

SIMULASI MODEL SEIR UNTUK PENGARUH POLA ASUH IBU TERHADAP RISIKO STUNTING DI DESA XYZ

Suhartini^{1*}, Tri Wijayanti Septiarini²

^{1,2}Program Studi Matematika, Universitas Terbuka, Tangerang Selatan, Indonesia

*Penulis korespondensi: 044916019@ecampus.ut.ac.id

ABSTRAK

Stunting merupakan isu kesehatan masyarakat yang masih menjadi tantangan krusial, khususnya bagi balita di wilayah pedesaan. Tujuan utama dari penelitian ini adalah mengembangkan model matematika dinamis berbasis SEIR untuk memvisualisasikan pengaruh pola asuh ibu terhadap risiko stunting pada balita di Desa XYZ. Parameter model ditentukan berdasarkan data sekunder dari Puskesmas Pembantu Desa XYZ bulan Oktober 2025. Metode penelitian meliputi pengembangan model, visualisasi melalui diagram alir, analisis kestabilan (titik ekuilibrium), serta simulasi numerik dengan program R melalui bantuan paket *deSolve*, *tidyr*, dan *ggplot2*. Empat skenario intervensi pola asuh (δ) disimulasikan secara numerik untuk menilai kecenderungan peningkatan atau penurunan jumlah balita stunting. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kondisi pola asuh aktual belum efektif untuk menekan kasus stunting karena hasil simulasi meningkat dari 43 balita menjadi sekitar 58 balita dalam 50 bulan. Meskipun peningkatan laju pemulihan (δ) memberikan perbaikan bertahap, skenario terbaik ($\delta = 0,1$) hanya menurunkan jumlah stunting menjadi sekitar 44 balita, masih jauh dari target pemerintah yakni 14% atau sekitar 26 balita. Temuan ini menegaskan bahwa perbaikan pola asuh saja belum memadai. Oleh karena itu, diperlukan intervensi tambahan penurunan parameter α yang merepresentasikan penularan secara tidak langsung akibat praktik pengasuhan dan lingkungan yang kurang optimal.

Kata kunci: analisis kestabilan, model SEIR, pola asuh ibu, simulasi numerik, stunting

1 PENDAHULUAN

Stunting merupakan masalah kesehatan masyarakat yang berdampak jangka panjang terhadap kualitas hidup generasi mendatang (Li et al., 2023). Mengatasi stunting merupakan investasi jangka panjang dalam meningkatkan kualitas sumber daya manusia, sebab setiap anak berhak mendapatkan kesempatan untuk tumbuh dan berkembang secara optimal, sesuai potensi biologisnya. Anak-anak yang tercukupi gizi cenderung memiliki kemampuan belajar yang lebih baik dan produktivitas yang lebih tinggi di masa depan. Oleh karena itu, intervensi stunting tidak hanya bermanfaat bagi individu tetapi juga berdampak signifikan terhadap kemajuan sosial dan ekonomi bangsa secara keseluruhan (Rendy & HS, 2025).

Berbagai upaya intervensi telah dilakukan, namun stunting masih menjadi persoalan serius di Desa XYZ karena angka kejadiannya belum menunjukkan penurunan yang berarti. Faktor pola asuh ibu memegang peranan penting pada kondisi ini, termasuk riwayat pemberian ASI, waktu pemberian MP-ASI, pemanfaatan pelayanan kesehatan, dan sanitasi lingkungan (Rita et al., 2019). Selain itu, catatan dari fasilitas kesehatan juga memperlihatkan adanya perubahan status gizi balita, mulai dari munculnya kasus baru hingga proses pemulihan. Temuan tersebut menegaskan bahwa stunting bukanlah keadaan statis, melainkan suatu proses dinamis yang melibatkan transisi status gizi dari sehat, berisiko, stunting, hingga kemungkinan pulih.

