Proximal: Jurnal Penelitian Matematika dan Pendidikan Matematika
ISSN 26158132 (cetak)
ISSN 26157667 (online)

ANALISIS MODEL MATEMATIKA *SUSCEPTIBLE–EXPOSED–ALCOHOLIC–RECOVERED–SUSCEPTIBLE* PENYEBARAN KECANDUAN ALKOHOL PADA KALANGAN REMAJA DI KOTA MAKASSAR

Zahrah Nuriramadhana Arief[1], Wahida Sanusi[2], Alimuddin[3], Nur Insani Maiwa[4]
Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar [1,2,3,4]
Email: 250027301013@student.unm.ac.id[1], wahidah.sanusi@unm.ac.id[2], alimuddin@unm.ac.id[3], 250027301006@student.unm.ac.id[4]

Corresponding Author: Wahida Sanusi, **Email:** wahidah.sanusi@unm.ac.id

Abstrak Kecanduan alkohol pada remaja merupakan permasalahan sosial dan kesehatan masyarakat yang memerlukan pendekatan sistematis untuk mendukung upaya pencegahan dan penanganan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan dan menganalisis model matematika SEARS (*Susceptible–Exposed–Alcoholic–Recovered–Susceptible*) untuk menggambarkan dinamika kecanduan alkohol pada remaja di Kota Makassar. Model dirumuskan dalam sistem persamaan diferensial dengan mempertimbangkan kemungkinan individu yang telah pulih kembali ke kelompok rentan. Analisis dilakukan melalui penentuan titik kesetimbangan, matriks Jacobian, kestabilan lokal berdasarkan nilai eigen, bilangan reproduksi dasar, dan simulasi numerik. Hasil menunjukkan bahwa titik kesetimbangan bebas kecanduan alkohol tidak stabil, sedangkan titik kesetimbangan endemik stabil asimtotik lokal. Simulasi memperlihatkan bahwa proporsi *Susceptible* meningkat dari 0,87 menjadi 0,95, *Exposed* menurun dari 0,05 menjadi 0,04, sedangkan *Alcoholic* dan *Recovered* menurun hingga mendekati nol berdasarkan parameter dan kondisi awal yang digunakan. Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan model SEARS yang mempertimbangkan kemungkinan kekambuhan atau kembalinya individu yang pulih ke kelompok rentan. Model ini diharapkan menjadi kerangka analitis awal bagi Pemerintah Kota Makassar dalam merumuskan kebijakan pencegahan melalui edukasi, penguatan lingkungan sosial yang mendukung perilaku sehat, serta peningkatan akses konseling dan rehabilitasi. Validasi menggunakan data empiris lokal dan analisis sensitivitas parameter diperlukan untuk meningkatkan keandalan model serta mengevaluasi efektivitas strategi intervensi.

Kata Kunci: **Model matematika, *SEARS*, Kecanduan alkohol, Kestabilan titik kesetimbangan.**

Abstract. *Alcohol addiction among adolescents is a social and public health issue that requires a systematic approach to support prevention and treatment efforts. This study aims to develop and analyze the SEARS (Susceptible–Exposed–Alcoholic–Recovered–Susceptible) mathematical model to describe the dynamics of alcohol addiction among adolescents in Makassar City. The model is formulated as a system of differential equations, taking into account the possibility of individuals who have recovered returning to the susceptible group. The analysis was conducted by determining the equilibrium points, the Jacobian matrix, local stability based on eigenvalues, the basic reproduction number, and numerical simulations. The results show that the equilibrium point for freedom from alcohol addiction is unstable, while the endemic equilibrium point is locally asymptotically stable. Simulations show that the proportion of Susceptible individuals increases from 0.87 to 0.95, the proportion of Exposed individuals decreases from 0.05 to 0.04, while the proportions of Alcoholic and Recovered individuals decrease to near zero based on the parameters and initial conditions used. The novelty of this study lies in the application of the SEARS model, which accounts for the possibility of relapse or the return of recovered individuals to vulnerable groups. This model is expected to serve as an initial analytical framework for the Makassar City Government in formulating prevention policies through education, strengthening the social environment to support healthy behaviors, and improving access to counseling and rehabilitation. Validation using local empirical data and parameter sensitivity analysis are necessary to improve the model's reliability and evaluate the effectiveness of intervention strategies.*

Keywords: ***Mathematical model, SEARS, alcohol addiction, adolescents, equilibrium stability.***

CC BY SA

A. Pendahuluan

Matematika berperan penting dalam mengembangkan model yang dapat merepresentasikan dan menganalisis perubahan suatu fenomena secara sistematis (Khaesarani, 2021). Dalam kajian dinamika populasi, pemodelan matematika digunakan untuk menggambarkan perubahan jumlah individu, perpindahan individu antarkelompok, serta faktor-faktor yang memengaruhi perubahan tersebut. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah model kompartemen, yaitu model yang membagi populasi ke dalam beberapa kelompok berdasarkan karakteristik atau tahapan tertentu, kemudian menggambarkan perpindahan individu antarkelompok melalui sistem persamaan diferensial. Pendekatan ini tidak hanya digunakan untuk mempelajari penyebaran penyakit menular, tetapi juga dapat diterapkan untuk menganalisis penyebaran perilaku adiktif yang dipengaruhi oleh interaksi sosial dan lingkungan. Van den Ende et al (2022) menjelaskan bahwa pemodelan matematika dan komputasi dapat membantu memahami dinamika kecanduan dengan mempertimbangkan proses psikologis dan pengaruh sosial. Sejalan dengan hal tersebut, Crokidakis & Sigaud (2021)menunjukkan bahwa model kompartemen dapat digunakan untuk menggambarkan perubahan perilaku konsumsi alkohol berdasarkan interaksi sosial dan perpindahan individu antarkelompok. Dengan demikian, model kompartemen dapat menjadi landasan matematis untuk menganalisis dinamika kecanduan alkohol pada remaja, termasuk proses munculnya perilaku konsumsi, perkembangan kecanduan, upaya pemulihan, dan kemungkinan individu kembali ke kondisi rentan.

