

Analisis Kecanduan Merokok pada Dewasa dan Remaja di Wilayah Magelang dengan Pendekatan Model Matematika

**Nuzulla Novida Hanif¹, Nur Laila Putri Mardiana², Wina Rosiana Widya Alfianti³,
Yesi Franita⁴**

^{1,2,3}Universitas Tidar

¹nuzullanovida13@students.untidar.ac.id

ABSTRAK

Kecanduan rokok merupakan permasalahan serius yang berdampak pada kesehatan masyarakat, terutama di kalangan remaja dan dewasa. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji analisis kecanduan rokok melalui pendekatan pemodelan matematika dengan mempertimbangkan perbedaan usia. Model yang digunakan merupakan modifikasi dari model SEIR klasik, dikembangkan menjadi delapan kompartemen yang merepresentasikan status merokok pada dua kelompok usia, yaitu dewasa rentan (S), dewasa pemula (E), dewasa aktif (I), dewasa berhenti (R), remaja rentan (P), remaja pemula (M), remaja aktif (H), dan remaja berhenti (Q). Data primer diperoleh melalui angket daring dan digunakan untuk menentukan nilai awal serta parameter transisi antar kompartemen. Perhitungan numerik dilakukan selama 30 hari untuk memprediksi perubahan jumlah individu pada setiap kompartemen. Hasil menunjukkan bahwa terjadi peningkatan ekstrem pada kategori dewasa pemula, sedangkan populasi rentan menurun drastis, bahkan mencapai nilai negatif. Hasil dari analisis kestabilan titik kesetimbangan dan bilangan reproduksi dasar menunjukkan bahwa sistem cenderung menuju keadaan endemik, di mana populasi perokok akan terus ada dan berpotensi menyebar. Temuan ini mengindikasikan perlunya strategi intervensi yang berbeda antara remaja dan dewasa, serta evaluasi terhadap parameter model agar lebih representatif terhadap kondisi riil.

Kata Kunci: kecanduan rokok; model SEIR; pemodelan matematika; remaja; dewasa.

ABSTRACT

Cigarettes addiction is a serious problem that affects public health, especially among adolescents and adults. The purpose of this research is to examine the analysis of smoking addiction through a mathematical modeling approach that takes age differences into account. The model used is a modification of the classical SEIR model, developed into eight compartments representing smoking status across two age groups: vulnerable adults (S), novice adults (E), active adults (I), quit adults (R), vulnerable adolescents (P), novice adolescents (M), active adolescents (H), and quit adolescents (Q). Primary data were gathered using an online questionnaire and used to determine initial values and transition parameters between compartments. Numerical simulations were conducted over 30 days to predict changes in the number of individuals in each compartment. Results showed an extreme increase in the novice adult category, while the vulnerable population decreased drastically, even reaching negative values. Results of stability analysis of the equilibrium point and basic reproduction number indicated that the system tends toward an endemic state, where the smoking population will persist and potentially spread. These findings suggest the need for different intervention strategies between adolescents and adults, as well as an evaluation of model parameters to better represent real-world conditions.

Keywords: cigarette addiction; SEIR model; mathematical modeling; adolescents; adults.

PENDAHULUAN

Perilaku merokok merupakan masalah serius yang berdampak besar pada kesehatan, sosial, dan ekonomi (Vogl, dkk., 2012). Merokok dapat mengganggu pertumbuhan paru-paru anak dan remaja yang bisa menyebabkan terjadinya TB paru (Ners, dkk., 2022), berisiko menimbulkan penyakit kronis di usia dewasa, bahkan dapat menyebabkan kematian (Vildania, dkk., 2025). Dampak merokok sejak remaja meliputi

hambatan perkembangan paru-paru, gangguan kardiovaskular, kerusakan gigi, masalah tulang dan otot, serta peningkatan risiko kanker (Handayani, dkk., 2022). Korban mencakup orang yang merokok termasuk orang-orang di sekelilingnya yang menghirup asap rokok (Elkefi, dkk., 2025). Risiko perokok pasif lebih besar karena daya tahan tubuhnya yang rendah terhadap zat berbahaya dalam asap rokok (Nur, Husna, & Rosmanidar, 2022).

Di Indonesia, merokok masih menjadi kebiasaan di masyarakat, mulai dari remaja hingga dewasa. Merujuk pada Peraturan Menteri Kesehatan (Permenkes) Nomor 25 Tahun 2014, remaja adalah individu yang berada pada rentang usia antara 10 hingga 18 tahun (Nabil & Srisantyorini, 2025). Remaja merupakan kelompok usia produktif dalam masyarakat yang menjadi target potensial bagi industri rokok (Nurisani, dkk., 2023). Remaja sangat rentan terpengaruh oleh lingkungan sekitar, termasuk teman sebaya, tren sosial, iklan digital, dan gaya hidup (Suryadinata & Lorensia, 2023). Sementara itu, kelompok dewasa tetap menjadi penyumbang utama perokok aktif (Ji, dkk., 2024). Kebiasaan merokok yang sulit dihentikan akibat ketergantungan nikotin (Xu, dkk., 2022). Oleh karena itu, strategi pengendalian merokok perlu mempertimbangkan segmentasi usia agar intervensi lebih terarah dan efektif (Le, dkk., 2023).

Pemodelan matematika penting untuk memahami penyebaran kebiasaan merokok dan memprediksi efek kebijakan intervensi dalam mengurangi jumlah perokok (Ismed, 2022). Model yang dapat dimodifikasi dan digunakan untuk tujuan tersebut yaitu model SEIR, yang secara umum membagi populasi dalam kategori rentan (*susceptible*), terpapar (*exposed*), terinfeksi atau aktif (*infected*), dan pulih atau berhenti (*recovered*) (Pamungkas & Prasetya, 2024). Sudah dikembangkan model SEIR untuk memodelkan kecanduan rokok berdasarkan jenis kelamin. Namun, pendekatan tersebut masih memiliki keterbatasan dalam dimensi usia, padahal faktor usia mempunyai peran yang signifikan dalam upaya pemberhentian kebiasaan merokok (Fadhilah & Maulana, 2022). Untuk itu, riset ini diarahkan guna melengkapi celah yang ada melalui usulan analisis kecanduan merokok berdasarkan dua kelompok usia, yaitu remaja dan dewasa. Diharapkan dengan cara ini, hasil model dapat lebih mirip dengan realitas populasinya.

