

Penyebaran Kecanduan Rokok Elektrik (Vape) dengan Model SCIR

Nur Rezky Ramadhan¹, Nur Rahmah Yunita Abar², Azwan Anwar³

Program Studi Matematika, Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar¹

Program Studi Sains Aktuaria, Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar²

Program Studi Pendidikan Matematika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Cokroaminoto Pinrang³

nur.rezky.ramadhan@unm.ac.id¹, nurrahmah.yunita@unm.ac.id², azwananwar70@gmail.com³

Corresponding Author: Nur Rezky Ramadhan, E-mail: nur.rezky.ramadhan@unm.ac.id

ABSTRACT

Penggunaan rokok elektrik (vape) berkembang sebagai fenomena sosial dan kesehatan yang dipengaruhi oleh interaksi antarindividu, pengaruh teman sebaya, serta persepsi bahwa vape lebih aman dibandingkan rokok konvensional. Penelitian ini bertujuan membentuk dan menganalisis model matematika tipe SCIR (Susceptible-Carrier-Infected-Recovered) untuk menggambarkan dinamika penyebaran kecanduan vape dalam suatu populasi. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif-analitis melalui formulasi sistem persamaan diferensial nonlinear, penentuan titik ekuilibrium, perhitungan bilangan reproduksi dasar, analisis kestabilan lokal, dan simulasi numerik. Populasi dibagi ke dalam empat kompartemen, yaitu individu rentan, individu coba-coba sebagai pembawa pengaruh sosial, individu kecanduan, dan individu pulih. Hasil analisis menunjukkan bahwa titik ekuilibrium bebas kecanduan adalah $E_0 = (1, 0, 0, 0)$, sedangkan penyebaran dikendalikan oleh bilangan reproduksi dasar $R_0 = \frac{\alpha \omega}{(\beta + \mu + \omega)(\mu + \delta)}$. Jika $R_0 < 1$, kelas carrier dan kecanduan menurun sehingga sistem bergerak menuju kondisi bebas kecanduan. Sebaliknya, jika $R_0 > 1$, proporsi individu kecanduan meningkat dan sistem cenderung menuju kondisi endemik. Simulasi numerik memperlihatkan bahwa peningkatan laju pengaruh sosial dan laju transisi menuju kecanduan mempercepat penyebaran, sedangkan peningkatan laju pemulihan menekan nilai R_0 . Temuan ini menegaskan pentingnya edukasi, pembatasan interaksi berisiko, dan penguatan program pemulihan sebagai strategi pengendalian penyebaran kecanduan vape.

KEYWORDS

Rokok Elektrik, Kecanduan Vape, Model Scir, Bilangan Reproduksi Dasar, Kestabilan Lokal

ARTICLE DOI:

<https://doi.org/10.53696/venn.v5i3.467>

A. Pendahuluan

Merokok merupakan salah satu perilaku yang masih banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Perilaku ini tidak hanya berkaitan dengan kebiasaan individual, tetapi juga dipengaruhi oleh lingkungan sosial, gaya hidup, dan penerimaan kelompok ([Hamzah, 2021](#)). Dalam beberapa tahun terakhir, penggunaan rokok elektrik atau vape berkembang dengan cepat, terutama pada kelompok usia muda dan usia produktif. Produk ini sering dipersepsikan sebagai alternatif yang lebih modern, lebih praktis, dan lebih aman dibandingkan rokok konvensional ([Cleopatra dkk., 2018](#)). Persepsi tersebut menyebabkan penggunaan vape tidak lagi hanya dipandang sebagai kebiasaan merokok, tetapi juga sebagai bagian dari identitas sosial dan tren pergaulan.

Fenomena meningkatnya penggunaan vape perlu memperoleh perhatian serius karena kandungan nikotin dan bahan kimia tertentu pada cairan rokok elektrik tetap berpotensi menimbulkan ketergantungan ([Food and Drug Administration, 2009](#)). Nikotin bekerja pada sistem saraf pusat dan dapat memunculkan rasa nyaman sementara, tetapi penggunaan berulang dapat menyebabkan

ketergantungan fisiologis dan psikologis. Pada tataran sosial, seseorang yang awalnya tidak menggunakan vape dapat tertarik mencoba karena melihat teman sebaya, komunitas, promosi media sosial, atau normalisasi perilaku dalam kelompok ([Cleopatra dkk., 2018](#)). Dengan demikian, penyebaran penggunaan vape memiliki pola yang serupa dengan penyebaran suatu fenomena menular yang bergerak melalui kontak sosial ([Giesecke, 2017](#)).

Dalam konteks Indonesia, penggunaan vape tidak dapat dilepaskan dari tingginya prevalensi perilaku merokok dan kuatnya budaya sosial yang memungkinkan terjadinya pertukaran pengaruh antarindividu ([World Health Organization, 2024](#)). Produk rokok elektrik semakin mudah ditemukan di wilayah perkotaan, baik melalui toko khusus, penjualan daring, maupun komunitas pengguna ([Hamzah, 2021](#)). Kondisi tersebut dapat mempercepat proses peralihan individu dari tidak menggunakan vape menjadi pengguna coba-coba, kemudian menjadi pengguna aktif, bahkan mengalami kecanduan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan analitis yang dapat menjelaskan proses perubahan status tersebut secara sistematis.