Penelitian ini penting karena belum ada studi yang memodelkan pengaruh pola asuh ibu terhadap dinamika stunting dengan memanfaatkan pendekatan SEIR. Simulasi dengan program R masih belum banyak diterapkan untuk menggambarkan perubahan status gizi anak dari waktu ke waktu. Studi pemodelan SEIR sebelumnya masih menggunakan Maple 18, MATLAB atau

Python dalam proses simulasinya (Pamungkas & Prasetya, 2024). Studi sebelumnya juga masih berfokus pada faktor risiko empiris atau variabel lain seperti sanitasi dan kesehatan mental (Hasmianti et al., 2023). Belum ada model yang menunjukkan bagaimana pola asuh ibu memengaruhi transisi balita dari stunting menjadi pulih, terutama di Desa XYZ.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model matematika dinamis berbasis SEIR yang menggambarkan pengaruh pola asuh ibu terhadap stunting pada anak di Desa XYZ. Melalui simulasi R, penelitian ini akan memvisualisasikan perubahan status gizi balita dari sehat menjadi stunting, serta menilai efektivitas berbagai tingkat intervensi pola asuh terhadap kecenderungan peningkatan atau penurunan kasus stunting. Hasil yang diperoleh dari pemodelan ini menjadi dasar rekomendasi bagi pemerintah desa dan tenaga kesehatan dalam perancangan program penanggulangan stunting yang efektif untuk mencapai target pemerintah 14% di tahun 2029.

2 METODE

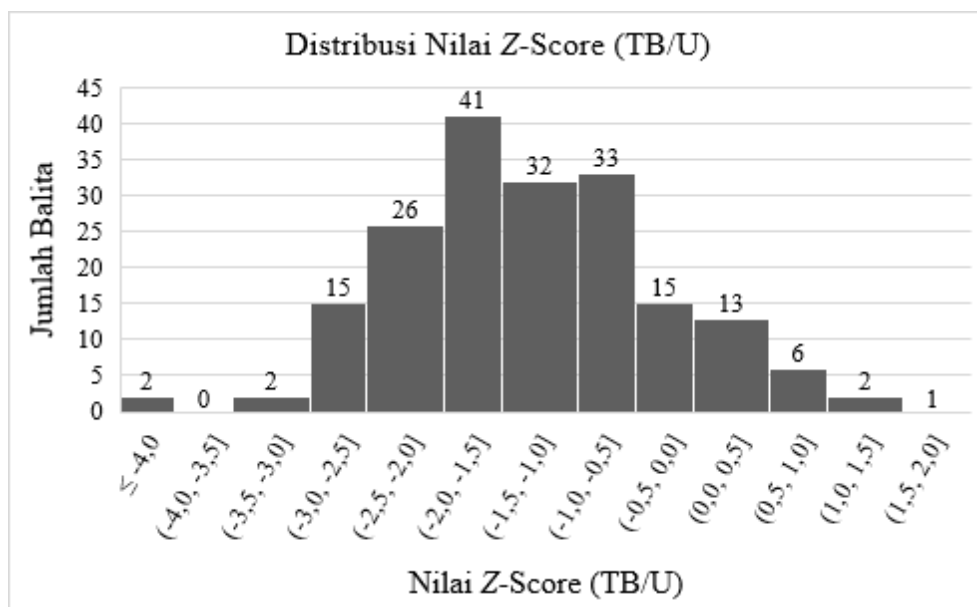
2.1 Sumber Data

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis dinamika stunting pada populasi balita. Metode yang digunakan adalah studi analisis data historis yang dikombinasikan dengan pemodelan matematika dinamik. Penelitian ini mengandalkan data sekunder yang berasal dari Puskesmas Pembantu Desa XYZ pada bulan Oktober 2025.

Data penelitian diekstrak dari tiga sumber utama, yaitu

1. Buku kohort balita menjadi sumber primer di mana nilai z-score (TB/U) dicatat untuk mengidentifikasi kasus stunting dan laju pemulihan balita.
2. Laporan bulanan Posyandu berisi daftar kehadiran dan data tambahan mengenai lingkungan, seperti sanitasi yang layak.
3. Buku KIA digunakan untuk mengekstrak data praktik pemberian makan seperti status pemberian ASI eksklusif dan Makanan Pendamping ASI (MP-ASI).

