

DINAMIKA KECANDUAN VAPE MANTAN PENGGUNA DENGAN INTERVENSI RELAPS

Nur Rezky Ramadhan¹, Alvioni Bani²

Program Studi Matematika, Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar^{1,2}

Email: nur.rezky.ramadhan@unm.ac.id¹, alvioni.bani@unm.ac.id²

Coessponding Author: Nur Rezky Ramadhan, Email: nur.rezky.ramadhan@unm.ac.id

Abstrak. Penelitian ini bertujuan mengonstruksi artikel ilmiah berbasis model matematika untuk menggambarkan dinamika kecanduan vape dengan mempertimbangkan faktor relaps pada mantan pengguna. Model dikembangkan menggunakan pendekatan kompartemen SEIR yang dimodifikasi, dengan empat kelompok populasi yaitu rentan, terpapar, kecanduan, dan pulih. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif melalui pemodelan matematika, pengumpulan data kuesioner terhadap 150 responden usia 15-30 tahun, penentuan nilai awal, formulasi sistem persamaan diferensial, analisis titik kesetimbangan, bilangan reproduksi dasar, kestabilan lokal, dan simulasi numerik. Hasil menunjukkan bahwa nilai eigen negatif, yaitu $-0,21$ dan $-0,26$ nilai awal populasi terdiri atas 100 individu rentan, 20 terpapar, 20 kecanduan, dan 10 mantan pengguna. Nilai bilangan reproduksi dasar yang diperoleh sebesar $R_0 = 0,9157$ sehingga berada di bawah ambang satu. Kondisi ini menunjukkan bahwa penyebaran kecanduan vape cenderung dapat dikendalikan. Namun, relaps menyebabkan proses penurunan kecanduan berlangsung lebih lambat dan menimbulkan fluktuasi pada kelompok pulih. Kebaruan penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan laju pemulihan mampu menekan kelompok terpapar dan kecanduan secara signifikan. Dengan demikian, pengendalian kecanduan vape perlu menggabungkan pencegahan, pemulihan, dan pencegahan kambuh secara berkelanjutan.

Kata Kunci: kecanduan vape, relaps, model SEIR, kestabilan lokal, simulasi numerik

Abstract. This study develops a mathematical modeling article to describe the dynamics of vape addiction by considering relapse among former users. The model adopts a modified SEIR compartmental approach consisting of susceptible, exposed, addicted, and recovered population groups. The research applies a quantitative mathematical modeling method, including questionnaire-based data collection from 150 respondents aged 15-30 years, determination of initial conditions, formulation of a differential equation system, equilibrium analysis, basic reproduction number calculation, local stability analysis, and numerical simulation. The initial population consists of 100 susceptible individuals, 20 exposed individuals, 20 addicted individuals, and 10 former users. The obtained basic reproduction number is $R_0 = 0.9157$, which is below one. This result indicates that vape addiction tends to be controllable in the modeled population. However, relapse slows the decline of addiction and creates fluctuations in the recovered compartment. Numerical simulations show that increasing the recovery rate significantly reduces both exposed and addicted individuals. Therefore, effective control of vape addiction should combine prevention, recovery support, and continuous relapse prevention.

Keywords: vape addiction, relapse, SEIR model, local stability, numerical simulation

A. Pendahuluan

Penggunaan rokok elektronik atau vape dalam beberapa tahun terakhir menjadi salah satu fenomena kesehatan dan sosial yang menonjol pada kelompok remaja dan dewasa muda (Bigwanto dkk., 2025). Vape bekerja melalui pemanasan cairan yang umumnya mengandung nikotin, pelarut, dan perisa, kemudian menghasilkan aerosol yang dihirup pengguna (Nabila dkk., 2025). Walaupun tidak melibatkan pembakaran seperti rokok konvensional, vape tetap menyimpan risiko kesehatan karena kandungan nikotin dan zat kimia tertentu dapat memengaruhi sistem saraf, saluran pernapasan, serta pola perilaku pengguna (Siregar dkk., 2024). Risiko terhadap gangguan paru juga menjadi perhatian penting dalam penggunaan rokok elektrik (Widyantari dan Lestari, 2023).



Meningkatnya penggunaan vape tidak hanya berkaitan dengan aspek kesehatan, tetapi juga dengan faktor sosial. Pengaruh teman sebaya, komunitas, promosi media sosial, variasi rasa, dan anggapan bahwa vape lebih aman daripada rokok konvensional menjadi faktor yang mendorong individu untuk mencoba (Bigwanto dkk., 2025). Pada kelompok usia muda, rasa ingin tahu dan kebutuhan penerimaan sosial sering mempercepat perubahan dari individu yang belum menggunakan menuju individu yang terpapar atau mulai mencoba (Zahra dan Rahani, 2024). Selain itu, alasan penggunaan vape pada Generasi Z juga berkaitan dengan gaya hidup, rasa ingin tahu, serta persepsi sosial terhadap rokok elektrik (Fadillah dkk., 2025). Pada kelompok usia muda, rasa ingin tahu dan kebutuhan penerimaan sosial sering mempercepat perubahan dari individu yang belum menggunakan menuju individu yang terpapar atau mulai mencoba (Zahra dan Rahani, 2024). Perilaku merokok pada remaja juga dipengaruhi oleh berbagai determinan sosial dan lingkungan, termasuk pergaulan serta kebiasaan dalam kelompok sebaya (Hardiyanti dkk., 2020). Selain itu, alasan penggunaan vape pada Generasi Z juga berkaitan dengan gaya hidup, rasa ingin tahu, serta persepsi sosial terhadap rokok elektrik (Fadillah dkk., 2025).