Pemodelan matematika merupakan salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk menggambarkan dinamika penyebaran perilaku adiktif ([Widowati & Sutimin, 2017](#)). Melalui pemodelan matematika, fenomena nyata disederhanakan ke dalam bentuk variabel, parameter, dan persamaan sehingga hubungan antarbagian dalam sistem dapat dianalisis secara lebih terukur ([Olsder & van der Woude, 2014](#)). Pendekatan ini banyak digunakan dalam epidemiologi untuk menjelaskan penyebaran penyakit menular, tetapi juga dapat diterapkan pada fenomena sosial yang memiliki pola interaksi, termasuk penyebaran kebiasaan merokok dan kecanduan zat adiktif ([Ardiyana dkk., 2013](#)).

Model kompartemen menjadi salah satu model yang relevan untuk menggambarkan perubahan status individu dalam populasi ([Perasso, 2018](#)). Pada model ini, populasi dibagi ke dalam beberapa kelompok berdasarkan kondisi tertentu. Dalam penelitian ini, digunakan model SCIR yang terdiri atas kelas susceptible, carrier, infected, dan recovered ([Agung dkk., 2025](#)). Kelas carrier menjadi bagian penting karena mewakili individu yang mulai mencoba atau menggunakan vape secara sosial, tetapi belum berada pada tahap kecanduan penuh. Individu pada kelas ini dapat berperan sebagai pembawa pengaruh sosial karena keberadaannya dapat mendorong individu rentan untuk mencoba vape.

Rumusan masalah yang dikaji dalam artikel ini adalah bagaimana membentuk model matematika tipe SCIR untuk menggambarkan dinamika penyebaran kecanduan vape, bagaimana menentukan dan menganalisis kestabilan titik ekuilibrium dari model yang diperoleh, serta parameter apa saja yang memengaruhi laju penyebaran. Berdasarkan rumusan tersebut, tujuan penelitian ini adalah membangun model SCIR, menganalisis bilangan reproduksi dasar dan kestabilan lokal, serta menginterpretasikan hasil simulasi numerik sebagai dasar strategi pengendalian ([Agung dkk., 2025](#)). Analisis bilangan reproduksi dasar penting karena dapat digunakan untuk menentukan ambang batas apakah suatu fenomena akan menyebar atau menurun dalam populasi ([Perasso, 2018](#)).

Artikel ini menawarkan kontribusi berupa adaptasi model epidemiologi SCIR untuk menjelaskan penyebaran kecanduan vape sebagai perilaku adiktif yang dipengaruhi oleh interaksi sosial. Pendekatan ini diharapkan dapat memperkaya kajian pemodelan matematika pada masalah kesehatan masyarakat dan memberikan gambaran kuantitatif mengenai pentingnya pengendalian laju pengaruh sosial, pencegahan transisi menuju kecanduan, serta peningkatan pemulihan individu yang telah mengalami ketergantungan ([Widowati & Sutimin, 2017](#)). Penggunaan simulasi numerik juga penting karena dinamika sistem dapat diamati melalui perubahan variabel dari waktu ke waktu ([Lynch, 2014](#)).

Dari perspektif kesehatan masyarakat, kecanduan vape tidak hanya berdampak pada individu pengguna, tetapi juga pada lingkungan sosial di sekitarnya. Normalisasi penggunaan vape dapat

menciptakan persepsi bahwa perilaku tersebut tidak berisiko ([World Health Organization, 2020](#)). Akibatnya, individu yang sebelumnya tidak memiliki niat menggunakan vape dapat berubah menjadi rentan karena adanya paparan berulang. Keadaan ini memperlihatkan bahwa intervensi pencegahan harus memperhatikan mekanisme sosial, bukan hanya aspek medis atau larangan administratif ([World Health Organization, 2024](#)).

Pendekatan statistik deskriptif saja belum cukup untuk menjelaskan bagaimana proses penyebaran dapat berlangsung dari waktu ke waktu. Statistik dapat menggambarkan kondisi saat ini, tetapi pemodelan matematika mampu memberikan gambaran dinamik mengenai arah perubahan sistem ([Olsder & van der Woude, 2014](#)). Dengan model, peneliti dapat mempelajari skenario hipotetik, menguji pengaruh perubahan parameter, dan mengidentifikasi ambang batas yang menentukan apakah penyebaran akan menurun atau meningkat ([Perasso, 2018](#)).

Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan untuk memahami fase awal penggunaan vape. Banyak kebijakan kesehatan berfokus pada pengguna aktif atau pengguna berat, padahal fase coba-coba merupakan tahap kritis. Jika individu pada fase ini memperoleh edukasi dan dukungan yang tepat, peluang untuk kembali menjadi tidak menggunakan masih cukup besar. Sebaliknya, apabila fase ini diabaikan, proses sosial dapat mendorong peningkatan jumlah pengguna kecanduan secara lebih cepat ([Agung dkk., 2025](#)).

B. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif-analitis yang dipadukan dengan pemodelan matematika. Pendekatan kuantitatif digunakan karena fenomena yang dikaji direpresentasikan melalui variabel, parameter, dan sistem persamaan diferensial. Pendekatan deskriptif digunakan untuk menjelaskan makna setiap kompartemen dan parameter dalam konteks penyebaran penggunaan vape, sedangkan pendekatan analitis digunakan untuk menurunkan bilangan reproduksi dasar, menentukan titik ekuilibrium, dan mengkaji kestabilan sistem.

Objek kajian penelitian adalah dinamika penyebaran kecanduan rokok elektrik pada populasi usia produktif. Laporan asal menetapkan Kota Makassar dan kelompok usia 18-30 tahun sebagai konteks penelitian. Kelompok ini dipandang relevan karena memiliki tingkat interaksi sosial yang tinggi, mudah terpapar tren gaya hidup, serta memiliki peluang besar terpengaruh oleh teman sebaya dan media sosial. Dalam artikel ini, konteks tersebut digunakan sebagai dasar interpretasi model dan simulasi.

Data yang digunakan terdiri atas data teoretis, data parameter, dan data pendukung. Data teoretis berasal dari konsep epidemiologi matematika, model kompartemen, dan sistem persamaan diferensial. Data parameter diperoleh dari penyesuaian model dan literatur yang digunakan dalam laporan, sedangkan data pendukung berupa informasi tentang penggunaan vape, faktor sosial, dan dampak kesehatan. Nilai parameter pada simulasi diperlakukan sebagai skenario numerik untuk melihat karakteristik sistem pada kondisi $R_0 < 1$ dan $R_0 > 1$.

Tahapan penelitian meliputi studi literatur, penyusunan asumsi model, formulasi model matematika, penskalaan variabel, penentuan titik ekuilibrium, perhitungan bilangan reproduksi dasar, analisis kestabilan lokal, simulasi numerik, dan interpretasi hasil. Setiap tahap disusun secara berurutan agar hubungan antara fenomena nyata dan formulasi matematis dapat dijelaskan secara logis.

Asumsi dasar model meliputi: populasi dibagi menjadi empat kompartemen, yaitu S, C, I, dan R; setiap kelahiran masuk ke kelas rentan; kematian alami terjadi pada setiap kelas dengan laju μ ; individu rentan dapat berpindah ke kelas carrier akibat interaksi dengan individu kecanduan; individu carrier dapat berkembang menjadi kecanduan dengan laju ω atau kembali menjadi rentan dengan

laju beta; individu kecanduan dapat pulih dengan laju delta; individu pulih dapat kembali rentan dengan laju gamma atau kambuh dengan laju theta.

Variabel model dinyatakan dalam dua bentuk, yaitu jumlah individu dan proporsi individu. Bentuk jumlah individu digunakan untuk menunjukkan hubungan langsung dengan populasi total, sedangkan bentuk proporsi digunakan pada tahap simulasi agar hasil dapat dibaca sebagai bagian dari populasi. Penskalaan ini juga memudahkan perbandingan antar skenario karena hasil tidak bergantung pada ukuran populasi absolut.

Parameter model tidak diperlakukan sebagai konstanta biologis, melainkan sebagai representasi kuantitatif dari proses sosial dan perilaku. Misalnya, alpha menggambarkan intensitas pengaruh sosial yang menyebabkan individu rentan tertarik mencoba vape. Parameter omega menggambarkan peluang pengguna coba-coba berkembang menjadi kecanduan. Parameter delta menggambarkan keberhasilan pemulihan, sedangkan theta menggambarkan kemungkinan kambuh setelah berhenti.

Simulasi numerik dilakukan dengan menyelesaikan sistem persamaan diferensial pada dua skenario parameter. Skenario pertama dipilih untuk menghasilkan $R_0 < 1$ sehingga sistem diharapkan menuju kondisi bebas kecanduan. Skenario kedua dipilih untuk menghasilkan $R_0 > 1$ sehingga sistem diharapkan memperlihatkan keberlanjutan penyebaran. Perbandingan kedua skenario tersebut digunakan untuk menjelaskan peran ambang R_0 dalam menentukan arah dinamika sistem.

Interpretasi hasil dilakukan dengan menghubungkan perubahan kurva $s(t)$, $c(t)$, $i(t)$, dan $r(t)$ terhadap makna sosial tiap kompartemen. Kenaikan $s(t)$ diinterpretasikan sebagai membesarnya proporsi individu yang tidak menggunakan vape, penurunan $c(t)$ sebagai melemahnya fase coba-coba, kenaikan $i(t)$ sebagai peningkatan kecanduan, dan perubahan $r(t)$ sebagai dinamika pemulihan. Dengan cara ini, hasil matematis dapat diterjemahkan ke dalam bahasa kebijakan dan edukasi kesehatan.