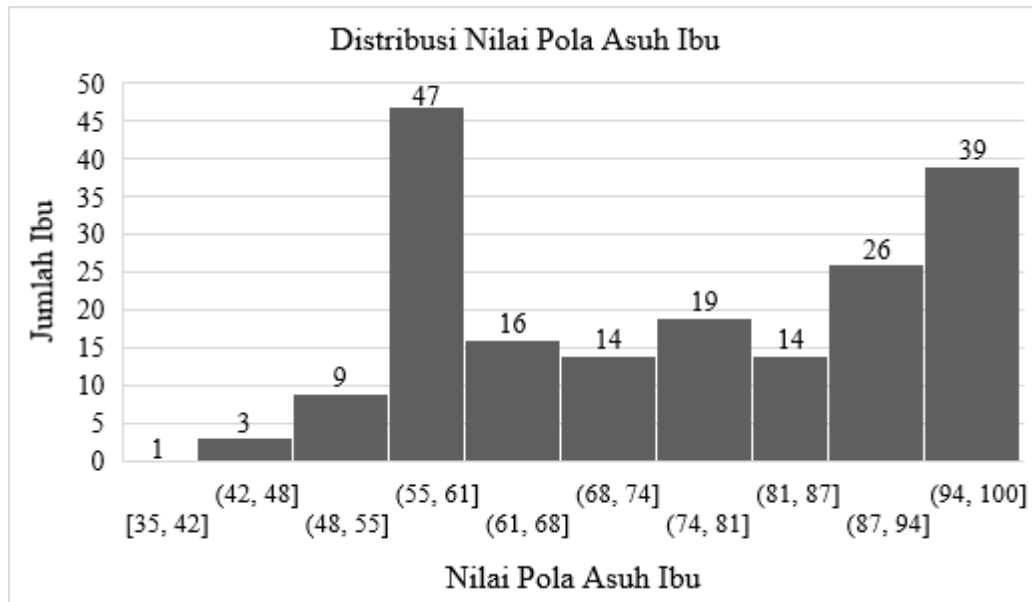
Data yang telah dikumpulkan selanjutnya disajikan dan dikelola menggunakan Microsoft Excel seperti dalam Gambar 1.



Gambar 1. Distribusi Nilai Z-Score (TB/U) Balita di Desa XYZ

Gambar 1 menunjukkan bahwa distribusi z-score (TB/U) balita di Desa XYZ cenderung negatif, yang menunjukkan risiko stunting tinggi. Sebagian besar balita memiliki z-score antara

−2,0 dan 0,0 yang menunjukkan bahwa mereka sangat rentan terhadap masalah gizi. Berdasarkan standar antropometri Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (2020) balita dengan nilai z-score < −2,0 dikategorikan sebagai stunting, dan jumlahnya mencapai 43. Sementara itu, hanya beberapa balita yang memiliki z-score positif (nilai z-score > 0,0), hal ini menegaskan bahwa masalah stunting tersebar luas di Desa XYZ.



Gambar 2. Distribusi Nilai Pola Asuh Ibu Balita di Desa XYZ

Histogram pada Gambar 2 menunjukkan sebaran nilai pola asuh ibu balita di Desa XYZ, di mana rentang nilai yang lebih tinggi mengindikasikan pola asuh yang lebih baik. Berdasarkan sebaran data, terlihat bahwa nilai pola asuh ibu di Desa XYZ tidak merata. Frekuensi tertinggi pola asuh berada pada rentang (54,5 – 61) dengan jumlah 47 ibu. Nilai pola asuh ibu tersebut diperoleh dari ketertiban hadir di Posyandu selama Januari-Oktober 2025, riwayat pemberian ASI eksklusif, usia pemberian MP-ASI pertama kali, frekuensi konsumsi protein hewani setiap minggu, serta praktik kebersihan.