Model *SEIR* membagi populasi menjadi empat kompartemen utama, yaitu *susceptible* (S), *exposed* (E), *infected* (I), dan *recovered* (R). Pada awalnya, model *SEIR* dikembangkan untuk menggambarkan dinamika penyebaran penyakit menular, dengan perpindahan individu antarkompartemen yang dipengaruhi oleh laju interaksi dan parameter tertentu. Individu yang berada dalam kompartemen terinfeksi dapat berpindah ke kompartemen pulih setelah mengalami proses pemulihan (Side, 2013). Selain digunakan dalam bidang kesehatan, model *SEIR* juga dapat diadaptasi dalam bidang sosial untuk menganalisis dinamika penyebaran perilaku kecanduan alkohol pada kalangan remaja. Dalam konteks penelitian ini, kompartemen (S) (*susceptible*) menggambarkan remaja yang belum mengalami kecanduan alkohol, tetapi berpotensi terpengaruh oleh lingkungan pergaulan, interaksi sosial, dan faktor psikologis yang mendorong perilaku konsumsi alkohol. Kompartemen (E) (*exposed*) merepresentasikan remaja yang telah terpapar perilaku konsumsi alkohol, tetapi belum mengalami kecanduan. Selanjutnya, kompartemen (A) (*Alcoholic*) menggambarkan remaja yang telah mengalami kecanduan alkohol dan berpotensi memengaruhi remaja lain melalui interaksi sosial. Sementara itu, kompartemen (R) (*recovered*) merepresentasikan remaja yang telah menjalani proses pemulihan atau berhasil menghentikan konsumsi alkohol sehingga tidak lagi berada dalam kondisi kecanduan. Dengan demikian, penerapan model dalam penelitian ini diharapkan dapat membantu menjelaskan dinamika perubahan jumlah remaja pada setiap kompartemen serta memberikan gambaran mengenai mekanisme penyebaran perilaku kecanduan alkohol dan pentingnya upaya pencegahan maupun pemulihan.

Konsumsi alkohol pada remaja masih menjadi persoalan yang perlu mendapat perhatian karena berpotensi menimbulkan dampak terhadap kesehatan, perkembangan psikologis, dan kehidupan sosial. Laporan WHO melalui survei Health Behaviour in School-aged Children (HBSC) 2022 menunjukkan bahwa 57% remaja berusia 15 tahun pernah mengonsumsi alkohol, 37% mengonsumsi alkohol dalam 30 hari terakhir, dan sekitar 20% pernah mengalami mabuk sedikitnya dua kali (Septiana et al., 2024). Di Indonesia, data Global School-based Student Health Survey (GSHS) 2015 mencatat prevalensi konsumsi alkohol sebesar 4,4% pada remaja berusia 13–17 tahun. Perilaku tersebut berkaitan dengan sejumlah faktor, termasuk usia, jenis kelamin, serta kurangnya perhatian dan pengawasan orang tua. Sementara itu, penelitian di Kota Makassar yang dikutip oleh (Septiana et al., 2024) melaporkan bahwa 92% dari 112

responden mengaku pernah mengonsumsi alkohol. Sebagian besar responden mulai mengonsumsi alkohol pada usia 16–20 tahun, dengan jenis minuman yang beragam, mulai dari anggur dan bir hingga minuman beralkohol berkadar tinggi. Adapun alasan konsumsi meliputi keinginan untuk mencoba hal baru, mencari sensasi, pengaruh teman sebaya, serta keinginan untuk mengatasi masalah atau menghangatkan tubuh. Meskipun demikian, indikator konsumsi alkohol perlu dibedakan dari kecanduan alkohol. Riwayat pernah mengonsumsi alkohol menunjukkan pengalaman konsumsi, konsumsi dalam 30 hari terakhir menggambarkan perilaku konsumsi terkini, sedangkan pengalaman mabuk berulang dapat menunjukkan pola penggunaan alkohol yang berisiko. Ketiga indikator tersebut tidak secara langsung membuktikan adanya ketergantungan, karena kecanduan alkohol perlu dinilai berdasarkan pola konsumsi, kesulitan mengendalikan konsumsi, serta dampak yang ditimbulkan terhadap kehidupan (Organization, 2024); (Association, 2013). Oleh karena itu, data konsumsi alkohol pada remaja perlu diinterpretasikan secara cermat agar tidak disamakan dengan prevalensi kecanduan. Pembedaan ini menjadi penting dalam pengembangan model matematika penyebaran kecanduan alkohol, khususnya untuk menentukan definisi operasional setiap kompartemen dan menggambarkan perpindahan individu berdasarkan kondisi yang relevan. Dengan demikian, upaya pencegahan dan penanganan dapat dirancang secara lebih tepat melalui keterlibatan keluarga, masyarakat, tenaga kesehatan, dan pemerintah daerah.

Konsumsi alkohol pada usia remaja perlu mendapat perhatian karena dapat menimbulkan berbagai dampak bagi kesehatan dan perkembangan individu. Perilaku ini dipengaruhi oleh beragam faktor yang dapat berbeda pada setiap lingkungan dan kelompok remaja. Dampaknya tidak hanya dirasakan oleh individu, tetapi juga dapat memengaruhi keluarga dan masyarakat melalui meningkatnya risiko konflik, kekerasan, kecelakaan, penurunan produktivitas, serta gangguan kesehatan fisik dan mental seperti depresi dan kecemasan (Diagnostic, 2013).