TABEL 1. Deskripsi kompartemen model SCIR

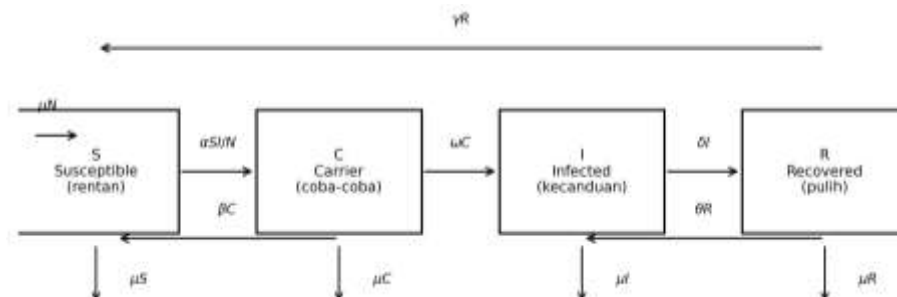
Kompartemen	Makna dalam model
S (Susceptible)	Individu rentan yang belum menggunakan vape tetapi berpotensi terpengaruh.
C (Carrier)	Individu yang mulai mencoba vape dan dapat memengaruhi individu lain.
I (Infected)	Individu yang mengalami kecanduan vape dan memiliki intensitas penggunaan tinggi.
R (Recovered)	Individu yang berhenti atau pulih dari kecanduan vape.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Berdasarkan asumsi yang telah ditetapkan, model SCIR menyatakan populasi total sebagai $N=S+C+I+R$. Kompartemen S merepresentasikan individu yang belum menggunakan vape namun memiliki potensi terpengaruh. Kompartemen C merepresentasikan individu coba-coba yang mulai menggunakan vape secara sosial dan dapat memengaruhi individu lain. Kompartemen I merepresentasikan individu yang telah mengalami kecanduan, sedangkan kompartemen R merepresentasikan individu yang telah pulih atau berhenti menggunakan vape.

Alur perpindahan antar kompartemen ditunjukkan pada Gambar 1. Individu rentan berpindah ke kelas carrier melalui kontak efektif dengan individu kecanduan. Individu carrier dapat kembali menjadi rentan melalui proses berhenti pada tahap coba-coba, atau berkembang menjadi kecanduan.

Individu kecanduan dapat pulih, sedangkan individu pulih dapat kehilangan status pemulihan atau kambuh. Struktur ini menunjukkan bahwa pengendalian tidak cukup hanya diarahkan pada pengguna kecanduan, tetapi juga harus menyasar pengguna coba-coba yang menjadi penghubung penting dalam proses penyebaran.



Gambar 1. Alur kompartemen model SCIR pada penyebaran kecanduan vape

Sistem persamaan diferensial yang digunakan dalam model disajikan pada Persamaan (1). Bentuk ini menggunakan asumsi bahwa perpindahan dari kelas S ke C dipengaruhi oleh interaksi antara individu rentan dan individu kecanduan. Selain itu, perpindahan dari kelas C ke S dinyatakan oleh beta C agar konsisten dengan makna beta sebagai laju kembali atau pemulihan dari tahap coba-coba. Dengan formulasi ini, model dapat mempertahankan interpretasi kompartemen secara lebih tepat.

Untuk memudahkan analisis, model dapat dinormalisasi dengan mendefinisikan $s=S/N$, $c=C/N$, $i=I/N$, dan $r=R/N$. Jika $s+c+i+r=1$, maka sistem tereduksi tetap menggambarkan proporsi masing-masing kompartemen dalam populasi. Penskalaan ini penting karena simulasi numerik tidak lagi bergantung pada ukuran populasi absolut, melainkan pada proporsi individu pada tiap kelas.

$$\begin{aligned}
 \frac{dS}{dt} &= \mu N + \beta C + \gamma R - \alpha \frac{SI}{N} - \mu S, \\
 \frac{dC}{dt} &= \alpha \frac{SI}{N} - (\beta + \mu + \omega) C, \\
 \frac{dI}{dt} &= \omega C + \theta R - (\mu + \delta) I, \\
 \frac{dR}{dt} &= \delta I - (\gamma + \theta + \mu) R.
 \end{aligned}$$

Persamaan (1). Sistem persamaan diferensial model SCIR

TABEL 2. Deskripsi parameter model

Parameter	Deskripsi
μ	Laju kelahiran dan kematian alami
α	Laju pengaruh sosial dari individu kecanduan terhadap individu rentan
β	Laju kembali dari kelas carrier ke kelas rentan
ω	Laju perkembangan dari carrier menuju kecanduan
δ	Laju pemulihan dari kecanduan
γ	Laju kehilangan status pulih dan kembali rentan
θ	Laju kambuh dari kelas pulih menuju kecanduan

Titik ekuilibrium bebas kecanduan diperoleh ketika tidak terdapat individu pada kelas carrier, infected, dan recovered yang berkontribusi terhadap penyebaran aktif. Dengan mengambil $c=0$, $i=0$, dan $r=0$, diperoleh $s=1$ sehingga titik ekuilibrium bebas kecanduan adalah $E_0=(1,0,0,0)$. Titik ini merepresentasikan keadaan ideal ketika seluruh populasi berada pada kelas rentan namun tidak terdapat sumber pengaruh kecanduan yang aktif.