Asumsi

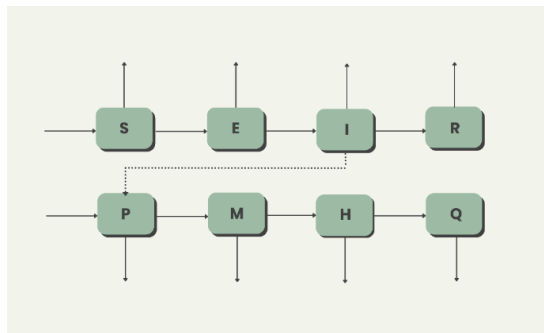
1. Terdapat dua kelompok yang membagi populasi, yakni remaja dan dewasa. Kelompok remaja mencakup individu berusia antara 10 hingga 18 tahun, sedangkan kelompok dewasa terdiri atas individu dengan usia di atas 18 tahun.
2. Kelompok subpopulasi pada dewasa diklasifikasikan menjadi empat kategori, yakni:
 - a. Dewasa perokok rentan (*S*): dewasa yang tidak merokok dan berpeluang untuk menjadi perokok pemula.
 - b. Dewasa perokok pemula (*E*): dewasa yang mulai merokok dan berpeluang untuk menjadi perokok aktif.
 - c. Dewasa aktif merokok (*I*): dewasa yang merokok secara aktif dan turut berkontribusi terhadap peningkatan jumlah perokok.
 - d. Dewasa berhenti merokok (*R*): dewasa yang pernah merokok, tetapi sudah berhenti.
3. Kelompok subpopulasi pada remaja diklasifikasikan menjadi empat kategori, yakni:
 - a. Remaja perokok rentan (*P*): remaja tidak merokok yang berpotensi menjadi perokok pemula.
 - b. Remaja perokok pemula (*M*): remaja mulai merokok yang berpotensi menjadi perokok aktif.

- c. Remaja aktif merokok (H): remaja yang merokok secara aktif dan turut berkontribusi terhadap peningkatan jumlah perokok.
 - d. Remaja yang berhenti merokok (Q): remaja yang pernah merokok, tetapi sudah berhenti.
4. Populasi dewasa atau remaja berisiko jadi perokok pemula karena interaksi dengan perokok aktif, pengaruh nikotin, dan lingkungan yang mendorong untuk mencoba merokok.
 5. Populasi dewasa dan remaja yang berhenti merokok diasumsikan tidak akan kembali merokok tanpa pengaruh perokok aktif dan jika berhenti atas kehendak sendiri.
 6. Jumlah populasi (N) diasumsikan mencakup kelompok perokok dan dianggap sebagai populasi yang tertutup.
 7. Kecanduan merokok menyebabkan kematian sehingga dianggap sebagai kematian alami dan konstan.

Penyusunan Model Matematika

Studi ini mengadopsi model SEIR yang kemudian dilakukan modifikasi dengan pengembangan struktur menjadi delapan kompartemen subpopulasi, meliputi S, E, I, R, P, M, H, dan Q dengan pembagian berdasarkan usia, yaitu remaja dan dewasa. Karena kompleksitas faktor penyebab kecanduan merokok, sejumlah asumsi disusun untuk menyederhanakan permasalahan.

Berikut adalah bentuk diagram kompartemennya yang disusun berdasarkan asumsi yang ada.



Gambar 1. Bentuk Diagram Kompartemen Model Matematika

Interaksi antara kompartemen dewasa perokok aktif dan remaja rentan dalam diagram kompartemen menghasilkan sistem persamaan (1) berikut.

- Dewasa

$$\frac{dS}{dt} = \sigma \times N - (\alpha I + \mu) \times S$$

$$\frac{dE}{dt} = \alpha \times S \times I - (\beta + \mu) \times E$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta \times E - (\rho + \mu) \times I$$

$$\frac{dR}{dt} = \rho \times I - \mu \times R$$

- Remaja

$$\frac{dP}{dt} = \delta \times N - (\theta I + \mu) \times P$$

$$\frac{dM}{dt} = \theta \times P \times I - (\pi + \mu) \times M$$

$$\frac{dH}{dt} = \pi \times M - (\gamma + \mu)H$$

$$\frac{dQ}{dt} = \gamma \times H - \mu \times Q$$

Kondisi awal yang menyertai bentuk sistem persamaan (1) adalah sebagai berikut.

$$S(0) = S_0, E(0) = E_0, I(0) = I_0, R(0) = R_0 \geq 0$$

$$P(0) = P_0, M(0) = M_0, H(0) = H_0, Q(0) = Q_0 \geq 0$$

dan N = total responden angket.

Variabel dan parameter pemodelan kecanduan merokok pada remaja dan dewasa disajikan pada tabel ini.

Tabel 1. Variabel Pemodelan Kecanduan Merokok pada Dewasa dan Remaja

Variabel	Deskripsi	Ketentuan
$S(t)$	Banyaknya orang dewasa rentan merokok waktu ke- t	$S(t) \geq 0$
$E(t)$	Banyaknya orang dewasa perokok pemula waktu ke- t	$E(t) \geq 0$
$I(t)$	Banyaknya orang dewasa perokok aktif waktu ke- t	$I(t) \geq 0$
$R(t)$	Banyaknya orang dewasa berhenti merokok waktu ke- t	$R(t) \geq 0$
$P(t)$	Banyaknya remaja rentan merokok waktu ke- t	$P(t) \geq 0$
$M(t)$	Banyaknya remaja perokok pemula waktu ke- t	$M(t) \geq 0$
$H(t)$	Banyaknya remaja perokok aktif waktu ke- t	$H(t) \geq 0$
$Q(t)$	Banyaknya remaja berhenti merokok waktu ke- t	$Q(t) \geq 0$

Tabel 2. Parameter Pemodelan Kecanduan Rokok pada Dewasa dan Remaja

Parameter	Deskripsi	Syarat
σ	Tingkat perpindahan dewasa sehat menjadi perokok rentan	$\sigma \geq 0$
α	Tingkat perpindahan dewasa rentan jadi perokok pemula	$\alpha \geq 0$
β	Tingkat perpindahan dewasa perokok pemula jadi aktif	$\beta \geq 0$
ρ	Tingkat perpindahan dewasa perokok aktif jadi berhenti	$\rho \geq 0$
δ	Tingkat perpindahan remaja sehat jadi perokok rentan	$\delta \geq 0$
θ	Tingkat perpindahan remaja rentan jadi perokok pemula	$\theta \geq 0$
π	Laju perpindahan remaja perokok pemula jadi aktif	$\pi \geq 0$
γ	Laju perpindahan remaja perokok aktif jadi berhenti	$\gamma \geq 0$
μ	Laju rata-rata kematian alami pada setiap populasi	$\mu \geq 0$

dengan populasi sehat, baik dewasa maupun remaja, adalah individu yang tidak merokok serta tidak berinteraksi dengan perokok pemula ataupun aktif.