Oleh karena itu, pemodelan matematika dapat digunakan untuk menganalisis dinamika kecanduan alkohol pada remaja secara sistematis. Penelitian ini menggunakan model *Susceptible–Exposed–Alcoholic–Recovered–Susceptible* (*SEARS*), yang dikembangkan dari model *SEIR* dengan menambahkan mekanisme kekambuhan, yaitu individu yang telah pulih (*recovered*) dapat kembali ke kelompok rentan (*susceptible*) (Enatsu et al., 2012).. Model ini digunakan untuk menggambarkan perubahan proporsi remaja yang rentan, terpapar, mengalami kecanduan, dan telah pulih. Analisis dilakukan melalui penentuan titik kesetimbangan, bilangan reproduksi dasar (R), kestabilan titik kesetimbangan, serta simulasi numerik untuk mengetahui dinamika setiap kompartemen dan pengaruh perubahan parameter. Hasil analisis diharapkan dapat membantu memahami penyebaran dan kekambuhan kecanduan alkohol serta mendukung upaya pencegahan dan pemulihan pada remaja.

Penelitian terdahulu yang telah megkaji tentang penerapan penyebaran kecanduan alkohol di antaranya Syahara, Nurhadi, dan Rahman (2020) mengkaji faktor sosial yang memengaruhi konsumsi alkohol pada remaja. Kusuma, Hasanah, dan Wicaksono (2024) menelaah kaitan religiusitas dengan kecanduan alkohol. Rasyidah, Juhari, dan Aziz (2025) mengembangkan model *SEDR* (*Susceptible–Exposed–Dependent–Recovery*) untuk menggambarkan dinamika kecanduan alkohol. Penelitian tersebut berfokus pada pengembangan model terhadap masalah sosial remaja menjadi kecandual alkohol. Kajian yang secara khusus mengembangkan model SEIR dalam menggambarkan dinamika kecanduan alkohol pada remaja masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan model *SEIR* menjadi model *SEARS* sebagai Analisis Model Matematika *SEARS* Penyebaran Kecanduan Alkohol pada Kalangan Remaja di Kota Makassar.

CC BY SA

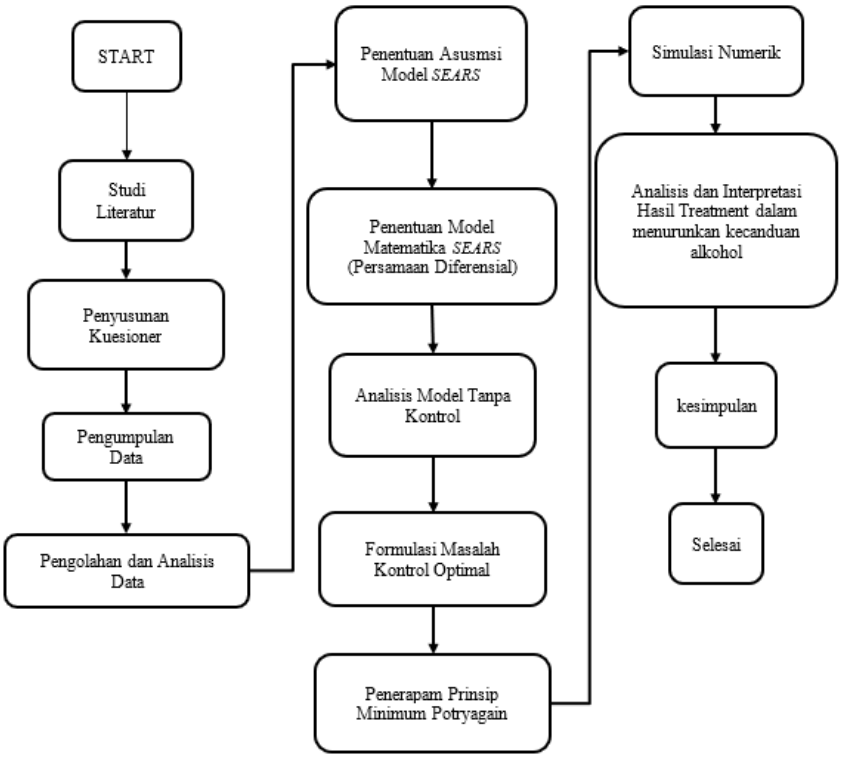
B. Metode Penelitian

Penelitian ini menerapkan pendekatan pemodelan matematika terapan untuk menganalisis kasus kecanduan alkohol pada remaja. Penelitian ini mengonversi dinamika remaja yang telah terpapar kedalam bentuk formal sistem persamaan diferensial

Prosedur penelitian yang diterapkan dalam penelitian ini guna mencapai tujuan penelitian:

1) Membangun model *SEARS* terhadap penyebaran kasus kecanduan alkohol pada remaja di Kota Makassar.
2) Menganalisis model *SEARS* terhadap penyebaran kasus kecanduan alkohol pada remaja di Kota Makassar.
3) Mengumpulkan data dari responden sebanyak 100 orang remaja (10 - 19 tahun) di kota makassar berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) yang telah melalui penentuan jumlah sampel menggunakan formula slovin dengan cara membagikan kuisioner.
4) Melakukan uji/simulasi model *SEARS* terhadap kesulitan penyelesaian skripsi dengan bantuan software terhadap penyebaran kasus kecanduan alkohol pada remaja di Kota Makassar.

Prosedur penelitian dapat dilihat pada diagram alur penelitian pada gambar 1.