Bilangan reproduksi dasar diperoleh dengan mempertimbangkan proses perpindahan individu rentan menuju carrier dan selanjutnya menuju kecanduan. Dalam model ini, R_0 bergantung pada laju pengaruh sosial α , laju perkembangan menjadi kecanduan ω , laju kembali dari carrier ke rentan β , laju kematian alami μ , dan laju pemulihan δ . Secara matematis, R_0 meningkat apabila α atau ω meningkat, dan menurun apabila β , μ , atau δ meningkat.

$$R_0 = \frac{\alpha\omega}{(\beta + \mu + \omega)(\mu + \delta)}$$

Persamaan (2). Bilangan reproduksi dasar

Interpretasi R_0 dalam artikel ini tidak dimaknai sebagai penularan biologis, melainkan sebagai ukuran ambang penyebaran perilaku adiktif. Jika $R_0 < 1$, satu individu yang berada dalam jalur penyebaran tidak cukup untuk mempertahankan peningkatan pengguna vape dalam populasi. Jika $R_0 > 1$, pengaruh sosial dan transisi menuju kecanduan cukup kuat sehingga penggunaan vape dapat bertahan dan meningkat. Oleh karena itu, R_0 menjadi ukuran strategis untuk menentukan prioritas intervensi.

Analisis kestabilan lokal dilakukan melalui linearisasi sistem di sekitar titik ekuilibrium bebas kecanduan. Matriks Jacobian pada titik E_0 menghasilkan nilai eigen yang mengandung syarat $\alpha\omega < (\beta + \mu + \omega)(\mu + \delta)$. Syarat ini ekuivalen dengan $R_0 < 1$. Dengan demikian, apabila $R_0 < 1$, titik ekuilibrium bebas kecanduan bersifat stabil asimtotik lokal. Artinya, gangguan kecil berupa sejumlah kecil pengguna vape akan mereda seiring waktu jika faktor pemulihan dan pengendalian lebih dominan daripada faktor penyebaran.

Sebaliknya, ketika $R_0 > 1$, sistem tidak lagi bergerak menuju kondisi bebas kecanduan. Dalam situasi ini, kelas kecanduan dapat bertahan pada tingkat tertentu sehingga muncul kondisi endemik perilaku. Kondisi endemik ini menggambarkan bahwa penggunaan vape menjadi kebiasaan yang terus ada dalam populasi karena mekanisme pengaruh sosial dan transisi menuju kecanduan lebih kuat daripada mekanisme pemulihan.

Selain titik bebas kecanduan, model juga memungkinkan adanya titik ekuilibrium endemik $E^* = (s^*, c^*, i^*, r^*)$ ketika kelas carrier dan infected tidak sama dengan nol. Secara konseptual, titik ini menggambarkan keadaan jangka panjang ketika penggunaan vape tidak hilang dari populasi, tetapi menetap pada proporsi tertentu. Keadaan ini penting untuk diperhatikan karena banyak perilaku adiktif tidak selalu dapat dihapus secara langsung, tetapi dapat dikendalikan agar berada pada tingkat yang lebih rendah.

Pada titik endemik, nilai s^* menunjukkan proporsi individu yang tetap rentan terhadap pengaruh vape, sedangkan c^* dan i^* menunjukkan besarnya kelompok yang masih berada dalam rantai penyebaran. Jika c^* relatif tinggi, maka fase coba-coba menjadi sumber utama penyebaran. Jika i^* relatif tinggi, maka sistem menunjukkan masalah kecanduan yang lebih serius. Oleh karena itu, pembacaan titik endemik dapat membantu menentukan apakah strategi pengendalian perlu lebih menekankan pencegahan awal atau pemulihan kecanduan.

Dari sisi matematis, solusi model harus berada pada wilayah yang bermakna secara biologis dan sosial, yaitu $s(t)$, $c(t)$, $i(t)$, $r(t)$ tidak negatif serta jumlah proporsi mendekati satu. Wilayah ini disebut wilayah layak. Jika nilai awal berada pada wilayah layak, maka interpretasi model tetap konsisten karena setiap variabel menyatakan proporsi populasi. Hal ini penting agar hasil simulasi tidak menghasilkan nilai negatif yang tidak dapat dimaknai dalam konteks populasi nyata.

Hubungan antarparameter juga dapat dibaca melalui bentuk R_0 . Parameter α dan ω berada pada pembilang sehingga keduanya memperbesar kemampuan penyebaran. Parameter β , μ , dan δ berada pada penyebut sehingga peningkatannya menurunkan kemampuan penyebaran.

Walaupun mu muncul dalam model, intervensi sosial yang realistis tentu lebih diarahkan pada alpha, omega, beta, dan delta karena parameter-parameter tersebut dapat dipengaruhi oleh edukasi, dukungan sosial, dan kebijakan.

Dengan demikian, model memberikan kerangka evaluasi kebijakan berbasis ambang. Suatu program pengendalian dapat dikatakan efektif apabila mampu mendorong sistem dari kondisi $R_0 > 1$ menuju $R_0 < 1$. Dalam praktiknya, hal tersebut tidak harus dilakukan melalui satu intervensi tunggal. Penurunan R_0 dapat dicapai melalui kombinasi penurunan paparan sosial, pencegahan transisi menuju kecanduan, dan peningkatan pemulihan. Kombinasi ini lebih realistis karena penyebaran vape dipengaruhi oleh banyak faktor sekaligus.