Kecanduan nikotin pada pengguna vape dapat terjadi ketika tubuh dan psikologis pengguna membentuk ketergantungan. Nikotin merangsang sistem penghargaan di otak sehingga pengguna dapat memperoleh sensasi senang atau nyaman setelah menggunakan vape (Siregar dkk., 2024). Proses ini dapat mendorong penggunaan berulang dan memunculkan gejala ketidaknyamanan ketika penggunaan dihentikan. Dengan demikian, vape tidak dapat dipandang hanya sebagai gaya hidup, tetapi juga sebagai perilaku adiktif yang memerlukan kajian ilmiah (Fadillah dkk., 2025). Dengan demikian, vape tidak dapat dipandang hanya sebagai gaya hidup, tetapi juga sebagai perilaku adiktif yang memerlukan kajian ilmiah (Fadillah dkk., 2025). Pada sebagian pengguna, vape bahkan dapat membentuk makna diri tertentu, terutama ketika penggunaannya dikaitkan dengan identitas, citra diri, dan penerimaan sosial (Faizah dkk., 2024).

Permasalahan yang lebih kompleks muncul ketika pengguna yang sudah berhenti kembali menggunakan vape. Fenomena ini disebut relaps atau kambuh. Relaps menunjukkan bahwa pemulihan dari kecanduan bukan proses satu arah (Pradana dkk., 2023). Mantan pengguna masih berpeluang kembali ke tahap coba-coba atau langsung menjadi pengguna aktif ketika terpapar tekanan lingkungan, stres, atau dorongan internal (Yanuarti dkk., 2025). Oleh karena itu, faktor relaps perlu dipertimbangkan dalam pemodelan dinamika kecanduan vape. Dalam konteks pemulihan perilaku adiktif, kemampuan mengendalikan diri dan mempertahankan abstinensi menjadi faktor penting untuk mencegah kekambuhan (Purnamasari dkk., 2024). Keadaan ini memperlihatkan bahwa intervensi pencegahan harus memperhatikan mekanisme sosial, bukan hanya aspek medis atau larangan administratif. Upaya pencegahan juga perlu memperkuat pengetahuan remaja dan pemuda mengenai bahaya rokok elektrik karena tingkat pengetahuan dapat berkaitan dengan sikap mereka terhadap penggunaan vape (Frederick Uda dkk., 2023).

Dalam perspektif epidemiologi sosial, perilaku adiktif dapat dianalisis sebagai fenomena yang menyebar melalui interaksi antarindividu. Individu rentan dapat terpengaruh oleh pengguna aktif melalui lingkungan pergaulan, media sosial, atau norma kelompok (Bigwanto dkk., 2025). Dengan sudut pandang tersebut, pendekatan model kompartemen yang lazim digunakan dalam epidemiologi dapat diadaptasi untuk mempelajari penyebaran perilaku kecanduan vape. Model ini tidak memaknai kecanduan sebagai penyakit menular biologis secara literal, melainkan sebagai perilaku sosial yang mengalami transmisi melalui kontak sosial (Suryani dkk., 2021).

Model kompartemen SEIR membagi populasi menjadi empat kelas, yaitu Susceptible, Exposed, Infected, dan Recovered. Pada konteks kecanduan vape, kompartemen Susceptible merepresentasikan individu yang belum menggunakan vape tetapi berpotensi terpengaruh;



Exposed merepresentasikan individu yang sudah mencoba atau terpapar tetapi belum kecanduan; Infected merepresentasikan pengguna aktif yang mengalami kecanduan; sedangkan Recovered merepresentasikan mantan pengguna yang telah berhenti. Penggunaan model matematika untuk menggambarkan dinamika kecanduan dan perilaku merokok telah dilakukan dalam kajian sebelumnya (Fadhilah dan Maulana, 2022). Penelitian ini memodifikasi model tersebut dengan menambahkan relaps dari kelompok Recovered menuju Exposed. Penambahan faktor relaps juga relevan karena beberapa model perilaku adiktif memperlihatkan bahwa individu yang telah berhenti masih dapat kembali ke kondisi rentan atau aktif apabila terdapat pengaruh eksternal dan internal (Zakiyyah dan Bahri, 2025).