Gambar 1. Desain Penelitian

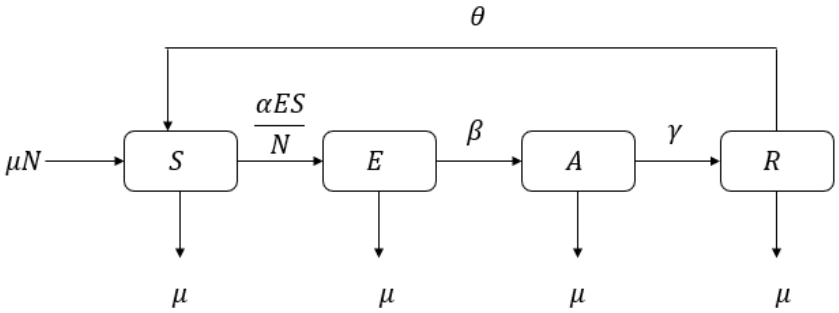
C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pembentukan Model SEARS

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas $(S), (E), (A)$, dan (R). kompartemen (S) menggambarkan remaja yang belum mengalami kecanduan alkohol, tetapi berpotensi terpapar pengaruh atau perilaku konsumsi alkohol. Kompartemen (E) remaja yang telah terpapar perilaku konsumsi alkohol, tetapi belum mengalami kecanduan. Kompartemen (A) remaja yang telah mengalami kecanduan alkohol dan dapat memengaruhi individu lain

CC BY SA

melalui interaksi sosial. Sedangkan (R) remaja yang telah mendapatkan penanganan atau berhasil berhenti dari kecanduan alkohol. Namun di penelitian ini terdapat kemungkinan terjadinya R → S diamana remaja yang telah pulih tetapi kembali berada dalam kondisi rentan terhadap paparan atau mengalami kemungkinan relapse.



Gambar 2. Diagram Model SEARS

S	:	Kelompok remaja yang belum mengalami kecanduan alkohol, tetapi memiliki potensi untuk terpapar perilaku konsumsi alkohol.
E	:	Kelompok remaja yang telah terpapar perilaku konsumsi alkohol, tetapi belum mengalami kecanduan.
A	:	Kelompok remaja yang telah mengalami kecanduan alkohol.
R	:	Kelompok remaja yang telah pulih atau berhenti dari kecanduan alkohol.
α	:	Laju perpindahan individu dari S ke E akibat terpapar perilaku konsumsi alkohol
β	:	Laju perpindahan individu dari E ke A, yaitu individu yang sebelumnya telah terpapar perilaku konsumsi alkohol kemudian berkembang menjadi individu yang mengalami kecanduan alkohol.
γ	:	Laju perpindahan individu dari A ke Rsetelah menjalani proses pemulihan atau penanganan kecanduan alkohol.
θ	:	Laju perpindahan individu dari S langsung ke R, misalnya karena individu memiliki kesadaran untuk menghindari alkohol, memperoleh edukasi atau intervensi pencegahan, sehingga tidak mengalami tahap kecanduan.
μN	:	Laju masuknya individu baru ke dalam populasi remaja.
μ	:	Laju individu keluar dari populasi.

Model yang ditampilkan pada Gambar 1 selanjutnya dirumuskan dalam bentuk sistem persamaan diferensial, dengan N menyatakan total populasi. Untuk menyederhanakan model, dilakukan normalisasi dengan menyatakan masing-masing subpopulasi sebagai proporsi dari total populasi. Hasil normalisasi tersebut kemudian menghasilkan Persamaan (1).

$$s = \frac{S}{N}, e = \frac{E}{N}, a = \frac{A}{N}, r = \frac{R}{N}$$

$$\begin{aligned} \frac{ds}{dt} &= \mu + \theta r - \mu s \\ \frac{de}{dt} &= \alpha e s - (\beta + \mu)e \\ \frac{da}{dt} &= \beta e - (\gamma + \mu)a \\ \frac{dr}{dt} &= \gamma a - (\theta + \mu)r \end{aligned} \quad (1)$$

Di mana $s(t) + e(t) + a(t), r(t) = 1$

Analisis Model SEARS untuk Penyebaran Kecanduan Alkohol

CC BY SA

Titik Kesetimbangan E pada sistem persamaan (1) ditentukan dengan menetapkan seluruh turunan $\frac{dS}{dt}, \frac{dE}{dt}, \frac{dA}{dt}, \frac{dR}{dt} = 0$. Berdasarkan persamaan (1) terdapat dua jenis kesetimbangan yaitu: titik kesetimbangan endemik bebas kecanduan alkohol E_0 dan titik kesetimbangan endemik alkohol E^*. Titik kesetimbangan bebas kecanduan alkohol diperoleh dengan menetapkan $E = 0, A = 0$ yang menunjukkan bahwa tidak terdapat individu yang pernah mengkonsumsi alkohol dan kecanduan alkohol. Sementara itu, titik kesetimbangan endemik kecanduan alkohol E^* diperoleh ketika $E > 0, A > 0$, yang menunjukkan bahwa aktivitas kecanduan alkohol masih berlangsung dalam populasi. Bentuk titik kesetimbangan bebas E_0 dan bentuk kesetimbangan endemik E^* masing-masing disajikan pada persamaan (2) dan (3)

$$E_0(S,E,A,R) = \left(\frac{\mu}{\mu}, 0,0,0\right)$$
$$E^*(S,E,A,R) = \left(\frac{\beta+\mu}{\alpha}, \frac{\mu(\gamma+\mu)(\theta+\mu)+(\beta+\mu-\alpha)}{\alpha\beta\gamma\theta}, \frac{\mu(\theta+\mu)(\beta+\mu-\alpha)}{\alpha\gamma\theta}, \frac{\mu(\beta+\mu-\alpha)}{\alpha\theta}\right) \quad (2)$$

pada matriks jacobian menggunakan pemisalan pada sistem persamaan (1) dinyatakan dalam bentuk sistem dinamik pada persamaan (3)

$$x = f(x), x \in \mathbb{R}^3 \quad (3)$$

Dengan $x \in \mathbb{R}^3$ merupakan vektor yang terdiri atas variabel-variabel dalam sistem. Berdasarkan sistem tersebut, metriks jacobian yang digunakan untuk menganalisis perilaku sistem dapat dituliskan seperti pada persamaan (4).