Titik Keseimbangan

Merujuk pada persamaan $\frac{dS}{dt} = \frac{dE}{dt} = \frac{dI}{dt} = \frac{dR}{dt} = \frac{dP}{dt} = \frac{dM}{dt} = \frac{dH}{dt} = \frac{dQ}{dt} = 0$ didapatkan dua titik keseimbangan, yakni:

- 1) Titik keseimbangan bebas perokok merupakan kondisi saat populasi tidak mengandung perokok aktif dalam jangka waktu tertentu. Titik ini diperoleh dengan mensubstitusikan turunan sistem persamaan (1) sama dengan nol sebagai berikut.

$$E_0 = (S^* = \frac{\sigma}{\mu}, E^* = 0, I^* = 0, R^* = 0, P^* = \frac{\delta}{\mu}, M^* = 0, H^* = 0, Q^* = 0)$$

- 2) Titik keseimbangan endemik adalah kondisi stabil di mana jumlah perokok dalam populasi tetap ada dan berpotensi mendorong individu lainnya untuk menjadi perokok aktif. Titik-titik yang dimaksud, yaitu

$E_1 = (S^{**}, E^{**}, I^{**}, R^{**}, P^{**}, M^{**}, H^{**}, Q^{**})$, di mana:

$$S^{**} = \frac{(\beta \times \mu) + (\beta \times \rho) + \mu^2 + (\mu \times \rho)}{(\alpha \times \beta)}$$

$$E^{**} = \frac{(\alpha \times \beta \times \sigma) - (\beta \times \mu^2) - (\beta \times \mu \times \rho) - (\mu^3 - \mu^2 \times \rho)}{(\beta \times \alpha)(\beta + \mu)}$$

$$I^{**} = \frac{(\alpha \times \beta \times \sigma) - (\beta \times \mu^2) - (\beta \times \mu \times \rho) - \mu^3 - (\mu^2 \times \rho)}{\alpha(\beta \mu + \beta \rho + \mu^2 + \mu \rho)}$$

$$R^{**} = \frac{\rho(\alpha \beta \sigma - \beta \mu^2 - \beta \mu \rho - \mu^3 - \mu^2 \rho)}{\alpha \mu(\beta \mu + \beta \rho + \mu^2 + \mu \rho)}$$

$$P^{**} = \frac{\delta \alpha(\beta \mu + \beta \rho + \mu^2 + \mu \rho)}{(\alpha \beta \times \mu^2) + (\alpha \beta \times \mu \times \rho) + (\alpha \beta \times \sigma \times \theta) + (\alpha \times \mu^3) + (\alpha \times \mu^2 \times \rho) - (\beta \times \mu^2 \times \theta) - (\beta \mu \rho \theta) - (\mu^3 \theta) - (\mu^2 \rho \theta)}$$

$$M^{**} = \frac{\delta \theta(\alpha \beta \sigma - \beta \mu^2 - \beta \mu \rho - \mu^3 - \mu^2 \rho)}{(\pi + \mu)(\alpha \beta \mu^2 + \alpha \beta \mu \rho + \alpha \beta \sigma \theta + \alpha \mu^3 + \alpha \mu^2 \rho - \beta \mu^2 \theta - \beta \mu \rho \theta - \mu^3 \theta - \mu^2 \rho \theta)}$$

$$H^{**} = \frac{\delta \theta \pi(\alpha \beta \sigma - \beta \mu^2 - \beta \mu \rho - \mu^3 - \mu^2 \rho)}{(\gamma \mu + \gamma \pi + \mu^2 + \mu \pi)(\alpha \beta \mu^2 + \alpha \beta \mu \rho + \alpha \beta \sigma \theta + \alpha \mu^3 + \alpha \mu^2 \rho - \beta \mu^2 \theta - \beta \mu \rho \theta - \mu^3 \theta - \mu^2 \rho \theta)}$$

$$Q^{**} = \frac{\delta \times \theta \times \pi \times \gamma((\alpha \times \beta \times \sigma) - (\beta \times \mu^2) - (\beta \times \mu \times \rho) - \mu^3 - (\mu^2 \times \rho))}{\mu(\gamma \mu + \gamma \pi + \mu^2 + \mu \pi)(\alpha \beta \mu^2 + \alpha \beta \mu \rho + \alpha \beta \sigma \theta + \alpha \mu^3 + \alpha \mu^2 \rho - \beta \mu^2 \theta - \beta \mu \rho \theta - \mu^3 \theta - \mu^2 \rho \theta)}$$

Analisis Kestabilan Titik Keseimbangan

Analisis kestabilan pada model kecanduan rokok dilakukan dengan menilai titik keseimbangan menggunakan nilai eigen. Nilai eigen diperoleh melalui pelinieran sistem (1) di sekitar titik ekuilibrium. Analisis kestabilan pada model SEIRPMHQ dilakukan pada dua titik ekuilibrium yang dimiliki.

$$J = \begin{bmatrix} -(\alpha I + \mu) & 0 & -\alpha S & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \alpha I & -(\beta + \mu) & \alpha S & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \beta & -(\rho + \mu) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \rho & -\mu & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\theta P & 0 & -(\theta I + \mu) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \theta P & 0 & \theta I & -(\pi + \mu) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pi & -(\gamma + \mu) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma & -\mu \end{bmatrix}$$

- 1) Analisis stabilitas titik keseimbangan bebas perokok.

Dengan melakukan pelinieran terhadap sistem persamaan (1) pada titik keseimbangan non-endemik $E_0 = (S^*, E^*, I^*, R^*, P^*, M^*, H^*, Q^*) =$

$(\frac{\sigma}{\mu}, 0, 0, 0, \frac{\delta}{\mu}, 0, 0, 0)$ diperoleh matriks Jacobi berikut ini.

$$J(E_0) = \begin{bmatrix} -\mu & 0 & \frac{-\alpha\sigma}{\mu} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\beta - \mu & \frac{\alpha\sigma}{\mu} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \beta & -\rho - \mu & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \rho & -\mu & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-\delta\theta}{\mu} & 0 & -\mu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\delta\theta}{\mu} & 0 & 0 & -\pi - \mu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pi & -\gamma - \mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma & -\mu \end{bmatrix}$$