Analisis model juga memperlihatkan bahwa pemulihan individu kecanduan memiliki dua manfaat. Pertama, pemulihan menurunkan jumlah individu pada kelas infected. Kedua, pemulihan dapat mengurangi sumber pengaruh sosial yang menyebabkan individu rentan berpindah ke kelas carrier. Dengan demikian, program pemulihan tidak hanya bermanfaat bagi individu pengguna, tetapi juga memiliki dampak tidak langsung terhadap populasi melalui penurunan tekanan penyebaran.

TABEL 3. Arah pengaruh parameter terhadap bilangan reproduksi dasar

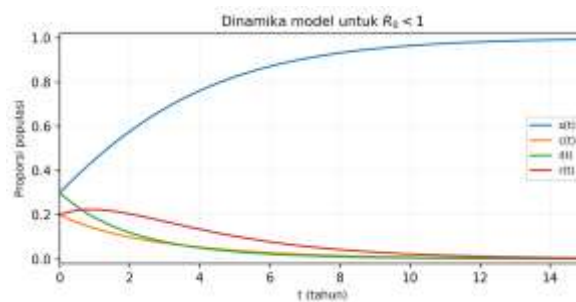
Parameter	Arah pengaruh terhadap R_0	Makna pengendalian
α	Meningkatkan R_0	Perlu ditekan melalui edukasi dan pembatasan paparan sosial
ω	Meningkatkan R_0	Perlu ditekan melalui intervensi pada fase coba-coba
β	Menurunkan R_0	Perlu ditingkatkan agar pengguna coba-coba kembali tidak menggunakan
δ	Menurunkan R_0	Perlu ditingkatkan melalui program pemulihan dan konseling
θ	Tidak muncul langsung pada R_0 , tetapi memengaruhi dinamika jangka panjang	Perlu ditekan melalui pencegahan kambuh
γ	Tidak muncul langsung pada R_0 , tetapi memengaruhi kelas rentan	Perlu dibaca bersama strategi edukasi berkelanjutan

Tabel 3 memperjelas bahwa tidak semua parameter memiliki peran yang sama dalam menentukan ambang penyebaran. Parameter yang langsung muncul pada R_0 menjadi prioritas utama dalam upaya menurunkan penyebaran. Namun, parameter yang tidak muncul langsung tetap penting karena memengaruhi distribusi populasi pada jangka panjang, terutama pada kelas pulih dan rentan.

TABEL 4. Nilai parameter simulasi untuk $R_0 < 1$

Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
μ	0,01	δ	0,5
α	0,3	θ	0,03
β	0,5	γ	0,4
ω	0,018	R_0	0,0200535

Simulasi numerik dilakukan untuk memvalidasi interpretasi analitik model. Skenario pertama menggunakan parameter yang menghasilkan $R_0 = 0,0200535$. Nilai ini jauh di bawah satu, sehingga secara teoritis sistem diprediksi menuju ekuilibrium bebas kecanduan. Nilai awal yang digunakan adalah $s(0) = 0,3$, $c(0) = 0,2$, $i(0) = 0,3$, dan $r(0) = 0,2$. Simulasi dilakukan selama 15 tahun untuk melihat kecenderungan jangka panjang.



Gambar 2. Dinamika model SCIR untuk $R_0 < 1$

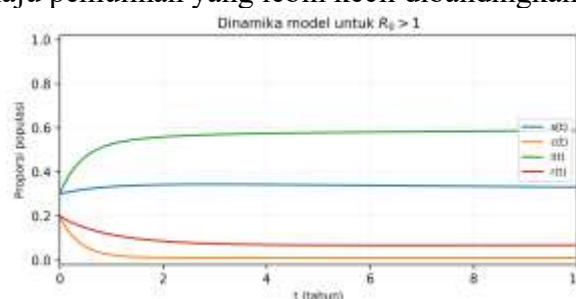
Gambar 2 menunjukkan bahwa proporsi individu rentan meningkat secara bertahap menuju nilai mendekati satu, sedangkan proporsi carrier, infected, dan recovered menurun mendekati nol. Penurunan kelas carrier menunjukkan bahwa individu coba-coba tidak mampu mempertahankan rantai pengaruh sosial. Penurunan kelas infected menunjukkan bahwa proses kecanduan tidak berkembang karena laju pemulihan dan laju kembali dari carrier ke rentan lebih dominan. Hasil ini sejalan dengan analisis kestabilan yang menyatakan bahwa E_0 stabil asimtotik lokal ketika $R_0 < 1$.

Secara substantif, skenario $R_0 < 1$ dapat diartikan sebagai kondisi ketika intervensi sosial dan pemulihan berjalan efektif. Edukasi risiko vape dapat menurunkan ketertarikan individu rentan untuk mencoba, pembatasan promosi dapat mengurangi laju kontak efektif, dan dukungan berhenti menggunakan vape dapat meningkatkan pemulihan. Kombinasi strategi tersebut membuat penggunaan vape tidak mampu berkembang menjadi pola kecanduan yang menetap.