$$J(E^*) = \begin{bmatrix} -\mu & 0 & 0 & \theta \\ \alpha e^* & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \beta & -(\gamma+\mu) & 0 \\ 0 & 0 & \gamma & -(\theta+\mu) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Analisis Kestabilan Titik Kesetimbangan Bebas

Kestabilan titik kesetimbangan bebas kecanduan alkohol $E_0(S,E,A,R) = (1,0,0,0)$, ditentukan dengan melakukan linearisasi sistem pada titik kesetimbangan E_0. Hasil subtitusi titik tersebut ke dalam matriks jacobian manghasilkan.

$$J(E_0) = \begin{bmatrix} -\mu & 0 & 0 & \theta \\ 0 & \alpha-\beta-\mu & 0 & 0 \\ 0 & \beta & -(\gamma+\mu) & 0 \\ 0 & 0 & \gamma & -(\theta+\mu) \end{bmatrix} \quad (5)$$

Selanjutnya, kestabilan titik kesetimbangan ditentukan berdasarkan nilai eigen dari matriks Jacobian. Nilai eigen diperoleh dengan menyelesaikan persamaan karakteristik $\det(\lambda I - J(E_0)) = 0$ dengan λ menyatakan nilai eigen dan I merupakan matriks identitas. Dari proses tersebut diperoleh

$$\lambda_1 = -\mu,\ \lambda_2 = -(\theta+\mu)\lambda_3 = -(\lambda+\mu),\ \lambda_4 = \alpha-\beta-\mu \quad (6)$$

Dengan demikian, titik kesetimbangan bebas dikatakan stabil apabila seluruh nilai eigen memiliki bagian real negatif, atau memenuhi kondisi: $\lambda_i < 0, i = 1,2,3$.

Analisis Kestabilan pada Titik Kesetimbangan Kecanduan Alkohol SEARS

Jenis kestabilan titik kesetimbangan kecanduan alkohol $E^*(S,E,A,R) = \left(\frac{\beta+\mu}{\alpha}, \frac{\mu(\gamma+\mu)(\theta+\mu)+(\beta+\mu-\alpha)}{\alpha\beta\gamma\theta}, \frac{\mu(\theta+\mu)(\beta+\mu-\alpha)}{\alpha\gamma\theta}, \frac{\mu(\beta+\mu-\alpha)}{\alpha\theta}\right)$, diperoleh dengan melakukan linearisasi sistem Persamaan (4) pada titik kesetimbangan E^*. Hasil linearisasi tersebut menghasilkan matriks Jacobian seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (7):

CC BY SA

$$J(E^*) = \begin{bmatrix} -\mu & 0 & 0 & \theta \\ \alpha e^* & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \beta & -(\gamma+\mu) & 0 \\ 0 & 0 & \gamma & -(\theta+\mu) \end{bmatrix} \quad (7)$$

Secara sederhana, bagian ini menjelaskan bahwa untuk mengetahui kestabilan titik kesetimbangan endemik E^*, sistem terlebih dahulu dilinearisasi di sekitar E^*, kemudian dibentuk matriks Jacobian pada titik tersebut. Matriks inilah yang selanjutnya digunakan untuk menentukan nilai eigen dan menganalisis kestabilan titik kesetimbangan endemik.

Kestabilan titik kesetimbangan endemik dapat ditentukan dengan mencari nilai eigen dari matriks Jacobian $J(E^*)$. Nilai eigen diperoleh melalui penyelesaian persamaan karakteristik $\det(J(E^*)) = 0$ dengan λ merupakan nilai eigen den I dalah matriks identitas. Berdasarkan persamaan karakteristik tersebut, diperoleh tiga nilai eigen.

Misal:

$A = 3\mu + \gamma + \theta, \quad B = (\gamma+\mu)(\theta+\mu) + \mu(2\mu+\gamma+\theta),$

$C = \mu(\gamma+\mu)(\theta+\mu), \quad D = -\mu(\gamma+\mu)(\theta+\mu)(\beta+\mu-\alpha)$

Maka:

$$\lambda_1 = \sqrt{\lambda^4 + A\lambda^3 + B\lambda^2 + C\lambda + D}, \lambda_2 = \sqrt[2]{\lambda^4 + A\lambda^3 + B\lambda^2 + C\lambda + D} \quad (8)$$

$$\lambda_3 = \sqrt[3]{\lambda^4 + A\lambda^3 + B\lambda^2 + C\lambda + D}, \lambda_4 = \sqrt[4]{\lambda^4 + A\lambda^3 + B\lambda^2 + C\lambda + D}$$

Kestabilan titik kesetimbangan endemik kecanduan alkohol terpenuhi apabila seluruh nilai eigen memiliki bagian real yang bernilai negatif, yaitu: $\lambda_i < 0$ untuk $i = 1,2,3$

Bilangan Reproduksi Dasar

Bilangan reproduksi dasar ditentukan melalui metode next-generation matriks dengan menghitung nilai eigen dominan dari perkalian matriks yang bersesuaian, sehingga menghasilkan Persamaan (9).

$$R_0 = \frac{\alpha}{\beta+\mu} \quad (9)$$

Simulasi Model SEARS untuk Penyebaran Kecanduan Alkohol

Parameter dan kondiri awal

Berdasarkan data penelitian serta asumsi yang digunakan, diperoleh sejumlah parameter model sebagaimana ditampilkan pada Tabel 1. Nilai parameter tersebut selanjutnya digunakan dalam proses analisis dan simulasi model.