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana membangun model matematika berbasis kompartemen untuk menggambarkan dinamika kecanduan vape dengan faktor relaps, bagaimana menentukan titik kesetimbangan dan bilangan reproduksi dasar, serta bagaimana menginterpretasikan hasil simulasi numerik terhadap strategi pengendalian. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model matematika dinamika kecanduan vape, menentukan titik kesetimbangan, menganalisis kestabilan lokal, dan menjelaskan pengaruh relaps terhadap keberlanjutan kecanduan. Analisis kestabilan dalam model penyebaran perilaku adiktif penting dilakukan untuk mengetahui apakah suatu kondisi bebas kecanduan dapat dipertahankan atau justru berubah menuju kondisi endemik dalam populasi (Widayati dan Reviladi, 2024).

B. Metodologi Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan pemodelan matematika. Fenomena kecanduan vape direpresentasikan ke dalam sistem persamaan diferensial biasa berbasis kompartemen. Pendekatan kuantitatif digunakan karena setiap kompartemen dan parameter dinyatakan dalam bentuk nilai numerik yang menggambarkan perubahan populasi terhadap waktu.

Subjek penelitian adalah individu berusia 15-30 tahun yang berada pada lingkungan dengan prevalensi penggunaan vape yang relatif tinggi. Rentang usia ini dipilih karena remaja dan dewasa muda memiliki kerentanan yang tinggi terhadap pengaruh teman sebaya, tren gaya hidup, dan paparan media sosial. Objek penelitian adalah dinamika perubahan status penggunaan vape, terutama perpindahan dari rentan menuju terpapar, dari terpapar menuju kecanduan, dari kecanduan menuju pulih, serta kemungkinan relaps pada mantan pengguna.

Data yang diperoleh dari kuesioner digunakan untuk menentukan nilai awal simulasi, sedangkan nilai parameter adalah nilai asumsi. Model kemudian dianalisis melalui penentuan titik kesetimbangan, perhitungan bilangan reproduksi dasar menggunakan pendekatan Next Generation Matrix, analisis kestabilan lokal dengan matriks Jacobian, dan simulasi numerik menggunakan bantuan perangkat lunak komputasi matematika.

Tahapan penelitian diawali dengan studi literatur mengenai kecanduan vape, relaps, model kompartemen SEIR, sistem persamaan diferensial, bilangan reproduksi dasar, serta analisis kestabilan. Tahap kedua adalah pengumpulan data melalui kuesioner untuk memperoleh nilai awal populasi pada masing-masing kompartemen. Tahap ketiga adalah pembentukan model dengan menyusun alur transisi antar kompartemen berdasarkan asumsi perilaku kecanduan vape.

Tahap keempat adalah penentuan titik kesetimbangan dengan menyamakan seluruh turunan terhadap waktu sama dengan nol. Titik kesetimbangan menggambarkan kondisi ketika jumlah individu pada setiap kompartemen tidak lagi berubah. Tahap kelima adalah penentuan bilangan reproduksi dasar R_0 sebagai indikator ambang penyebaran perilaku adiktif. Apabila $R_0 < 1$, kecanduan cenderung menurun; sedangkan apabila $R_0 > 1$, kecanduan berpotensi menetap atau meluas.



Tahap keenam adalah analisis kestabilan lokal melalui matriks Jacobian. Nilai eigen yang bernilai negatif menunjukkan kecenderungan sistem kembali menuju titik kesetimbangan setelah mengalami gangguan kecil. Tahap ketujuh adalah simulasi numerik untuk memvisualisasikan perubahan setiap kompartemen terhadap waktu. Tahap terakhir adalah interpretasi hasil dan penyusunan kesimpulan mengenai peran relaps serta strategi pengendalian yang dapat diterapkan.

Model dibangun dengan asumsi bahwa populasi bersifat homogen, interaksi sosial terjadi secara acak, parameter bersifat konstan selama periode simulasi, dan setiap individu hanya berada pada satu kompartemen pada satu waktu. Relaps dimodelkan sebagai aliran kembali dari kompartemen pulih menuju kompartemen terpapar atau kecanduan. Asumsi ini menyederhanakan fenomena nyata agar dapat dianalisis secara matematis, tetapi tetap memuat karakter penting dari kecanduan vape.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Nilai Awal dan Parameter Model

Nilai awal sistem diperoleh dari klasifikasi 150 responden ke dalam empat kompartemen. Mayoritas responden berada pada kelompok rentan, sedangkan sebagian lainnya sudah berada pada tahap terpapar, kecanduan, dan pulih. Distribusi ini menjadi dasar untuk mensimulasikan perubahan populasi terhadap waktu.

Tabel 1. Nilai awal model kecanduan vape dengan faktor relaps

Variabel	Nilai Awal	Penjelasan
S(0)	100	Individu rentan yang belum menggunakan vape
E(0)	20	Individu tahap coba-coba atau terpapar
I(0)	20	Individu yang mengalami kecanduan vape
R(0)	10	Mantan pengguna yang telah berhenti
N	150	Total populasi amatan

Tabel 1 menunjukkan bahwa terdapat 100 individu rentan, 20 individu terpapar, 20 individu kecanduan, dan 10 mantan pengguna. Kondisi ini menegaskan bahwa peluang pencegahan masih besar karena kelompok rentan merupakan kelompok dominan. Namun, keberadaan kelompok terpapar dan kecanduan menunjukkan bahwa proses transmisi sosial sudah berlangsung.