Data tersebut kemudian digunakan untuk menentukan variabel populasi stunting dan laju perubahan status gizi. Selanjutnya, metode pemodelan matematika dinamik diterapkan untuk mengelompokkan balita ke dalam empat tahapan status gizi, yaitu: rentan, berisiko, stunting, dan pulih. Model dinamik ini kemudian dianalisis mengikuti langkah-langkah pembangunan model SEIR seperti yang diterapkan pada studi model SEIR terkait stunting sebelumnya (Pratama & Lismayani, 2023).

2.2 Model Matematika SEIR

Penelitian ini dilaksanakan melalui empat tahapan utama yaitu :

1. Pengembangan Model
Membangun model matematika SEIR dengan mengumpulkan informasi, data, dan asumsi untuk menetapkan batasan dan parameter yang relevan.
2. Visualisasi Model
Menyusun diagram alir model SEIR berdasarkan asumsi dan parameter yang telah ditetapkan pada langkah pertama.
3. Analisis Kestabilan
Menganalisis model secara teoritis dengan menentukan titik tetap ekuilibrium. Analisis ini dilakukan untuk memverifikasi kelayakan model sebelum digunakan dalam simulasi.
4. Simulasi Numerik

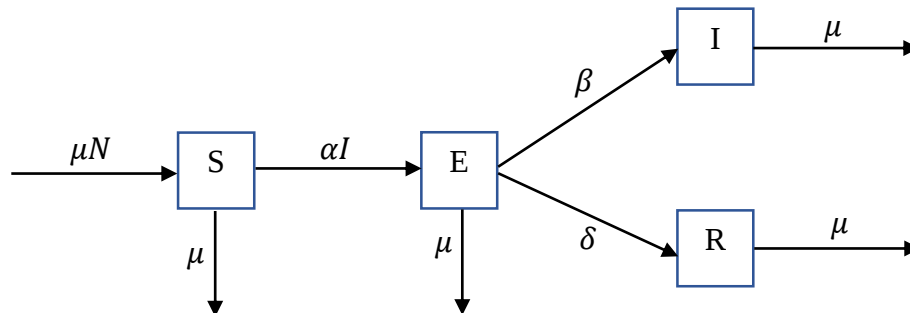
Menggunakan model SEIR yang telah tervalidasi untuk mensimulasikan pengaruh pola asuh ibu terhadap dinamika stunting. Simulasi ini dilakukan dengan bantuan program R. Untuk menjalankan simulasi ini, digunakan program R versi 4.5.2, serta paket (*package*) penting seperti *deSolve* (untuk menyelesaikan persamaan diferensial), *tidyr* (untuk merapikan data), dan *ggplot2* (untuk visualisasi data).

Model SEIR membagi populasi ke dalam empat kompartemen yaitu *Susceptible*, *Exposed*, *Infected*, dan *Recovered*. Dalam pembentukan model matematika SEIR kejadian stunting pada anak, ditetapkan asumsi-asumsi untuk membatasi dan memperjelas model yang akan dibentuk, yaitu :

$$N = S + E + I + R$$

1. Anak yang baru lahir akan menjadi rentan (S).
2. Anak dengan z-score antara -1 dan -2 akan menjadi berisiko (E).
3. Anak dengan z-score < -2 akan menjadi stunting (I).
4. Jumlah populasi konstan (laju kelahiran dan kematian diasumsikan sama) (μ).
5. Laju perubahan populasi dari S ke E karena adanya penularan secara tidak langsung dari anak yang terkena stunting (αI).
6. Laju Perubahan populasi dari E ke I karena kegagalan penanganan dan pola asuh yang kurang memadai (β).
7. Laju perubahan populasi dari E ke R karena perbaikan pola asuh (δ).