Matriks $J(E_0)$ memiliki persamaan karakteristik $\det(\lambda I - J(E_0)) = 0$

$$\det \begin{bmatrix} \lambda + \mu & 0 & \frac{-\alpha\sigma}{\mu} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda + \beta + \mu & \frac{\alpha\sigma}{\mu} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \beta & \lambda + \rho + \mu & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \rho & \lambda - \mu & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{-\delta\theta}{\mu} & 0 & \lambda + \mu & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\delta\theta}{\mu} & 0 & 0 & \lambda + \pi + \mu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pi & \lambda + \gamma + \mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma & \lambda + \mu \end{bmatrix} = 0$$

$$= \frac{(\lambda + \mu)^3 \times (\lambda - \mu) \times (\lambda + \pi + \mu) \times (\lambda + \gamma + \mu) \times (\mu^3 + (\rho + \beta + 2\lambda)\mu^2 + (\beta + \lambda) \times (\rho + \lambda)\mu - \sigma\alpha\beta)}{\mu} = 0 \quad (2)$$

diperoleh nilai eigen berdasarkan persamaan karakteristik (2), yaitu

$$\lambda_1 = -\mu$$

$$\lambda_2 = -\gamma - \mu$$

$$\lambda_3 = -\pi - \mu$$

$$\lambda_4 = \frac{-\beta\mu - 2\mu^2 - \mu\rho + \sqrt{4\alpha\beta\mu\sigma + \beta^2\mu^2 - 2\beta\mu^2\rho + \mu^2\rho^2}}{2\mu}$$

$$\lambda_5 = -\frac{(\beta \times \mu) + (2 \times \mu^2) + (\mu \times \rho) + \sqrt{4\alpha\beta\mu\sigma + \beta^2\mu^2 - 2\beta\mu^2\rho + \mu^2\rho^2}}{(2 \times \mu)}$$

Titik kesetimbangan E_0 pada nilai λ_4 dan $\lambda_5 < 0$, maka stabil asimtotik lokal.

- $4\alpha\beta\mu\sigma + \beta^2\mu^2 > 2\beta\mu^2\rho + \mu^2\rho^2$
- $\beta\mu + 2\mu^2 + \mu\rho > \sqrt{4\alpha\beta\mu\sigma + \beta^2\mu^2 - 2\beta\mu^2\rho + \mu^2\rho^2}$

2) Analisis stabilitas titik kesetimbangan endemik

Dengan melakukan pelinieran terhadap sistem persamaan (1) pada titik kesetimbangan endemik $E_1 = (S^{**}, E^{**}, I^{**}, R^{**}, P^{**}, M^{**}, H^{**}, Q^{**})$, diperoleh matriks Jacobi ini.

$$J(E_1) = \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & a_{13} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & -\beta - \mu & a_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \beta & -\rho - \mu & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \rho & -\mu & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{53} & 0 & a_{55} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{63} & 0 & a_{65} & -\pi - \mu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pi & -\gamma - \mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma & -\mu \end{bmatrix}$$

Persamaan karakteristik dari matriks $J(E_1)$ adalah $\det(\lambda I - J(E_1)) = 0$

$$\det \begin{bmatrix} a_{11} & 0 & a_{13} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & \lambda + \beta + \mu & a_{23} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \beta & \lambda + \rho + \mu & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \rho & \lambda + \mu & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{53} & 0 & a_{55} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a_{63} & 0 & a_{65} & \lambda + \pi + \mu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pi & \lambda + \gamma + \mu & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma & \lambda + \mu \end{bmatrix} = 0$$

$$\frac{1}{(\beta\mu + \beta\rho + \mu^2 + \mu\rho)^2\alpha} \times ((\mu^5 + (2\rho + 2\beta) \times \mu^4 + (\beta^2 + 4\beta\rho + 2\lambda^2 + \rho^2) \times \mu^3 + (2\rho\beta^2 + (-\alpha\sigma + 3\lambda^2 + 2\rho^2) \times \beta + 3\rho\lambda^2 + \lambda^3) \times \mu^2 + ((-\alpha\sigma + \lambda^2 + \rho^2) \times \beta^2 + (2\alpha\lambda\sigma - \alpha\rho\sigma + \lambda^3 + 4\lambda^2\rho) \times \beta + \rho\lambda^2 \times (\rho + \lambda)) \times \mu + ((\alpha\lambda\sigma - \alpha\rho\sigma + \lambda^2\rho) \times \beta + \lambda \times (\rho + \lambda) \times (\alpha\sigma + \lambda\rho)) \times \beta) \times ((\alpha - \theta) \times \mu^3 + ((\alpha - \theta) \times \beta + (\alpha - \theta)\rho + \lambda\alpha) \times \mu^2 + (((\alpha - \theta)\rho + \lambda\alpha) \times \beta + \rho\alpha\lambda) \times \mu + \beta\alpha \times (\lambda\rho + \sigma\theta)) \times (\lambda + \mu + \pi) \times (\lambda + \gamma + \mu) \times (\lambda + \mu)^2 = 0 \quad (3)$$

dengan

$$a_{11} = \lambda + \frac{\alpha \times \beta \times \sigma - \beta \times \mu^2 - \beta \times \mu \times \rho - \mu^3 - \mu^2 \times \rho}{\beta\mu + \beta\rho + \mu^2 + (\mu \times \rho)} + \mu$$

$$a_{13} = -\frac{(\beta \times \mu) + (\beta \times \rho) + \mu^2 + \mu\rho}{\beta}$$

$$a_{21} = \frac{(\alpha \times \beta \times \sigma) - (\beta \times \mu^2) - (\beta \times \mu \times \rho) - \mu^3 - (\mu^2 \times \rho)}{\beta\mu + \beta\rho + \mu^2 + (\mu \times \rho)}$$

$$a_{23} = \frac{\beta\mu + \beta\rho + \mu^2 + (\mu \times \rho)}{\beta}$$

$$a_{53} = -\frac{\theta \times \delta \times \alpha \times ((\beta \times \mu) + (\beta \times \rho) + \mu^2 + (\mu \times \rho))}{\alpha\beta\mu^2 + \alpha \times \beta \times \mu \times \rho + \alpha \times \beta \times \sigma \times \theta + \alpha \times \mu^3 + \alpha \times \mu^2 \times \rho - \beta \times \mu^2 \times \theta - \beta \times \mu \times \rho \times \theta - \mu^3 \times \theta - \mu^2 \times \rho \times \theta}$$

$$a_{63} = \frac{\theta \times \delta \times \alpha \times ((\beta \times \mu) + (\beta \times \rho) + \mu^2 + (\mu \times \rho))}{\alpha \times \beta \times \mu^2 + \alpha \times \beta \times \mu \times \rho + \alpha \times \beta \times \sigma \times \theta + \alpha \times \mu^3 + \alpha \times \mu^2 \times \rho - \beta \times \mu^2 \times \theta - \beta \times \mu \times \rho \times \theta - \mu^3 \times \theta - \mu^2 \times \rho \times \theta}$$