TABEL 5. Nilai parameter simulasi untuk $R_0 > 1$

Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
μ	0,01	δ	0,1
α	0,15	θ	0,55
β	0,045	γ	0,3
ω	2,5	R_0	1,33428

Skenario kedua menggunakan parameter yang menghasilkan $R_0 = 1,33428$. Nilai ini lebih besar dari satu, sehingga secara teoritis sistem diprediksi tidak kembali ke kondisi bebas kecanduan. Nilai awal dibuat sama dengan skenario pertama agar perbedaan dinamika dapat dibandingkan berdasarkan perubahan parameter. Parameter pada skenario ini memperlihatkan laju transisi menuju kecanduan yang jauh lebih besar dan laju pemulihan yang lebih kecil dibandingkan skenario pertama.



Gambar 3. Dinamika model SCIR untuk $R_0 > 1$

Gambar 3 memperlihatkan bahwa kelas infected meningkat cepat pada periode awal, kemudian mendekati nilai tetap setelah beberapa waktu. Kelas carrier menurun karena individu pada kelas ini cepat berpindah menuju kelas kecanduan. Kelas susceptible tidak meningkat menuju satu, tetapi menetap pada nilai yang lebih rendah karena sebagian populasi tertahan dalam kelas kecanduan.

Kelas recovered relatif rendah karena pemulihan tidak cukup kuat untuk menekan peningkatan kelas infected. Pola ini menggambarkan kondisi endemik perilaku ketika penggunaan vape tetap bertahan dalam populasi.

Perbandingan kedua simulasi menunjukkan bahwa perubahan parameter dapat menghasilkan dinamika yang sangat berbeda. Pada $R_0 < 1$, sistem bergerak menuju kondisi bebas kecanduan; pada $R_0 > 1$, sistem bergerak menuju kondisi dengan proporsi kecanduan yang bertahan. Dengan demikian, parameter alpha, omega, beta, dan delta menjadi titik kendali utama. Kebijakan yang menurunkan alpha dan omega atau meningkatkan beta dan delta akan menurunkan R_0 dan membantu menggeser sistem menuju kondisi yang lebih terkendali.

Temuan ini juga menunjukkan pentingnya intervensi pada fase carrier. Individu yang baru mencoba vape sering kali belum menyadari risiko ketergantungan sehingga masih memiliki peluang besar untuk kembali ke kondisi tidak menggunakan. Jika intervensi diberikan pada fase ini, transisi menuju kecanduan dapat dicegah. Sebaliknya, apabila fase carrier dibiarkan berkembang tanpa edukasi dan pengawasan, laju omega dapat meningkat dan mendorong sistem masuk ke kondisi $R_0 > 1$.

Dari sisi pemodelan, penggunaan model SCIR memberikan keunggulan karena mampu membedakan individu coba-coba dan individu kecanduan. Perbedaan ini membuat interpretasi kebijakan menjadi lebih spesifik. Namun, model ini juga memiliki keterbatasan. Nilai parameter pada simulasi masih bersifat skenario dan belum sepenuhnya diestimasi dari data lapangan yang besar. Selain itu, model belum memasukkan heterogenitas usia, jenis kelamin, intensitas paparan media sosial, akses ekonomi, dan kebijakan harga. Penelitian lanjutan dapat mengembangkan model dengan parameter berbasis survei serta melakukan estimasi menggunakan data empiris.

Implikasi pertama dari hasil model adalah pentingnya menurunkan parameter alpha. Parameter ini dapat ditekan melalui edukasi risiko vape, pembatasan promosi, dan kampanye kesehatan yang menargetkan lingkungan pergaulan. Jika paparan sosial berkurang, individu rentan tidak mudah berpindah ke kelas carrier. Dalam bahasa kebijakan, penurunan alpha berarti menurunkan daya tarik sosial penggunaan vape.

Implikasi kedua adalah perlunya menurunkan parameter omega. Parameter ini berkaitan dengan kecepatan perubahan dari pengguna coba-coba menjadi pengguna kecanduan. Upaya yang dapat dilakukan meliputi pendampingan pada pengguna awal, konseling singkat, edukasi tentang nikotin, serta keterlibatan keluarga dan lingkungan pendidikan. Semakin rendah omega, semakin kecil peluang fase coba-coba berkembang menjadi kecanduan.

Implikasi ketiga adalah peningkatan parameter beta dan delta. Parameter beta menunjukkan keberhasilan individu carrier kembali menjadi tidak menggunakan sebelum masuk ke tahap kecanduan, sedangkan delta menunjukkan keberhasilan individu kecanduan untuk pulih. Kedua parameter ini dapat diperkuat melalui layanan konseling, akses informasi berhenti nikotin, dan dukungan sosial. Secara matematis, peningkatan beta dan delta akan menurunkan R_0 .

Jika hasil model dibaca sebagai kerangka pengambilan keputusan, maka strategi pengendalian perlu dilakukan secara berlapis. Pencegahan primer diarahkan pada kelas susceptible melalui literasi risiko. Pencegahan sekunder diarahkan pada kelas carrier agar tidak berkembang menjadi kecanduan. Intervensi tersier diarahkan pada kelas infected melalui pemulihan dan pencegahan kambuh. Keterpaduan ketiga strategi ini lebih efektif dibandingkan intervensi yang hanya menasar satu kelompok.