Berdasarkan asumsi-asumsi di atas, maka dibentuk model yang sesuai dengan model SEIR. Hubungan keempat populasi dapat disajikan dalam bagan berikut



Gambar 3. Diagram Alir Model SEIR Stunting Berbasis Pola Asuh Ibu

Diagram alir pada Gambar 3 menunjukkan dinamika model SEIR kasus stunting dengan mempertimbangkan faktor pola asuh ibu, di mana balita lahir masuk ke kompartemen rentan (S) melalui laju μN dan dapat berpindah menjadi terpapar (E) akibat penularan secara tidak langsung dari anak yang terkena stunting αI . Dari kompartemen E, balita memiliki dua kemungkinan alur, yaitu menjadi stunting aktif (I) dengan proporsi β sebagai bentuk kegagalan penanganan dan pola asuh yang kurang memadai, atau pulih (R) dengan proporsi δ , sesuai kualitas pola asuh yang diterima. Setiap kompartemen juga memiliki laju keluaran μ yang menggambarkan mortalitas alami. Secara keseluruhan, diagram ini menunjukkan bagaimana perubahan kualitas pola asuh ibu dapat memengaruhi risiko paparan, perkembangan stunting, serta potensi pemulihan balita dalam kerangka dinamika SEIR.

Berdasarkan Gambar 3, dapat dibentuk sistem persamaan model matematika SEIR seperti di bawah ini:

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= \mu N - (\alpha I + \mu)S \\ \frac{dE}{dt} &= \alpha SI - (\beta + \delta + \mu)E \end{aligned} \quad (1)$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta E - \mu I$$

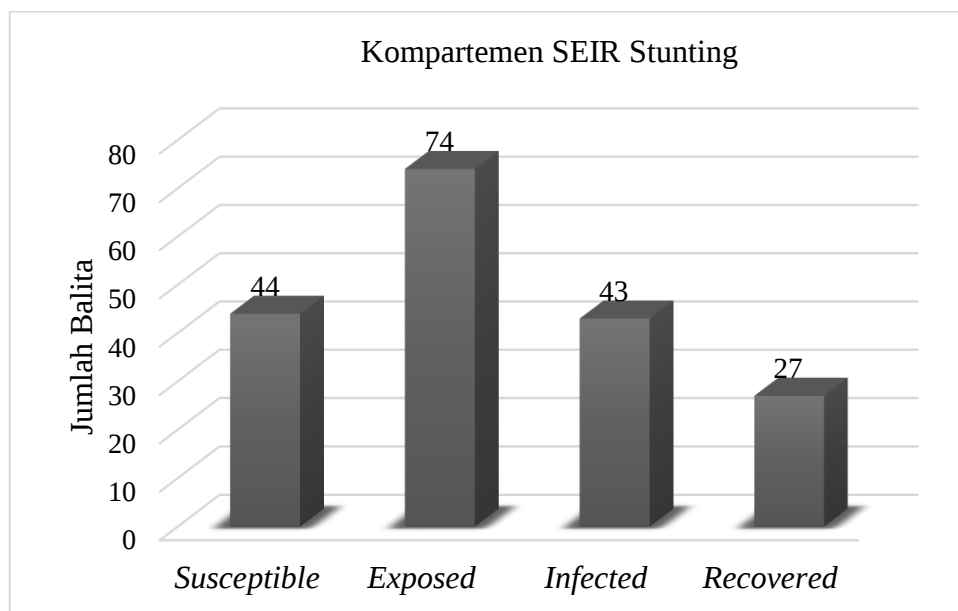
$$\frac{dR}{dt} = \delta E - \mu R$$

Tabel 1. Definisi Variabel dan Parameter

Parameter/ Variabel	Definisi
N	Total populasi balita di Desa XYZ
S	Populasi anak yang rentan
E	Populasi anak berisiko stunting
I	Populasi anak stunting aktif
R	Populasi anak yang pulih setelah intervensi pola asuh
μ	Laju kelahiran/kematian
α	Laju perubahan populasi dari S ke E karena penularan secara tidak langsung dari anak yang terkena stunting
β	Laju perubahan populasi dari E ke I karena kegagalan penanganan dan pola asuh yang kurang memadai
δ	Laju perubahan populasi dari E ke R karena perbaikan pola asuh

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengolahan data 188 balita di Microsoft Excel, maka diperoleh diagram sebagai berikut.