Tabel 1 Nilai Parameter

Variabel / Parameter	Nilai Awal	Sumber
α	0,0105	Kuesioner
β	0,003	Kuesioner
γ	0,075	Kuesioner
θ	0,005	Kuesiner
μ	0,007001	Asumsi

Populasi dalam model dinormalisasi sehinggaF diperoleh $n = 1$. Berdasarkan hasil normalisasi, kondisi awal populasi dinyatakan

$$S(0) = 0{,}87, E(0) = 0.05, A(0) = 0.03, R(0) = 0{,}03$$

Nilai tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi awal, 87% populasi berada dalam kelompok *susceptible*, yaitu remaja yang belum mengalami kecanduan alkohol, tetapi berpotensi terpapar perilaku konsumsi alkohol. Sebanyak 5% populasi berada pada kelompok *exposed*, yaitu remaja yang telah terpapar perilaku konsumsi alkohol, tetapi belum mengalami

kecanduan. Selanjutnya, 3% populasi termasuk dalam kelompok *addicted*, yaitu remaja yang telah mengalami kecanduan alkohol, sedangkan 3% lainnya berada dalam kelompok *recovered*, yaitu remaja yang telah pulih atau berhenti dari kecanduan alkohol.

Titik Kesetimbangan

Dengan memasukkan nilai parameter yang terdapat pada Tabel 1 ke dalam sistem persamaan titik kesetimbangan, diperoleh dua titik kesetimbangan, yaitu titik kesetimbangan bebas kecanduan alkohol (gambling-free equilibrium) E_0 dan titik kesetimbangan endemik E^*, yang dinyatakan sebagai berikut.

$$E_0(S,E,A,R) = (1,0,0,0)$$
$$E^*(S,E,A,R) = (0.95333, 0.03493, 0.00722, 0.00451) \quad (10)$$

Kedua titik kesetimbangan tersebut memenuhi syarat kelayakan karena setiap komponennya bernilai nonnegatif serta memenuhi kondisi normalisasi populasi. Titik kesetimbangan E_0menggambarkan kondisi ketika tidak terdapat individu yang terlibat dalam aktivitas kecanduan alkohol di dalam populasi. ebaliknya, titik kesetimbangan E^* menunjukkan kondisi ketika aktivitas kecanduan alkohol masih berlangsung dan tetap ditemukan dalam populasi.

Analisis Kestabilan

Analisis kestabilan dilakukan dengan mensubstitusikan nilai parameter pada Tabel 1 ke dalam Persamaan (6) dan (8), kemudian menentukan nilai eigen dari masing-masing titik kesetimbangan. Hasil perhitungan nilai eigen untuk titik kesetimbangan bebas kecanduan alkohol E_0disajikan pada Persamaan (11), sedangkan nilai eigen untuk titik kesetimbangan endemik E^* ditunjukkan pada Persamaan (12).

$$\lambda_1 = -0.00701, \lambda_2 = -0.01201, \lambda_3 = -0.01451, \lambda_4 = 0.00049 \quad (11)$$
$$\lambda_1 = -0.00049, \lambda_2 = -0.00701, \lambda_3 = -0.01465, \lambda_4 = -0.01173 \quad (12)$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, titik kesetimbangan bebas kecanduan alkohol bersifat tidak stabil karena terdapat satu nilai eigen yang bernilai positif. Hal ini menunjukkan bahwa sistem tidak dapat mempertahankan kondisi bebas kecanduan alkohol ketika terjadi gangguan kecil di sekitar titik kesetimbangan tersebut. Sebaliknya, titik kesetimbangan endemik $E_e$bersifat stabil asimtotik lokal karena seluruh nilai eigennya bernilai negatif. Dengan demikian, apabila sistem mengalami gangguan kecil di sekitar titik kesetimbangan endemik, dinamika populasi akan cenderung kembali menuju kondisi kesetimbangan tersebut.

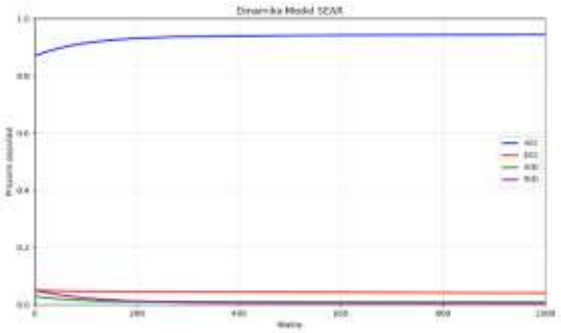
Bilangan Reproduksi (R_0)

Nilai parameter yang disajikan pada Tabel 1 disubstitusikan ke dalam Persamaan (9), sehingga diperoleh nilai bilangan reproduksi dasar sebesar $R_0 = 1.04895$. Karena nilai $R_0 > 1$, hasil tersebut menunjukkan bahwa aktivitas kecanduan alkohol berpotensi untuk terus berlangsung dalam populasi yang dimodelkan.