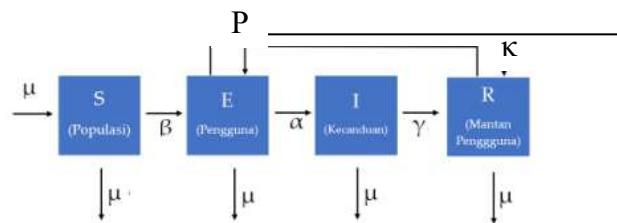
Tabel 2. Nilai parameter simulasi model

Parameter	Simbol	Nilai	Makna
Rekrutmen	P	0,05	Penambahan individu rentan
Transmisi	β	0,30	Paparan sosial dari pengguna aktif
Adiksi	α	0,25	Perubahan terpapar menjadi kecanduan
Kesembuhan	γ	0,20	Perpindahan kecanduan menuju pulih
Relaps	κ	0,08	Mantan pengguna kembali terpapar/kecanduan
Dinamika alami	μ	0,01	Keluar atau masuk alami sistem

Pembentukan Model SEIR dengan Relaps

Model membagi populasi menjadi empat kompartemen, yaitu S(t) untuk individu rentan, E(t) untuk individu yang telah terpapar atau mencoba vape, I(t) untuk individu yang mengalami kecanduan, dan R(t) untuk mantan pengguna. Aliran utama model adalah S menuju E, E menuju I, I menuju R, serta aliran relaps dari R menuju E atau I. Struktur ini menunjukkan bahwa pemulihan tidak selalu bersifat permanen karena mantan pengguna masih dapat kembali terpengaruh.





Gambar 1 Pembentukan model SEIR dengan faktor relaps

Berdasarkan alur pada Gambar 1, sistem persamaan diferensial yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \frac{dS}{dt} &= \mu - \beta SI - \mu S \\
 \frac{dE}{dt} &= \beta SI + \kappa R - (\alpha + \mu)E \\
 \frac{dI}{dt} &= \alpha E + PR - (\gamma + \mu)I \\
 \frac{dR}{dt} &= \gamma I - (\kappa + P + \mu)R
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

Parameter β menggambarkan laju paparan akibat interaksi sosial, α menggambarkan laju perkembangan dari tahap terpapar menjadi kecanduan, γ menggambarkan laju pemulihan, κ menggambarkan relaps ringan dari pulih menuju terpapar, P menggambarkan relaps langsung menuju kecanduan, dan μ menggambarkan dinamika alami populasi. Sistem ini bersifat nonlinier karena laju paparan dipengaruhi oleh interaksi antara individu rentan dan pengguna aktif.

Titik Keseimbangan, Kestabilan Lokal, dan Bilangan Reproduksi Dasar

Titik keseimbangan diperoleh dengan menetapkan seluruh persamaan diferensial sama dengan nol. Kondisi ini menggambarkan keadaan ketika jumlah individu pada setiap kompartemen tidak mengalami perubahan terhadap waktu. Secara umum, sistem memiliki keseimbangan bebas kecanduan dan keseimbangan endemic seperti berikut ini.

$$tp := [s=1, e=0, i=0, r=0],$$

Keseimbangan bebas kecanduan menggambarkan keadaan ideal ketika tidak ada individu yang berada pada kompartemen kecanduan.

Analisis kestabilan dilakukan dengan membentuk matriks Jacobian dari sistem.

$$J = \begin{pmatrix}
 \beta i + \lambda + \mu & 0 & \beta s & 0 \\
 -\beta i & \lambda + \alpha - \mu & -\beta s & -\kappa \\
 0 & -\alpha & \lambda + \gamma + \mu & -P \\
 0 & 0 & -\gamma & \lambda + \kappa + P + \mu
 \end{pmatrix}$$

Matriks Jacobian merepresentasikan pendekatan linear sistem di sekitar titik keseimbangan. Nilai eigen utama yang diperoleh adalah -0,21 dan -0,26, hal ini dikarenakan penelitian berfokus pada dinamika kecanduan dengan factor relaps saja. Nilai tersebut bernilai negatif sehingga menunjukkan kecenderungan sistem bersifat stabil secara lokal. Artinya, gangguan kecil pada sistem tidak menyebabkan penyimpangan yang terus membesar.