$$a_{65} = \frac{\theta(\alpha \times \beta \times \sigma - \beta \times \mu^2 - \beta \times \mu \times \rho - \mu^3 - \mu^2 \times \rho)}{\alpha(\beta \times \mu + \beta \times \rho + \mu^2 + \mu \times \rho)}$$

diperoleh nilai eigen dari persamaan karakteristik (3), yaitu

$$\lambda_1 = -\mu$$

$$\lambda_2 = -\gamma - \mu$$

$$\lambda_3 = -\pi - \mu$$

$$\lambda_4 = -\frac{\alpha\beta\mu^2 + \alpha \times \beta \times \mu \times \rho + \alpha \times \beta \times \sigma \times \theta + \alpha \times \mu^3 + \alpha \times \mu^2 \times \rho - \beta \times \mu^2 \times \theta - \beta \times \mu \times \rho \times \theta - \mu^3 \times \theta - \mu^2 \times \rho \times \theta}{\alpha \times (\beta \times \mu + \beta \times \rho + \mu^2 + \mu \times \rho)}$$

Titik kesetimbangan E_1 stabil asimtotik lokal, pada nilai λ_4 bernilai negatif jika

- $\alpha \times \beta \times \mu^2 + \alpha \times \beta \times \mu \times \rho + \alpha \times \beta \times \sigma \times \theta + \alpha \times \mu^3 + \alpha \times \mu^2 \times \rho > \beta \times \mu^2 \times \theta - \beta \times \mu \times \rho \times \theta - \mu^3 \times \theta - \mu^2 \times \rho \times \theta$

Bilangan Reproduksi Dasar (R_0)

Next Generation Matrix Method digunakan untuk menghitung R_0 dan menggambarkan rata-rata kasus sekunder dari populasi perokok aktif terhadap populasi rentan, sebagaimana ditunjukkan dalam persamaan (4) berikut.

$$\begin{aligned} \frac{dE}{dt} &= \alpha \times S \times I - (\beta + \mu) \times E \\ \frac{dI}{dt} &= \beta \times E - (\rho + \mu) \times I \\ \frac{dM}{dt} &= \theta \times P \times I - (\pi + \mu) \times M \end{aligned}$$

$$\frac{dH}{dt} = \pi \times M - (\gamma + \mu) \times H$$

The Next Generation Matrix diperoleh dengan membentuknya dari sistem persamaan (4), yang kemudian dinyatakan dalam bentuk $K = FV^{-1}$, di mana, F dan V adalah matriks perpindahan, dengan susunan berikut ini.

$$F = \begin{bmatrix} 0 & \frac{\alpha\sigma}{\mu} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\theta\delta}{\mu} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$V = \begin{bmatrix} \beta + \mu & 0 & 0 & 0 \\ -\beta & \rho + \mu & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \pi + \mu & 0 \\ 0 & 0 & -\pi & \gamma + \mu \end{bmatrix}$$

sehingga

$$V^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\beta + \mu} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\beta}{(\beta \times \mu) + (\beta \times \rho) + \mu^2 + (\mu \times \rho)} & \frac{1}{(\mu + \rho)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{(\pi + \mu)} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\pi}{(\gamma \times \mu) + (\gamma \times \pi) + \mu^2 + (\mu \times \pi)} & \frac{1}{(\gamma + \mu)} \end{bmatrix}$$

maka,

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

$$K = \begin{bmatrix} 0 & \frac{\alpha\sigma}{\mu} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\theta\delta}{\mu} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{1}{\beta + \mu} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\beta}{\beta\mu + \beta\rho + \mu^2 + \mu\rho} & \frac{1}{\mu + \rho} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\pi + \mu} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\pi}{\gamma\mu + \gamma\pi + \mu^2 + \mu\pi} & \frac{1}{\gamma + \mu} \end{bmatrix}$$

$$K = \begin{bmatrix} \frac{\alpha\sigma\beta}{\mu(\beta\mu + \beta\rho + \mu^2 + \mu\rho)} & \frac{\alpha\sigma}{\mu(\mu + \rho)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\theta\delta\beta}{\mu(\beta\mu + \beta\rho + \mu^2 + \mu\rho)} & \frac{\theta\delta}{\mu(\mu + \rho)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Nilai eigen yang dominan dari sistem persamaan (5), yaitu

$$\lambda_{1,2,3} = 0$$

$$\lambda_4 = \frac{\alpha \times \sigma \times \beta}{\mu \times (\beta \times \mu + \beta \times \rho + \mu^2 + \mu \times \rho)}$$

diperoleh, $R_0 = \frac{\alpha \times \sigma \times \beta}{\mu \times (\beta \times \mu + \beta \times \rho + \mu^2 + \mu \times \rho)}$. Titik kesetimbangan bebas perokok bersifat stabil saat $R_0 < 1$, menunjukkan populasi perokok cenderung punah. Namun, jika $R_0 > 1$, titik tersebut menjadi tidak stabil, sehingga perokok tetap ada dan dapat menularkan kebiasaan merokok. Kondisi endemik muncul saat terjadi kontak berulang antara perokok aktif dan individu rentan, yang meningkatkan jumlah mantan perokok dalam sistem.

METODE PENELITIAN

Pelaksanaan penelitian ini menggunakan metode deskriptif yang dianalisis melalui pendekatan kuantitatif melalui pemodelan matematika untuk menganalisis dinamika kecanduan rokok berdasarkan dua kelompok usia yaitu dewasa dan remaja. Model yang dikembangkan merupakan modifikasi dari model SEIR dengan menambahkan struktur kompartemen yang lebih rinci menjadi delapan subpopulasi, yaitu dewasa rentan (S), dewasa pemula (E), dewasa aktif (I), dewasa berhenti (R), remaja rentan (P), remaja pemula (M), remaja aktif (H), dan remaja berhenti (Q).

Data primer diperoleh melalui angket digital *Google Form* kepada responden di wilayah Magelang untuk menentukan status merokok dan kategori usia sebagai nilai awal kompartemen. Parameter laju transisi antar kompartemen diperkirakan dari data, termasuk transisi progresif dan regresif, serta ditambahkan parameter kematian alami. Model disusun sebagai sistem persamaan diferensial orde satu dan dianalisis secara numerik melalui perhitungan selama 30 hari. Hasilnya divisualisasikan dalam grafik dan tabel untuk mengamati dinamika populasi dan mengevaluasi implikasi terhadap pengendalian kebiasaan merokok pada remaja dan dewasa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tersaji data berikut yang didapatkan melalui hasil penyebaran angket.