Simulasi Numerik (Numerical Simulation)

Simulasi numerik dilakukan untuk mengamati dinamika keempat elompok populasi dalam model $S - E - A - R$, yaitu kelompok individu yang rentan atau berpotensi terpapar kecanduan alkohol $s(t)$, kelompok individu telah terpapar perilaku konsumsi alkohol $e(t)$, kelompok individu yang telah mengalami kecanduan alkohol $a(t)$, kelompok individu yang telah pulih atau berhenti dari kecanduan alkohol $r(t)$. Simulasi dilakukan dengan menggunakan kondisi awal dan nilai parameter yang telah ditentukan pada Tabel 1, dengan rentang waktu simulasi $0 \leq t \leq 100$.

CC BY SA



Gambar 3. Simulasi model dinamis S-E-A-R

Berdasarkan analisis kestabilan, titik kesetimbangan bebas kecanduan alkohol bersifat tidak stabil karena terdapat nilai eigen positif. Hasil ini menunjukkan bahwa kondisi bebas kecanduan alkohol rentan mengalami perubahan ketika sistem mengalami gangguan kecil di sekitar titik kesetimbangan tersebut. Dengan kata lain, berdasarkan struktur model dan parameter yang digunakan, gangguan terhadap kondisi bebas kecanduan dapat mendorong sistem menjauh dari keadaan tersebut. Sebaliknya, titik kesetimbangan endemik bersifat stabil asimtotik lokal karena seluruh nilai eigen memiliki bagian real negatif. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem cenderung kembali menuju titik kesetimbangan endemik setelah mengalami gangguan kecil. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa, dalam skenario parameter yang digunakan, kecanduan alkohol berpotensi bertahan dalam populasi apabila mekanisme perpindahan antarkompartemen tidak mengalami perubahan yang berarti. Meskipun demikian, kestabilan lokal hanya menjelaskan perilaku sistem di sekitar titik kesetimbangan dan tidak secara langsung membuktikan bahwa kondisi tersebut akan terjadi pada seluruh populasi remaja di Kota Makassar.

Hasil simulasi numerik memperlihatkan bahwa proporsi kompartemen $(S(t))$ meningkat dari sekitar 0,87 hingga mendekati 0,95, kemudian cenderung stabil. Sementara itu, proporsi kompartemen $(E(t))$menurun dari sekitar 0,05 hingga mendekati 0,04, sedangkan kompartemen $(A(t))$ dan $(R(t))$ mengalami penurunan hingga mendekati nol. Pola ini menunjukkan bahwa, berdasarkan parameter dan kondisi awal yang digunakan, kelompok rentan mendominasi populasi pada akhir periode simulasi, sedangkan proporsi individu yang mengalami kecanduan dan yang telah pulih menjadi sangat kecil. Namun, peningkatan kompartemen $(S(t))$ tidak dapat langsung diartikan sebagai keberhasilan pengendalian kecanduan alkohol karena kelompok tersebut masih memiliki potensi untuk terpapar. Demikian pula, penurunan $(R(t))$ tidak serta-merta menunjukkan kegagalan rehabilitasi, tetapi perlu ditafsirkan berdasarkan mekanisme perpindahan individu yang telah pulih, termasuk kemungkinan kembali ke kelompok rentan. Penurunan $(A(t))$ hingga mendekati nol juga perlu dibedakan dari kondisi bebas kecanduan yang benar-benar tercapai secara matematis, sebab nilai yang mendekati nol belum tentu sama dengan nol.

Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu yang menggunakan model kompartemen *SURS* untuk mengkaji dinamika pengguna narkoba di Sulawesi Selatan, penelitian ini memiliki kesamaan dalam penggunaan pendekatan pemodelan matematika untuk menganalisis perpindahan individu antarkelompok populasi. Kedua penelitian memanfaatkan titik kesetimbangan, analisis kestabilan, dan simulasi numerik untuk memahami perilaku sistem dalam jangka panjang. Selain itu, keberadaan mekanisme kembalinya individu yang telah pulih ke kelompok rentan pada kedua model menunjukkan pentingnya mempertimbangkan kemungkinan munculnya kembali perilaku berisiko setelah individu mengalami pemulihan. Meskipun demikian, terdapat perbedaan pada fenomena yang dikaji dan struktur kompartemennya. Model *SURS* berfokus pada dinamika pengguna narkoba, sedangkan model *SEARS* dalam penelitian ini dirancang untuk menggambarkan kecanduan alkohol pada remaja

CC BY SA

dengan membedakan kelompok yang telah terpapar perilaku konsumsi alkohol tetapi belum mengalami kecanduan dari kelompok yang telah mengalami kecanduan. Pembedaan tersebut memungkinkan analisis terhadap tahapan paparan sebelum kecanduan serta dinamika pemulihan dan risiko paparan kembali. Oleh karena itu, model *SEARS* memberikan kerangka analisis yang disesuaikan dengan karakteristik fenomena kecanduan alkohol yang dikaji dalam penelitian ini.

Dalam konteks remaja di Kota Makassar, hasil simulasi tersebut dapat menjadi landasan awal untuk memahami pentingnya pencegahan konsumsi alkohol sebelum berkembang menjadi kecanduan. Dominasi kompartemen $(S(t))$ pada akhir simulasi menunjukkan bahwa sebagian besar populasi dalam skenario model masih berada pada kelompok yang belum mengalami kecanduan, tetapi kondisi ini tetap memerlukan perhatian karena potensi paparan dapat dipengaruhi oleh lingkungan pergaulan, pengaruh teman sebaya, dan faktor sosial lainnya. Sementara itu, penurunan proporsi $(E(t))$ dapat menjadi indikasi matematis berkurangnya individu yang berada dalam tahap paparan apabila mekanisme model memang mendukung perpindahan kelompok tersebut menuju kompartemen lain. Namun, hasil ini belum dapat digunakan untuk menyimpulkan bahwa paparan konsumsi alkohol pada remaja di Makassar benar-benar menurun, sebab diperlukan data empiris yang menggambarkan kondisi setempat. Oleh karena itu, hasil simulasi sebaiknya dipahami sebagai gambaran berdasarkan asumsi matematis, bukan sebagai pengukuran langsung terhadap prevalensi kecanduan alkohol pada remaja di Kota Makassar.