Bilangan reproduksi dasar R_0 diperoleh menggunakan pendekatan Next Generation Matrix. Hasil perhitungan menunjukkan nilai $R_0 = 0,9157509157$. Karena nilai tersebut lebih kecil dari satu, maka satu individu kecanduan rata-rata tidak mampu menghasilkan lebih dari satu individu kecanduan baru dalam populasi rentan. Secara teoretis, kondisi ini menunjukkan bahwa penyebaran kecanduan vape cenderung dapat dikendalikan.



$$F = \begin{bmatrix} \beta x i \\ 0 \end{bmatrix}$$

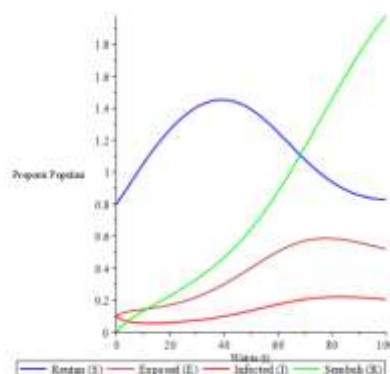
$$V := \begin{bmatrix} \kappa r - (\alpha - \mu) e \\ \alpha e + P r - (\gamma + \mu) i \end{bmatrix}$$

$$K := \begin{bmatrix} -\frac{1}{\alpha - \mu} & 0 \\ -\frac{\alpha}{(\alpha - \mu)(\gamma + \mu)} & -\frac{1}{\gamma + \mu} \end{bmatrix}$$

Meskipun $R_0 < 1$, interpretasi model tidak boleh mengabaikan relaps. Relaps menyebabkan adanya aliran balik dari kompartemen pulih ke kompartemen terpapar atau kecanduan. Akibatnya, penurunan jumlah pengguna aktif dapat berlangsung lambat dan tidak selalu menuju nol secara cepat. Hal ini membedakan model dengan relaps dari model SEIR sederhana yang menganggap individu pulih tidak kembali ke siklus adiksi.

Implikasi matematis dari temuan ini adalah bahwa strategi pengendalian tidak cukup hanya menurunkan laju transmisi β . Upaya juga harus meningkatkan laju pemulihan γ dan menekan laju relaps κ atau P . Jika relaps tidak dikendalikan, sistem dapat tetap memperlihatkan fluktuasi meskipun ambang reproduksi dasar berada di bawah satu.

Simulasi Numerik 1



Gambar 2 Grafik simulasi 1 dinamika kecanduan vape

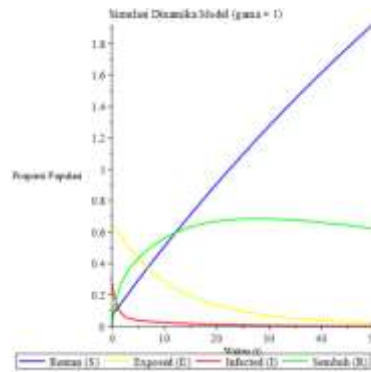
Gambar 2 menunjukkan dinamika perubahan proporsi populasi pada setiap kompartemen terhadap waktu. Pada awal simulasi, populasi didominasi oleh kelompok rentan. Seiring meningkatnya interaksi sosial, sebagian individu rentan berpindah ke kompartemen terpapar dan kemudian menjadi kecanduan. Kurva terpapar dan kecanduan mengalami peningkatan bertahap, yang menunjukkan adanya proses penyebaran perilaku adiktif dalam populasi.

Peningkatan pada kompartemen terpapar dan kecanduan tidak berlangsung tanpa batas. Kurva mulai melandai ketika jumlah individu pulih meningkat. Kurva Recovered memperlihatkan pertumbuhan yang signifikan, menandakan bahwa proses pemulihan berperan penting dalam menahan peningkatan populasi kecanduan. Namun, karena model memuat relaps, penurunan kompartemen terpapar dan kecanduan tidak langsung terjadi secara drastis.

Secara keseluruhan, simulasi pertama memperlihatkan bahwa sistem masih dapat menuju kondisi terkendali. Hal ini konsisten dengan nilai $R_0 < 1$. Akan tetapi, tren pada kurva juga menegaskan bahwa keberadaan mantan pengguna yang dapat kambuh membuat dinamika sistem tidak sepenuhnya sederhana. Dengan demikian, pengendalian perlu diarahkan pada dua sisi, yaitu mencegah individu rentan mencoba vape dan menjaga mantan pengguna agar tidak kembali terpapar.

Simulasi Numerik 2





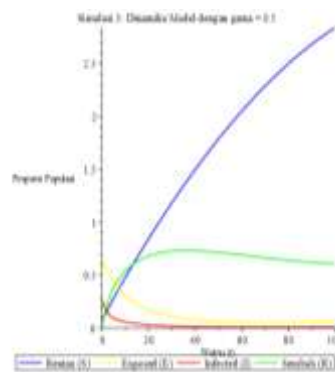
Gambar 3 Grafik simulasi 2 dengan peningkatan laju pemulihan

Gambar 3 memperlihatkan kondisi ketika laju pemulihan meningkat. Kurva Exposed dan Infected turun cepat hingga mendekati nol. Pola ini menunjukkan bahwa peningkatan pemulihan dapat menekan proses penyebaran perilaku adiktif secara signifikan. Individu yang sebelumnya berada pada tahap terpapar atau kecanduan lebih cepat keluar dari siklus adiksi dan berpindah ke status pulih.