Gambar 4. Distribusi Balita Berdasarkan Kompartemen SEIR ($N = 188$)

Gambar 4 menunjukkan distribusi 188 balita ke dalam empat kompartemen model SEIR berdasarkan hasil pengolahan data. Pada kompartemen *Susceptible* (S) terdapat 44 balita yang rentan mengalami stunting. Kompartemen *Exposed* (E) merupakan kelompok terbesar dengan 74 balita yang berada pada kategori berisiko mengalami stunting. Sementara itu, kompartemen *Infected* (I) berjumlah 43 balita sebagai anak stunting aktif. Adapun kompartemen *Recovered* (R) berjumlah 27 balita, yaitu anak yang mengalami perbaikan status gizi setelah intervensi.

Secara keseluruhan, sebagian besar balita berada di tahap *Exposed* (E) yang mengindikasikan tingginya potensi peningkatan kasus stunting bila intervensi pengasuhan tidak ditingkatkan.

3.1. Analisis Model Teoritis

Transformasi dari persamaan (1)

Misalkan:

$$s = \frac{S}{N}, e = \frac{E}{N}, i = \frac{I}{N}, r = \frac{R}{N}$$

diperoleh

$$\begin{aligned}\frac{ds}{dt} &= \mu - (\alpha i + \mu)s \\ \frac{de}{dt} &= \alpha si - (\beta + \delta + \mu)e \\ \frac{di}{dt} &= \beta e - \mu i \\ \frac{dr}{dt} &= \delta e - \mu r\end{aligned}\tag{2}$$

3.1.1. Menentukan Titik Ekuilibrium Bebas Stunting (E_0)

Titik Ekuilibrium Bebas Stunting (E_0) adalah kondisi di mana tidak terdapat individu yang terinfeksi pada suatu populasi (Liza et al., 2024), maka diasumsikan $i = 0$.

$$\frac{ds}{dt} = 0, \frac{de}{dt} = 0, \frac{di}{dt} = 0, \frac{dr}{dt} = 0$$

$$\mu - (\alpha i + \mu)s = 0\tag{3}$$

$$\alpha si - (\beta + \delta + \mu)e = 0\tag{4}$$

$$\beta e - \mu i = 0\tag{5}$$

$$\delta e - \mu r = 0\tag{6}$$

Jika $i = 0$, maka persamaan (4)

$$\alpha si - (\beta + \delta + \mu)e = 0$$

$$0 - (\beta + \delta + \mu)e = 0$$

$$e = 0 \text{ (karena } \beta + \delta + \mu > 0)$$

Dari persamaan (3) diperoleh

$$\mu - (\alpha i + \mu)s = 0$$

$$\mu - (0 + \mu)s = 0$$

$$\mu - \mu s = 0$$

$$\mu(1 - s) = 0$$

$$1 - s = 0 \text{ (karena } \mu > 0)$$

$$s = 1$$

Dari persamaan (6) diperoleh

$$\delta e - \mu r = 0$$

$$- \mu r = 0$$

$$r = 0 \text{ (karena } \mu > 0)$$

Sehingga diperoleh titik ekuilibrium bebas stunting $(s, e, i, r) = (1, 0, 0, 0)$.

Hal ini menunjukkan bahwa proporsi populasi balita pada keadaan rentan adalah 1 (100%), sedangkan proporsi balita pada kompartemen terpapar, stunting aktif, dan pulih semuanya bernilai nol. Secara biologis, titik ini menggambarkan situasi ideal di mana tidak terdapat kasus stunting dalam populasi dan tidak ada individu yang sedang dalam proses terpapar maupun pemulihan.

3.1.2. Menentukan Titik Ekuilibrium Stunting (E_s)

Titik ekuilibrium endemik diperoleh jika $i \neq 0$ yang menunjukkan bahwa terdapat populasi yang terkena stunting aktif.