Tabel 3. Data Responden Hasil Penyebaran Angket

Kategori		Jumlah
Dewasa	Sehat	6
	Perokok rentan	23
	Perokok pemula	3
	Perokok aktif	8
	Berhenti merokok	9
Remaja	Sehat	2
	Perokok rentan	9
	Perokok pemula	2
	Perokok aktif	2
	Berhenti merokok	0

Perhitungan numerik dilakukan berdasarkan nilai parameter yang dihitung berikut ini.

$$N = \text{total responden angket} = 64$$

$$\sigma = \frac{\text{dewasa sehat} + \text{dewasa rentan}}{N} = \frac{(6 + 23)}{64} \approx 0,453$$

$$\alpha = \frac{\text{dewasa rentan} + \text{dewasa perokok pemula}}{N} = \frac{(23 + 3)}{64} \approx 0,406$$

$$\beta = \frac{\text{dewasa perokok pemula} + \text{dewasa perokok aktif}}{N} = \frac{(3 + 8)}{64} \approx 0,172$$

$$\rho = \frac{\text{dewasa perokok aktif} + \text{dewasa berhenti merokok}}{N} = \frac{(8 + 9)}{64} \approx 0,266$$

$$\delta = \frac{\text{remaja sehat} + \text{remaja rentan}}{N} = \frac{(2 + 9)}{64} \approx 0,172$$

$$\theta = \frac{\text{remaja rentan} + \text{remaja perokok pemula}}{N} = \frac{(9 + 2)}{64} \approx 0,172$$

$$\pi = \frac{\text{remaja perokok pemula} + \text{remaja perokok aktif}}{N} = \frac{(2 + 2)}{64} \approx 0,063$$

$$\gamma = \frac{\text{remaja perokok aktif} + \text{remaja berhenti merokok}}{N} = \frac{(2 + 0)}{64} \approx 0,031$$

Tabel 4. Daftar Nilai Parameter

Parameter	Nilai	Sumber
N	64	Hasil angket
σ	0,453	Hasil angket
α	0,406	Hasil angket
β	0,172	Hasil angket
ρ	0,266	Hasil angket
δ	0,172	Hasil angket
θ	0,172	Hasil angket
π	0,063	Hasil angket
γ	0,031	Hasil angket
μ	0,003	(Fadhilah, J., & Maulana, D. A., 2022)

Data primer diperoleh melalui angket digital *Google Form* karena kemudahannya, efisiensi waktu, dan otomatisasi rekap data. Angket disusun sesuai tujuan penelitian, lalu data yang terkumpul diolah dan dianalisis.

- **Mencari titik kesetimbangan**

Data yang diperoleh:

- Dewasa: $S(t) = 23, E(t) = 3, I(t) = 8, R(t) = 9$
- Remaja: $P(t) = 9, M(t) = 2, H(t) = 2, Q(t) = 0$
- Total Populasi:

$N = \text{total responden angket} = 64$

Perhitungan laju perubahan setiap kompartemen pada $t = 0$

➤ Untuk populasi dewasa

$$\frac{dS}{dt} = \sigma N - (\alpha I + \mu)S$$

$$\frac{dS}{dt} = 0,453 \times 64 - (0,406 \times 8 + 0,003) \times 23$$

$$= 64,453 - 3,251 \times 23$$

$$= 64,453 - 74,773 = -10,32$$

$$\frac{dE}{dt} = \alpha SI - (\beta + \mu)E$$

$$\frac{dE}{dt} = 0,406 \times 23 \times 8 - (0,172 + 0,003) \times 3$$

$$= 74,704 - 0,175 \times 3$$

$$= 74,704 - 0,525 = 74,179$$

$$\begin{aligned}\frac{dI}{dt} &= \beta E - (\rho + \mu)I \\ \frac{dI}{dt} &= 0,172 \times 3 - (0,266 + 0,003) \times 8 \\ &= 0,516 - 0,269 \times 8 \\ &= 0,516 - 2,152 = -1,636 \\ \frac{dR}{dt} &= \rho I - \mu R \\ &= 0,266 \times 8 - 0,003 \times 9 \\ &= 2,128 - 0,027 = 2,101\end{aligned}$$

➤ Untuk populasi remaja

$$\begin{aligned}\frac{dP}{dt} &= \delta N - (\theta I + \mu)P \\ \frac{dP}{dt} &= 0,172 \times 64 - (0,172 \times 8 + 0,003) \times 9 \\ &= 11,008 - 1,379 \times 9 \\ &= 11,008 - 12,411 = -1,403 \\ \frac{dM}{dt} &= \theta P I - (\pi + \mu)M \\ \frac{dM}{dt} &= 0,172 \times 9 \times 8 - (0,063 + 0,003) \times 2 \\ &= 12,384 - 0,066 \times 2 \\ &= 12,384 - 0,132 = 12,252 \\ \frac{dH}{dt} &= \pi M - (\gamma + \mu)H \\ \frac{dH}{dt} &= 0,063 \times 2 - (0,031 + 0,003) \times 2 \\ &= 0,126 - 0,034 \times 2 \\ &= 0,126 - 0,068 = 0,058 \\ \frac{dQ}{dt} &= \gamma H - \mu Q \\ &= 0,031 \times 2 - 0,003 \times 0 \\ &= 0,062 - 0 = 0,062\end{aligned}$$

- **Menganalisis kestabilan titik kesetimbangan**

Analisis numerik stabilitas titik kesetimbangan dalam satu hari diperoleh dari hasil turunan kompartemen secara langsung pada saat $t = 0$. Dikatakan berada pada titik kesetimbangan apabila seluruh turunan sama dengan nol. Dari perhitungan diperoleh semua hasil turunan tidak bernilai nol dan sebagian memiliki nilai yang cukup besar, maka dapat dikatakan belum stabil.

- Pada $\frac{dS}{dt}$ dan $\frac{dP}{dt}$ memiliki hasil negatif yang besar pada dewasa dan cukup besar pada remaja, menunjukkan populasi rentan berkurang.
- Pada $\frac{dE}{dt}$ dan $\frac{dM}{dt}$ memiliki hasil positif, menunjukkan populasi pemula bertambah.
- Pada $\frac{dI}{dt}$ memiliki hasil negatif dan $\frac{dH}{dt}$ memiliki hasil positif, menunjukkan populasi aktif yang mulai menurun (bertransisi ke berhenti) pada dewasa tetapi pada remaja masih meningkat dengan nilai yang kecil.
- Pada $\frac{dR}{dt}$ dan $\frac{dQ}{dt}$ memiliki hasil positif, menunjukkan populasi yang berhenti merokok meningkat.