Pada sisi lain, kurva Recovered meningkat cepat pada awal waktu dan kemudian bergerak menuju kondisi relatif stabil. Kenaikan ini mencerminkan keberhasilan proses pemulihan dalam mengeluarkan individu dari status kecanduan. Kecenderungan stabil pada kurva pulih menunjukkan bahwa proses pemulihan dapat mempertahankan banyak individu pada kondisi bebas penggunaan, meskipun faktor relaps masih tetap ada.

Kurva Susceptible juga mengalami peningkatan cukup besar. Kondisi ini dapat dimaknai bahwa populasi bergerak kembali pada keadaan tidak menggunakan vape. Secara praktis, simulasi ini menegaskan bahwa intervensi pemulihan, seperti konseling, dukungan sosial, edukasi risiko, dan penguatan kontrol diri, dapat menjadi strategi utama untuk menekan kecanduan. Dengan kata lain, laju pemulihan yang tinggi mampu mengimbangi efek relaps dan mengarahkan sistem menuju kondisi bebas kecanduan secara lebih stabil.

Simulasi Numerik 3



Gambar 4 Grafik simulasi 3 dengan laju pemulihan yang lebih rendah

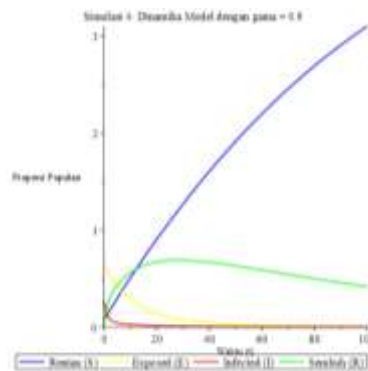
Gambar 4 menunjukkan dinamika ketika laju pemulihan relatif lebih rendah dibanding simulasi sebelumnya. Pada kondisi ini, kompartemen Exposed dan Infected tetap menurun, tetapi penurunannya berlangsung lebih lambat. Hal ini menunjukkan bahwa perilaku kecanduan masih dapat dikendalikan, tetapi membutuhkan waktu yang lebih panjang karena individu tidak segera keluar dari tahap terpapar dan kecanduan.

Kurva Infected menurun secara bertahap menuju nilai kecil. Pola ini menunjukkan bahwa jumlah pengguna aktif berkurang, tetapi tidak secepat pada kondisi pemulihan tinggi. Kurva Exposed juga bergerak turun dan cenderung stabil pada nilai rendah. Dengan demikian, paparan sosial terhadap vape mulai melemah, walaupun masih meninggalkan jejak dinamika akibat relaps.



Kurva Recovered meningkat pada awal waktu, mencapai puncak, kemudian sedikit menurun sebelum stabil. Penurunan setelah puncak mengindikasikan adanya mantan pengguna yang kembali masuk ke kompartemen terpapar atau kecanduan. Simulasi ini memperlihatkan bahwa laju pemulihan yang sedang atau rendah masih dapat menghasilkan perbaikan, tetapi lebih rentan terhadap gangguan relaps. Oleh karena itu, program pemulihan perlu dibarengi dengan pendampingan jangka panjang agar hasilnya tidak mudah hilang.

Simulasi Numerik 4



Gambar 5 Grafik simulasi 4 dengan laju pemulihan tinggi

Gambar 5 menggambarkan dinamika sistem dengan laju pemulihan yang relatif tinggi. Pada kondisi ini, kompartemen Exposed dan Infected mengalami penurunan sangat cepat hingga mendekati nol dalam waktu yang relatif singkat. Kurva Infected turun drastis sejak awal waktu, menandakan bahwa individu kecanduan dapat segera keluar dari kondisi adiksi jika proses pemulihan berlangsung efektif.

Kurva Recovered meningkat cepat pada fase awal, kemudian mencapai titik maksimum dan perlahan menurun menuju keadaan stabil. Pola ini mencerminkan bahwa sebagian individu pulih dapat kembali terpapar atau kecanduan, tetapi jumlahnya relatif kecil. Dengan kata lain, relaps masih hadir dalam sistem, tetapi pengaruhnya tidak cukup besar untuk menghambat penurunan jumlah pengguna aktif.

Kurva Susceptible meningkat tajam seiring waktu. Interpretasinya adalah sebagian besar populasi kembali berada pada kondisi tidak menggunakan vape. Simulasi keempat memperkuat temuan bahwa peningkatan laju pemulihan merupakan salah satu parameter paling menentukan dalam pengendalian kecanduan. Apabila pemulihan tinggi dan relaps rendah, sistem dapat menuju kondisi stabil bebas kecanduan. Oleh karena itu, intervensi berkelanjutan perlu diarahkan untuk memperkuat keberhasilan pemulihan dan memperkecil peluang kambuh.