Jika $i \neq 0$, maka persamaan (3)

$$\begin{aligned}\mu - (\alpha i + \mu)s &= 0 \\ -(\alpha i + \mu)s &= -\mu \\ s &= \frac{\mu}{\alpha i + \mu}\end{aligned}$$

Dari persamaan (5) diperoleh

$$\begin{aligned}\beta e - \mu i &= 0 \\ \beta e &= \mu i \\ e &= \frac{\mu i}{\beta}\end{aligned}$$

Dari persamaan (6) diperoleh

$$\begin{aligned}\delta e - \mu r &= 0 \\ -\mu r &= -\delta e \\ r &= \frac{\delta e}{\mu}\end{aligned}$$

Substitusi $e = \frac{\mu i}{\beta}$

$$\begin{aligned}r &= \frac{\delta e}{\mu} \\ r &= \frac{\delta}{\mu} \times \frac{\mu i}{\beta} \\ r &= \frac{\delta i}{\beta}\end{aligned}$$

Substitusi $s = \frac{\mu}{\alpha i + \mu}$ dan $e = \frac{\mu i}{\beta}$ ke persamaan (4)

$$\begin{aligned}\alpha si - (\beta + \delta + \mu)e &= 0 \\ \alpha i \times \frac{\mu}{\alpha i + \mu} - (\beta + \delta + \mu) \left(\frac{\mu i}{\beta} \right) &= 0 \\ \frac{\alpha \mu i}{\alpha i + \mu} - \frac{\mu i (\beta + \delta + \mu)}{\beta} &= 0 \\ \frac{\alpha \mu i \beta - \mu i (\alpha i + \mu) (\beta + \delta + \mu)}{(\alpha i + \mu) \beta} &= 0 \\ \mu i [\alpha \beta - (\alpha i + \mu) (\beta + \delta + \mu)] &= 0\end{aligned}$$

$\mu > 0$ dan $i \neq 0$ untuk titik endemik, maka

$$\begin{aligned}\alpha \beta - (\alpha i + \mu) (\beta + \delta + \mu) &= 0 \\ (\alpha i + \mu) (\beta + \delta + \mu) &= \alpha \beta \\ \alpha i + \mu &= \frac{\alpha \beta}{\beta + \delta + \mu} \\ \alpha i &= \frac{\alpha \beta}{\beta + \delta + \mu} - \mu \\ \alpha i &= \frac{\alpha \beta - \mu (\beta + \delta + \mu)}{\beta + \delta + \mu} \\ i^* &= \frac{\alpha \beta - \mu (\beta + \delta + \mu)}{\alpha (\beta + \delta + \mu)}\end{aligned}$$

Dengan syarat $\alpha \beta > \mu (\beta + \delta + \mu)$ agar $i^* > 0$

Substitusi (i^*) ke s

$$s = \frac{\mu}{\alpha i + \mu}$$

$$s^* = \frac{\mu}{\alpha \left(\frac{\alpha\beta - \mu(\beta + \delta + \mu)}{\alpha(\beta + \delta + \mu)} \right) + \mu}$$

$$s^* = \frac{\mu}{\frac{\alpha\beta - \mu(\beta + \delta + \mu) + \mu(\beta + \delta + \mu)}{(\beta + \delta + \mu)}}$$

$$s^* = \frac{\mu(\beta + \delta + \mu)}{\alpha\beta}$$

Substitusi (i^*) ke e

$$e = \frac{\mu i}{\beta}$$

$$e^* = \frac{\mu}{\beta} \times \frac{\alpha\beta - \mu(\beta + \delta + \mu)}{\alpha(\beta + \delta + \mu)}$$

$$e^* = \frac{\mu[\alpha\beta - \mu(\beta + \delta + \mu)]}{\alpha\beta(\beta + \delta + \mu)}$$

Substitusi (i^*) ke r

$$r = \frac{\delta i}{\beta}$$

$$r^* = \frac{\delta}{\beta} \times \frac{\alpha\beta - \mu(\beta + \delta + \mu)}{\alpha(\beta + \delta + \mu)}$$

$$r^* = \frac{\delta[\alpha\beta - \mu(\beta + \delta + \mu)]}{\alpha\beta(\beta + \delta + \mu)}$$