Model juga memberikan pesan bahwa keterlambatan intervensi dapat mengubah dinamika sistem. Pada $R_0 > 1$, peningkatan kelas infected terjadi dengan cepat pada awal waktu. Hal ini menunjukkan bahwa ketika pengaruh sosial dan transisi menuju kecanduan sudah kuat, tindakan

pengendalian perlu segera dilakukan. Penundaan intervensi dapat membuat proporsi kecanduan mencapai keadaan menetap yang lebih sulit diturunkan.

Secara akademik, artikel ini menunjukkan bahwa model epidemiologi dapat diperluas untuk membaca fenomena sosial kesehatan. Penggunaan istilah kompartemen memungkinkan peneliti memetakan tahapan perilaku secara lebih terstruktur. Walaupun model tidak menggantikan penelitian lapangan, model dapat membantu menyusun hipotesis, memperjelas hubungan antar faktor, dan memberikan landasan kuantitatif bagi penelitian empiris lanjutan.

D. Kesimpulan

Penelitian ini menghasilkan model matematika tipe SCIR untuk menggambarkan dinamika penyebaran kecanduan rokok elektrik atau vape. Model membagi populasi menjadi empat kompartemen, yaitu susceptible, carrier, infected, dan recovered. Kelas carrier menjadi komponen penting karena merepresentasikan individu coba-coba yang berpotensi menjadi penghubung pengaruh sosial sebelum berkembang menjadi kecanduan penuh.

Hasil analisis menunjukkan bahwa titik ekuilibrium bebas kecanduan adalah $E_0 = (1, 0, 0, 0)$. Bilangan reproduksi dasar yang diperoleh adalah $R_0 = \alpha \omega / ((\beta + \mu + \omega)(\mu + \delta))$. Jika $R_0 < 1$, titik ekuilibrium bebas kecanduan stabil asimtotik lokal sehingga penyebaran kecanduan vape akan menurun. Jika $R_0 > 1$, penyebaran cenderung meningkat dan sistem bergerak menuju kondisi endemik perilaku. Simulasi numerik mendukung hasil analitik tersebut, yaitu kelas carrier dan infected menurun pada $R_0 < 1$, sedangkan kelas infected meningkat dan menetap pada $R_0 > 1$.

Parameter yang paling berpengaruh terhadap penyebaran adalah laju pengaruh sosial, laju transisi menuju kecanduan, laju kembali dari tahap coba-coba, dan laju pemulihan. Oleh karena itu, strategi pengendalian perlu diarahkan pada penurunan paparan sosial yang mendorong penggunaan vape, penguatan edukasi pada individu rentan dan coba-coba, serta peningkatan dukungan pemulihan bagi pengguna yang telah kecanduan. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan data empiris yang lebih luas untuk mengestimasi parameter model dan menguji ketepatan prediksi pada populasi nyata.

Daftar Pustaka

- Agung, S. R., Ristiawan, R., & Mahyudi, M. (2025). Pemodelan matematika dan simulasi penyebaran kecanduan rokok elektrik (vape). *Sainsmath: Jurnal MIPA Sains Terapan*, 2(1). <https://doi.org/10.30998/v2i1.2079>
- Ardiyani Sabir, M., Asikin, M., & Willem, I. (2019). Pengaruh uap rokok elektrik terhadap kualitas udara ambien pada lingkungan pengguna rokok elektrik di Kota Parepare. *Jurnal Ilmiah Manusia dan Kesehatan*, 2(3), 447-458. <https://doi.org/10.31850/makes.v2i3.190>
- Cleopatra, A. B., Fitriangga, A., & Fahdi, F. K. (2018). Factors related to the use of e-cigarettes in the West Pontianak region. *Repositori Institusi Poltekkes Kemenkes Bandung*, 013, 1-10.
- Food and Drug Administration. (2009). Toxic constituents in tobacco products and smoke. FDA.
- Giesecke, J. (2017). *Modern infectious disease epidemiology* (3rd ed.). Taylor & Francis.
- Hamzah, B. (2021). Determinan penggunaan rokok elektrik pada remaja di Kelurahan Mogolaing Kotamobagu. *Jurnal Kesmas (Kesehatan Masyarakat) Khatulistiwa*, 8(1), 1-10.

<https://doi.org/10.29406/jkmk.v8i1.2466>

- Lynch, S. (2014). *Dynamical systems with applications using MATLAB* (2nd ed.). Springer.
- Olsder, G. J., & van der Woude, J. W. (2014). *Mathematical systems theory*. Delft University Press.
- Perasso, A. (2018). An introduction to the basic reproduction number in mathematical epidemiology. *ESAIM: Proceedings and Surveys*, 62, 123-138. <https://doi.org/10.1051/proc/201862123>
- Putra, A. I., Hanriko, R., & Kurniawaty, E. (2019). Pengaruh efek paparan asap rokok elektrik dibandingkan paparan asap rokok konvensional terhadap gambaran histopatologi paru mencit jantan (*Mus musculus*). *Jurnal Majority*, 8(1), 90-94.
- Widowati, & Sutimin. (2017). *Buku ajar pemodelan matematika*. FMIPA Universitas Diponegoro.
- World Health Organization. (2020). *Southeast Asia Tobacco Control Alliance (meeting report)*. WHO Framework Convention on Tobacco Control.
- World Health Organization. (2024). *Two decades of WHO FCTC implementation in the South-East Asia Region*. World Health Organization.