Jadi, dapat dikatakan sedang menuju kesetimbangan endemik, tetapi belum stabil dalam waktu satu hari.

- **Menentukan bilangan reproduksi dasar (R_0)**

$$R_0 = \frac{\alpha\sigma\beta}{\mu(\beta\mu + \beta\rho + \mu^2 + \mu\rho)}$$

Nilai-nilai dari parameter pada rumus:

$$\alpha = 0,406; \sigma = 0,453; \beta = 0,172; \rho = 0,266; \mu = 0,003$$

Dengan mensubstitusikan nilai-nilai parameter ke rumus R_0 , sehingga

$$R_0 = \frac{0,406 \times 0,453 \times 0,172}{0,003 \times (0,172 \times 0,003 + 0,172 \times 0,266 + (0,003)^2 + 0,003 \times 0,266)}$$

$$R_0 = \frac{0,031633896}{0,003 \times (0,000516 + 0,045752 + 0,000009 + 0,000798)}$$

$$R_0 = \frac{0,031633896}{0,003 \times 0,047075}$$

$$R_0 = \frac{0,031633896}{0,000141225} \approx 223,996$$

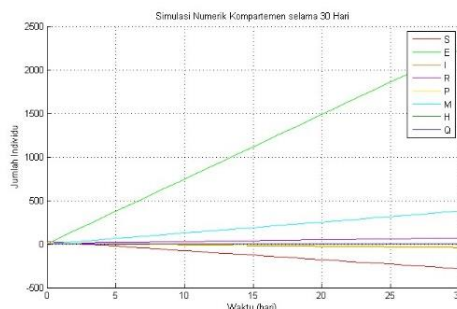
Dari perhitungan diperoleh nilai $R_0 = 222,996 > 1$, artinya penyelesaian model konvergen pada titik tetap endemik, menunjukkan keberlanjutan populasi perokok dan potensi penularannya ke individu lain.

- **Perhitungan numerik dengan mengacu pada nilai parameter**

Tabel 4. Perhitungan Numerik Mengacu pada Nilai Parameter

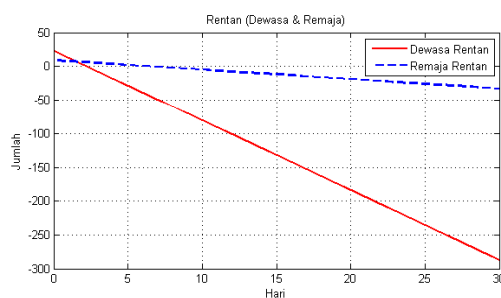
Kompartemen	Nilai Awal	$\frac{dX}{dt}$	Nilai Setelah 30 Hari
S (dewasa rentan)	23	-10,32	-286,6
E (dewasa pemula)	3	74,179	2225373
I (dewasa aktif)	8	-1,636	-41,08
R (dewasa berhenti)	9	2,101	72,03
P (remaja rentan)	9	-1,403	-42081
M (remaja pemula)	2	12,525	377,75
H (remaja aktif)	2	0,058	3,74
Q (remaja berhenti)	0	0,062	1,86

Berikut merupakan grafik dari model dinamika kecanduan rokok pada dewasa dan remaja di wilayah Magelang.



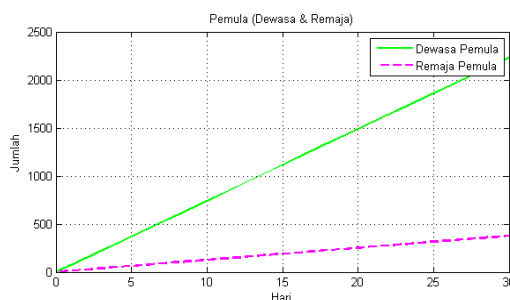
Gambar 2. Grafik dari Model Dinamika Kecanduan Rokok pada Dewasa dan Remaja di Wilayah Magelang

Gambar 2 memperlihatkan grafik prediksi perubahan subpopulasi dewasa dan remaja selama 30 hari berdasarkan parameter dan laju perubahan yang digunakan.



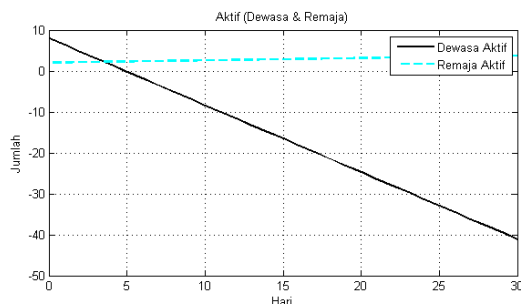
Gambar 3. Grafik Kategori Dewasa Rentan dan Remaja Rentan

Gambar 3 menunjukkan grafik perbandingan jumlah perokok pada subpopulasi dewasa rentan dan remaja rentan, dengan penurunan signifikan di keduanya. Dewasa rentan turun dari 23 menjadi -286 (laju -10,32/hari) dan remaja rentan dari 9 menjadi -42 (laju -1,403/hari). Nilai negatif menandakan ketidakseimbangan pada model numerik.



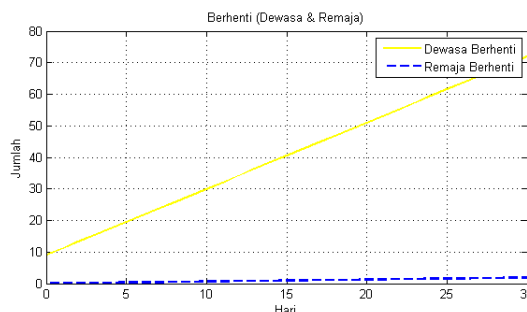
Gambar 4. Grafik Kategori Dewasa Pemula dan Remaja Pemula

Gambar 4 memperlihatkan peningkatan signifikan pada subpopulasi perokok dewasa pemula dan remaja pemula. Dewasa pemula meningkat tajam dari 3 menjadi 2.225.373 dengan laju +74.179 per hari, menandakan transisi masif dari dewasa rentan. Remaja pemula juga naik dari 2 menjadi 377 dengan laju +12.525 per hari, meski tidak sebesar dewasa pemula.



Gambar 5. Grafik Kategori Dewasa Aktif dan Remaja Aktif

Gambar 5 menunjukkan perbandingan jumlah perokok dewasa aktif dan remaja aktif. Dewasa aktif menurun dari 8 menjadi -4, mengindikasikan transisi keluar sistem atau kesalahan numerik, sedangkan remaja aktif meningkat dari 2 menjadi 3, menandakan sedikit peningkatan remaja yang menjadi aktif.