Secara praktis, temuan penelitian ini menegaskan pentingnya strategi pencegahan dan penanganan yang berkelanjutan. Pemerintah Kota Makassar, melalui instansi terkait, dapat mempertimbangkan penguatan edukasi mengenai risiko konsumsi alkohol, pelaksanaan program pencegahan berbasis sekolah dan lingkungan keluarga, serta penyediaan layanan konseling dan rehabilitasi yang sesuai dengan kebutuhan remaja. Upaya tersebut juga perlu disertai dukungan sosial bagi individu yang telah menjalani pemulihan untuk mengurangi kemungkinan kembali terpapar perilaku konsumsi alkohol. Dalam perspektif pemodelan, efektivitas strategi tersebut dapat diteliti lebih lanjut dengan mengubah parameter yang merepresentasikan laju paparan, perkembangan menuju kecanduan, keberhasilan pemulihan, dan kemungkinan kembali ke kelompok rentan. Dengan demikian, simulasi tidak hanya digunakan untuk menggambarkan dinamika populasi, tetapi juga dapat dikembangkan sebagai alat untuk membandingkan berbagai skenario intervensi.

Secara keseluruhan, penelitian ini melengkapi kajian pemodelan matematika pada fenomena perilaku berisiko dengan menerapkan model *SEARS* untuk menganalisis dinamika kecanduan alkohol pada remaja. Kesamaannya dengan penelitian model SURS terletak pada penggunaan pendekatan kompartemen, analisis titik kesetimbangan, dan simulasi numerik, sedangkan kontribusi khusus penelitian ini terletak pada pembedaan tahap paparan dan kecanduan serta pertimbangan kemungkinan paparan kembali setelah pemulihan. Meskipun demikian, keakuratan interpretasi hasil masih bergantung pada kesesuaian asumsi, parameter, dan kondisi awal model dengan situasi nyata. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu melakukan validasi menggunakan data empiris remaja di Kota Makassar, analisis sensitivitas parameter, serta simulasi berbagai skenario intervensi. Langkah tersebut diperlukan agar model *SEARS* dapat memberikan gambaran yang lebih representatif dan menjadi bahan pertimbangan ilmiah dalam merumuskan kebijakan pencegahan serta penanganan kecanduan alkohol pada remaja.

D. Kesimpulan

Penelitian ini mengembangkan model matematika *SEARS* untuk menggambarkan dinamika penyebaran kecanduan alkohol pada kalangan remaja di Kota Makassar. Analisis

menunjukkan bahwa model memiliki titik kesetimbangan bebas kecanduan alkohol yang tidak stabil dan titik kesetimbangan endemik yang stabil asimtotik lokal berdasarkan hasil analisis nilai eigen yang dilaporkan. Hasil simulasi numerik memperlihatkan bahwa proporsi individu pada kompartemen $(S(t))$ meningkat hingga mendekati 0,95 dan kemudian stabil, sedangkan kompartemen $(E(t)), (A(t))$, dan $(R(t))$ mengalami penurunan. Temuan tersebut menunjukkan bahwa dinamika populasi dalam model cenderung menuju kondisi stabil dengan dominasi kelompok rentan terhadap paparan perilaku konsumsi alkohol. Model *SEARS* dapat menjadi pendekatan untuk memahami perubahan populasi dan potensi kekambuhan setelah pemulihan. Namun, hasil simulasi perlu ditafsirkan berdasarkan asumsi dan parameter yang digunakan. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memvalidasi model menggunakan data empiris serta mengkaji sensitivitas parameter dan efektivitas intervensi, termasuk rehabilitasi, dalam mendukung pencegahan dan penanganan kecanduan alkohol pada remaja.

DAFTAR PUSTAKA

Association, A. P. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5*. American Psychiatric Association.

Crokidakis, N., & Sigaud, L. (2021). Modeling the evolution of drinking behavior: A Statistical Physics perspective. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, *570*, 125814.

Diagnostic, A. (2013). statistical manual of mental disorders,(DSM-5) Washington. *DC: American Psychiatric Association*.

Enatsu, Y., Messina, E., Nakata, Y., Muroya, Y., Russo, E., & Vecchio, A. (2012). Global dynamics of a delayed SIRS epidemic model with a wide class of nonlinear incidence rates. *Journal of Applied Mathematics and Computing*, *39*(1), 15–34.

Khaesarani, I. R. (2021). Analysis of Students Learning Difficulties in Advanced Differential Equation Courses Reviewed from the Use of Learning Media During the Covid-19 Pandemic. *AlphaMath: Journal of Mathematics Education*, 114–124.

Organization, W. H. (2024). *Global status report on alcohol and health and treatment of substance use disorders*. World Health Organization.

Septiana, N. Z., Istiqomah, N., & Rahayu, D. S. (2024). Literasi kesehatan mental: Dampak perilaku dan resiliensi sosial pada remaja. *Nusantara of Research: Jurnal Hasil-Hasil Penelitian Universitas Nusantara PGRI Kediri*, *11*(1), 81–91.

Side, S. (2013). Sistem dinamik. *Badan Penerbit UNM: Makassar*.

Van den Ende, M. W. J., Epskamp, S., Lees, M. H., van der Maas, H. L. J., Wiers, R. W., & Sloot, P. M. A. (2022). A review of mathematical modeling of addiction regarding both (neuro-) psychological processes and the social contagion perspectives. *Addictive Behaviors*, *127*, 107201.