*) = (\frac{\pi}{\mu}, 0, 0, 0)$ dan titik kesetimbangan endemik $E_1 = (S^{**}, E^{**}, I^{**}, R^{**})$ dengan $S^{**} = \frac{(\varepsilon + \mu)(\alpha + \mu + \theta)}{\alpha + \beta}$, $E^{**} = \frac{(\varepsilon + \mu)(\lambda + \mu)(\alpha\beta\pi - \alpha\varepsilon\mu - \alpha\mu^2 - \varepsilon\mu^2 - \varepsilon\mu\theta - \mu^3 + \mu^3\theta)}{\alpha\beta\mu(\alpha\varepsilon + \alpha\lambda + \alpha\mu + \varepsilon\lambda + \varepsilon\mu + \varepsilon\theta + \lambda\mu + \mu^2 + \mu\theta)}$, $I^{**} = \frac{(\lambda + \mu)(\alpha\beta\pi - \alpha\varepsilon\mu - \alpha\mu^2 - \varepsilon\mu^2 - \varepsilon\mu\theta - \mu^3 + \mu^3\theta)}{\beta\mu(\alpha\varepsilon + \alpha\lambda + \alpha\mu + \varepsilon\lambda + \varepsilon\mu + \varepsilon\theta + \lambda\mu + \mu^2 + \mu\theta)}$, dan $R^{**} = \frac{(\alpha\varepsilon + \varepsilon\theta + \mu\theta)(\alpha\beta\pi - \alpha\varepsilon\mu - \alpha\mu^2 - \varepsilon\mu^2 - \varepsilon\mu\theta - \mu^3 + \mu^3\theta)}{\alpha\beta\mu(\alpha\varepsilon + \alpha\lambda + \alpha\mu + \varepsilon\lambda + \varepsilon\mu + \varepsilon\theta + \lambda\mu + \mu^2 + \mu\theta)}$.
2. Bilangan reproduksi dasar $R_0 = -\frac{\alpha\beta S_0}{(\varepsilon + \mu)(\alpha + \mu + \theta)}$.
3. Simulasi untuk $R_0 > 1$ menunjukkan sistem stabil asimtotik menuju kecenderungan individu yang pernah bermain *game online* menjadi kecanduan, sementara simulasi untuk $R_0 < 1$ menunjukkan sistem stabil asimtotik menuju kecenderungan individu yang kecanduan *game online* hilang.

Saran

Pada penelitian lanjutan, dapat dicoba dicari kestabilan sistem dari titik kesetimbangan atau mengaplikasikan teori kendali optimal pada model kecanduan bermain *game online*. Penelitian lanjutan lainnya juga dapat mempertimbangkan faktor penggunaan game untuk edukasi, faktor jenis kelamin atau faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi jumlah individu yang mengalami kecanduan *game online*.

DAFTAR PUSTAKA

- Diekmann, O., Heesterbeek, J. A. P., & Roberts, M. G. (2010). The construction of next-generation matrices for compartmental epidemic models. *Journal of The Royal Society Interface*, 7(47), 873–885. <https://doi.org/10.1098/rsif.2009.0386>
- Fatahillah, A., Istiqomah, M., & Dafik. (2021). Pemodelan Matematika Pada Kasus Kecanduan Game Online Menggunakan Metode Runge-Kutta Orde 14. *Limits:*

- Journal of Mathematics and Its Application*, 18(2), 129–141. <https://doi.org/10.12962/limits.v18i2.6854>
- Hasibuan, J., & Anggreni, A. (2022). Fenomena Kecanduan Game Online pada Remaja di Desa Deli Tua Kecamatan Namorambe. *Learning Society: Jurnal CSR, Pendidikan, dan Pemberdayaan Masyarakat*, 3(1), 20–28. <https://doi.org/10.30872/lis.v3i1.1148>
- Hou, J., & Chen, Y. (2023). Psychological effect of online games on adults through deep neural network analysis. *Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering*, 23(2), 737–746. <https://doi.org/10.3233/JCM-226607>
- Ma, Z., & Li, J. (Ed.). (2009). *Dynamical modeling and analysis of epidemics*. World Scientific.
- Noor, C. A. P., Ibrahim, S. S., & Barham, S. M. (2020). *Model Epidemik SIRS pada Pecandu Game Online*. <https://doi.org/10.31219/osf.io/vugk7>
- Putra, G. A., & Nuryono, W. (2022). Fenomena Penyebab Kecanduan Game Online pada Siswa. *Jurnal BK UNESA*, 12(3), 983–989.
- Wijaya, Y. B. S., & Maulana, D. A. (2022). Model Dinamika Kecanduan Game Online Pada Gawai. *MATHunesa: Jurnal Ilmiah Matematika*, 10(02), 299–207. <https://doi.org/10.26740/mathunesa.v10n2.p299-307>