Gambar 6. Grafik Kategori Dewasa Berhenti dan Remaja Berhenti

PENUTUP

Penelitian ini mengembangkan model matematika berbasis modifikasi SEIR dengan delapan kompartemen menurut usia dan status merokok. Model ini merepresentasikan dinamika kecanduan rokok antara dewasa dan remaja. Simulasi selama 30 hari menunjukkan lonjakan pada dewasa pemula serta penurunan tajam pada kelompok rentan, terutama dewasa, yang menandakan transisi cepat dari rentan ke pemula sebagai penyumbang utama meningkatnya jumlah perokok baru. Analisis kestabilan juga menunjukkan bahwa sistem cenderung menuju titik kesetimbangan endemik dengan nilai bilangan reproduksi dasar $R_0 > 1$, artinya perilaku merokok akan terus bertahan dan menyebar di dalam populasi.

Meskipun model menunjukkan dinamika yang logis, ditemukan ketidakseimbangan numerik seperti nilai negatif dan pertumbuhan tidak realistis, sehingga perlu evaluasi parameter dan teknik simulasi. Penelitian ini berpotensi dikembangkan lebih lanjut dengan memasukkan faktor sosial, lingkungan, kebijakan, dan segmentasi tambahan. Disarankan dilakukan validasi model dengan data longitudinal serta perancangan strategi intervensi berbeda untuk remaja dan dewasa. Temuan ini diharapkan menjadi dasar penyusunan kebijakan pengendalian rokok yang lebih efektif dan sesuai karakteristik populasi sasaran.

REFERENSI

- Elkefi, S., Zeinoun, G., Tounsi, A., Bruzzese, J. M., Lelutiu-Weinberger, C., & Matthews, A. K. (2025). Second-Hand Smoke Exposure and Risk of Lung Cancer Among Nonsmokers in the United States: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 22(4).

- <https://doi.org/10.3390/ijerph22040595>
- Fadhilah, J., & Maulana, D. A. (2022). Model Dinamika Kecanduan Rokok pada Pria dan Wanita. *MATHunesa Jurnal Ilmiah Matematika*, 10(01), 180–189. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/mathunesa/article/view/44915>
- Handayani, R., Nurmawaty, D., & Muda, C. A. K. (2022). Edukasi Kesehatan Mengenai Bahaya Merokok dan Minuman Keras pada Siswa SMP Taman Harapan 1 Bekasi. *Jurnal Kreativitas Pengabdian Kepada Masyarakat (PKM)*, 5(6), 1628–1634. <https://doi.org/https://doi.org/10.33024/jkpm.v5i6.4997>
- Ismed, S. (2022). Model Matematika Pencegahan Penyebaran Kebiasaan Merokok dengan Penerapan Terapi Pengganti Nikotin. *Journal of Mathematics UNP*, 7(4), 103–114.
- Ji, Y., Cong, S., Fan, J., Wang, N., Wang, W., Song, X., & Fang, L. (2024). Prevalence of nicotine dependence among smokers aged 40 years and older in China. *Chinese Medical Journal Pulmonary and Critical Care Medicine*, 2(2), 119–131. <https://doi.org/10.1016/j.pccm.2024.05.003>
- Le, T. T. T., Warner, K. E., & Mendez, D. (2023). The evolution of age-specific smoking cessation rates in the United States from 2009 to 2017: a Kalman filter based approach. *BMC Public Health*, 23(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s12889-023-16986-w>
- Nabil, S. R., & Srisantyorini, T. (2025). Faktor-Faktor Yang Berhubungan Dengan Perilaku Merokok Pada Siswa-Siswi Di SMA Muhammadiyah Sawangan Tahun 2024 Secillia. *ULIL ALBAB : Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 4(4), 1110–1118.
- Ners, S., Unggul, U. E., & Jeruk, K. (2022). Risiko Terjadinya TB Paru dari Riwayat Merokok. *Indonesian Journal of Nursing Health Science*, 7(2), 85–92.
- Nisrina Vildania, Sabri, Y. S., & Ermayanti, S. (2025). HUBUNGAN DERAJAT MEROKOK TERHADAP PENURUNAN FUNGSI PARU : SEBUAH KAJIAN LITERATUR. *Jurnal Riset Ilmiah*, 2(2), 676–690.
- Nurisani, A., dkk. (2023). Gambaran Kadar Kolesterol Total Berdasarkan Karakteristik Perokok pada Perokok Aktif Usia Remaja di Kecamatan Cilawu Kabupaten Garut. *Student Scientific Creativity Journal*, 1(2), 200–209. <https://doi.org/10.55606/sscj-amik.v1i2.1247>
- Nur, Y. M., Husna, N., & Rosmanidar, R. (2022). Hubungan Pengetahuan tentang Bahaya Merokok dengan Perilaku Merokok Siswa SMP Negeri 2 Lubuk Alung. *Jurnal Akademika Baiturrahim Jambi*, 11(1), 116. <https://jab.ubr.ac.id/index.php/jab/article/view/507/220>
- Pamungkas, W. Z., & Prasetya, A. D. (2024). Pemodelan Matematika Penyebaran Epidemi di Lingkungan Perkotaan Menggunakan Model SEIR dengan Faktor Lingkungan. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 1(2), 30–35. <https://international.arimsi.or.id/index.php/IJSME/article/view/58/48>
- Suryadinata, R. V., & Lorensia, A. (2023). Studi Risiko Gangguan Fungsi Paru Terhadap Perokok Di Kalangan Remaja (Study Risk of Lung Function Disorders Smokers in Adolescents). *Indonesian Journal of ...*, 4(1), 1–5. [http://repository.ubaya.ac.id/44595/%0Ahttp://repository.ubaya.ac.id/44595/1/Riv an Virlando_STUDI RISIKO GANGGUAN FUNGSI PARU.pdf](http://repository.ubaya.ac.id/44595/%0Ahttp://repository.ubaya.ac.id/44595/1/Riv%20an%20Virlando_STUDI%20RISIKO%20GANGGUAN%20FUNGSI%20PARU.pdf)
- Vogl, M., Wenig, C. M., Leidl, R., & Pokhrel, S. (2012). Smoking and health-related quality of life in English general population: Implications for economic evaluations. *BMC Public Health*, 12(1), 203. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-203>
- Xu, Y., Xu, S., Wu, Q., Chen, H., Yao, D., Hu, X. J., & Zhang, X. (2022). Analysis of nicotine dependence among daily smokers in China: evidence from a cross-sectional study in Zhejiang Province. *BMJ Open*, 12(10). <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-062799>