Pembahasan Umum

Berdasarkan hasil pemodelan matematika dinamika kecanduan vape dengan mempertimbangkan faktor relaps, diperoleh bahwa populasi awal berjumlah 150 individu, dengan mayoritas berada pada kompartemen rentan (Susceptible) sebanyak 100 orang. Sementara itu, masing-masing 20 individu berada pada kompartemen terpapar (Exposed) dan kecanduan (Infected). Kondisi ini menunjukkan bahwa sebagian besar populasi masih berada pada tahap yang memungkinkan untuk dilakukan pencegahan, meskipun proses penyebaran perilaku adiktif telah mulai terjadi.

Nilai parameter model menunjukkan adanya perpindahan antar kompartemen yang dipengaruhi oleh interaksi sosial, proses adiksi, pemulihan, dan relaps. Laju transmisi $\beta = 0,30$ menunjukkan bahwa pengaruh sosial cukup berperan dalam mendorong individu rentan untuk mencoba vape. Laju adiksi $\alpha = 0,25$ mengindikasikan bahwa individu yang telah mencoba



memiliki peluang untuk berkembang menjadi pengguna aktif. Sementara itu, laju kesembuhan $\gamma = 0,20$ menunjukkan adanya peluang individu keluar dari kondisi kecanduan, meskipun proses pemulihan tidak berlangsung secara instan. Adanya parameter relaps $k = 0,08$ menunjukkan bahwa mantan pengguna masih berpeluang kembali ke tahap terpapar atau kecanduan, sehingga dinamika sistem tidak berjalan satu arah menuju pemulihan, tetapi membentuk pola siklik.

Hasil analisis titik kesetimbangan menunjukkan bahwa sistem memiliki kondisi keseimbangan, yaitu ketika jumlah individu pada setiap kompartemen tidak berubah terhadap waktu. Analisis kestabilan lokal menggunakan matriks Jacobian menghasilkan nilai eigen negatif, yaitu $-0,21$ dan $-0,26$. Nilai eigen negatif menunjukkan bahwa sistem stabil secara lokal, sehingga gangguan kecil pada sistem tidak menyebabkan perubahan besar dalam jangka panjang.

Nilai bilangan reproduksi dasar yang diperoleh adalah $R_0 = 0,9157$ atau lebih kecil dari 1. Secara teoritis, kondisi ini menunjukkan bahwa kecanduan vape tidak berkembang menjadi endemik dalam populasi dan cenderung menurun dari waktu ke waktu. Dengan kata lain, satu individu pecandu tidak mampu menghasilkan lebih dari satu individu pecandu baru dalam populasi rentan. Namun, keberadaan faktor relaps tetap memperlambat penurunan jumlah individu kecanduan karena adanya kemungkinan aliran kembali dari kompartemen mantan pengguna menuju kompartemen terpapar atau kecanduan.

Hasil simulasi numerik memperkuat temuan tersebut. Jumlah individu pada kompartemen kecanduan cenderung menurun secara bertahap, tetapi tidak langsung mencapai nol. Sebaliknya, kompartemen mantan pengguna mengalami peningkatan, namun masih menunjukkan fluktuasi akibat adanya relaps. Hal ini memperlihatkan bahwa dinamika kecanduan vape bersifat nonlinier dan dipengaruhi oleh interaksi sosial serta faktor psikososial. Oleh karena itu, pengendalian kecanduan vape perlu dilakukan melalui pencegahan pada kelompok rentan, intervensi terhadap pengguna aktif, serta program pemulihan berkelanjutan untuk menekan kemungkinan relaps.

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, model matematika dinamika kecanduan vape berhasil dikonstruksi menggunakan pendekatan kompartemen SEIR yang dimodifikasi dengan faktor relaps. Populasi dibagi menjadi empat kompartemen, yaitu Susceptible, Exposed, Infected, dan Recovered. Penambahan relaps memungkinkan model menggambarkan perpindahan kembali dari mantan pengguna menuju tahap terpapar atau kecanduan, sehingga dinamika perilaku adiktif dapat direpresentasikan lebih realistis.

Nilai awal populasi menunjukkan 100 individu rentan, 20 individu terpapar, 20 individu kecanduan, dan 10 mantan pengguna dari total 150 responden. Hasil analisis kestabilan lokal memperlihatkan nilai eigen negatif, yaitu $-0,21$ dan $-0,26$, sehingga sistem cenderung stabil secara lokal. Bilangan reproduksi dasar yang diperoleh sebesar $R_0 = 0,9157$, lebih kecil dari satu. Hal ini menunjukkan bahwa penyebaran kecanduan vape cenderung dapat dikendalikan dalam kondisi parameter yang digunakan.

Hasil simulasi numerik memperlihatkan bahwa peningkatan laju pemulihan mampu menekan jumlah individu terpapar dan kecanduan secara signifikan. Sebaliknya, relaps memperlambat proses penurunan kecanduan dan menyebabkan fluktuasi pada kompartemen pulih. Dengan demikian, faktor relaps merupakan unsur penting dalam memahami keberlanjutan perilaku adiktif.

Berdasarkan temuan tersebut, strategi pengendalian kecanduan vape perlu diarahkan pada peningkatan laju pemulihan dan penurunan laju relaps. Upaya yang dapat dilakukan mencakup edukasi bahaya vape, pembatasan paparan lingkungan pengguna, penguatan dukungan sosial, konseling, serta program pendampingan mantan pengguna. Penelitian selanjutnya disarankan



menggunakan data empiris yang lebih luas, estimasi parameter longitudinal, dan pengembangan model stokastik agar hasilnya semakin mendekati kondisi nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- Bigwanto, M., Pénczes, M., Kodriati, N., Rachmawati, E., & Amalia, N. (2025). E-cigarette use and susceptibility among Indonesian youth: The role of social environment, social media, and individual factors. *BMC Public Health*, 1–13. <https://doi.org/10.1186/s12889-025-24013-3>
- Fadhilah, J., & Maulana, D. A. (2022). Model dinamika kecanduan rokok pada pria dan wanita. *Jurnal Ilmiah Matematika*, 10(1), 180–189.
- Fadillah, N. J., Akaputra, R., & Andriyani. (2025). Kajian literatur alasan penggunaan rokok elektrik (vape) serta dampaknya pada Generasi Z. *Jurnal Siti Rufaidah*, 3(2), 1–11. <https://doi.org/10.57214/jasira.v3i2.176>
- Faizah, L. N., Mayasari, & Rifai, M. (2024). Makna diri pengguna rokok elektrik wanita di Bekasi. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 10(24.2), 726–732.
- Frederick Uda, J., Agustian, D. F., & Studi Sarjana Keperawatan STIKes Eka Harap Palangka Raya, P. (2023). Hubungan tingkat pengetahuan dengan sikap tentang bahaya rokok elektrik pada pemuda/remaja Majelis GKE Galilea. *Jurnal Medika Nusantara*, 1(3), 260–267.
- Hardiyanti, V., Efendi, F., & Kusumaningrum, T. (2020). Determinan perilaku merokok pada remaja pria: Literature review. *Jurnal Keperawatan Komunitas*, 5(1), 21–25. <https://doi.org/10.20473/ijchn.v5i1.17755>
- Nabila, A., Yuwono, M., Ma'ruf, M. T., & Zulni, S. S. (2025). Metode analisis dalam mengungkap komposisi perisa buah e-liquid rokok elektrik: Sebuah tinjauan. *Jurnal Ilmiah Medicamento*, 11(1), 14–24. <https://doi.org/10.36733/medicamento.v11i1.11099>
- Pradana, B., Raudhoh, S., & Hafizah, N. (2023). Hubungan self-efficacy dengan kecenderungan relapse klien rawat jalan di Badan Narkotika Nasional Provinsi Jambi. *Jurnal Psikologi Jambi*, 8(2), 32–39.
- Purnamasari, A., Iswari, R. D., Juniarily, A., Alya, S., & Putri, W. A. (2024). Self-determination pecandu narkoba yang sedang menjalani masa rehabilitasi dikaitkan dengan abstinence self-efficacy. *Jurnal Psikologi Integratif*, 12(2), 252–265.
- Siregar, N. R., Rismawany, P., Azzahra, S., Sari, Y., & Medan, U. N. (2024). Kajian bahan kimia berbahaya pada rokok elektrik serta dampaknya pada kesehatan. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin Terpadu*, 8(6), 553–570.
- Suryani, I., Soleh, M., & Kelana, H. (2021). Model penyebaran perilaku merokok berdasarkan faktor biologis dan lingkungan di Provinsi Riau. *Jurnal Sains Matematika dan Statistika*, 7(2), 85–96. <https://doi.org/10.24014/jsms.v7i2.13708>
- Widayati, R., & Reviladi, I. (2024). Analisa kestabilan bebas kecanduan pada penyebaran penggunaan media sosial berdasarkan model SEARQS. *Jurnal Matematika dan Pendidikan Matematika*, 18(1), 1–12.



- Widyantari, D. D., & Lestari, R. (2023). Dampak penggunaan rokok elektrik (vape) terhadap risiko penyakit paru. *Lombok Medical Journal*, 2(2), 34–38. <https://doi.org/10.29303/lmj.v2i1.2477>
- Yanuarti, T., Daud, M. N. B. M., Mohamed, N. H. B., Atil, A. B., & Triaswati, R. (2025). The relationship between self-efficacy, resilience and social support with relapse tendency in substance use disorder in Indonesia. *Jurnal Keperawatan Komprehensif*, 11(2), 234–243.
- Zahra, D. A., & Rahani, R. (2024). Perilaku merokok elektrik pada remaja perokok konvensional di Indonesia. *Media Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 23(1), 93–99.
- Zakiyyah, A., & Bahri, S. (2025). Stability analysis of drug abuse transmission dynamics. *Jurnal Matematika UNAND*, 14(1), 103–116.