Maka titik ekuilibrium stunting

$$(E_\varepsilon) = \left\{ s^* = \frac{\mu(\beta + \delta + \mu)}{\alpha\beta}, e^* = \frac{\mu[\alpha\beta - \mu(\beta + \delta + \mu)]}{\alpha\beta(\beta + \delta + \mu)}, i^* = \frac{\alpha\beta - \mu(\beta + \delta + \mu)}{\alpha(\beta + \delta + \mu)}, r^* = \frac{\delta[\alpha\beta - \mu(\beta + \delta + \mu)]}{\alpha\beta(\beta + \delta + \mu)} \right\}$$

Dengan syarat $\alpha\beta > \mu(\beta + \delta + \mu)$.

3.1.3. Menghitung Bilangan Reproduksi Dasar (R_0)

a) Infeksi baru (F)

- E dapat infeksi baru sehingga $F_e = \alpha si$
 - I tidak menghasilkan kasus baru secara langsung (kasus I muncul dari E) sehingga $F_i = 0$
- Vektor $F(x)$ untuk $x = (e, i)^T$

$$F(x) = \begin{pmatrix} F_e \\ F_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha si \\ 0 \end{pmatrix}$$

Matriks Jacobian F adalah turunan parsial dari $F(x)$ terhadap kompartemen infeksi $x = (e, i)^T$, kemudian dievaluasi di titik ekuilibrium bebas penyakit E_0 dengan $s = 1$.

$$F = \begin{pmatrix} \frac{\partial F_e}{\partial e} & \frac{\partial F_e}{\partial i} \\ \frac{\partial F_i}{\partial e} & \frac{\partial F_i}{\partial i} \end{pmatrix} \bigg|_{s=1} = \begin{pmatrix} \frac{\partial(\alpha is)}{\partial e} & \frac{\partial(\alpha si)}{\partial i} \\ \frac{\partial(0)}{\partial e} & \frac{\partial(0)}{\partial i} \end{pmatrix} \bigg|_{s=1} = \begin{pmatrix} 0 & \alpha s \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \bigg|_{s=1} = \begin{pmatrix} 0 & \alpha \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

b) Transisi (V)

- Dari E keluar dengan laju $(\beta + \delta + \mu)e$ sehingga $V_e = (\beta + \delta + \mu)e$
- Dari I keluar dengan laju μi , serta masuk dari E sebesar βe sehingga $V_i = \mu i - \beta e$

$$V(x) = \begin{pmatrix} V_e \\ V_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (\beta + \delta + \mu)e \\ \mu i - \beta e \end{pmatrix}$$

Matriks Jacobian V adalah turunan parsial dari $V(x)$ terhadap kompartemen infeksi $x = (e, i)^T$, kemudian dievaluasi di DFE .

$$V = \begin{pmatrix} \frac{\partial V_e}{\partial e} & \frac{\partial V_e}{\partial i} \\ \frac{\partial V_i}{\partial e} & \frac{\partial V_i}{\partial i} \end{pmatrix} \Big|_{DFE}$$

$$V = \begin{pmatrix} \frac{\partial((\beta + \delta + \mu)e)}{\partial e} & \frac{\partial((\beta + \delta + \mu)e)}{\partial i} \\ \frac{\partial(\mu i - \beta e)}{\partial e} & \frac{\partial(\mu i - \beta e)}{\partial i} \end{pmatrix} \Big|_{DFE}$$

$$V = \begin{pmatrix} \beta + \delta + \mu & 0 \\ -\beta & \mu \end{pmatrix}$$

Maka

$$V^{-1} = \frac{1}{\mu(\beta + \delta + \mu)} \begin{pmatrix} \mu & 0 \\ \beta & \beta + \delta + \mu \end{pmatrix}$$

c) Bilangan Reproduksi Dasar

R_0 menyatakan angka reproduksi dasar pada model SEIR stunting yang menyatakan jumlah rata-rata balita baru yang berisiko menjadi stunting akibat keberadaan satu balita stunting (I) pada kondisi populasi sepenuhnya rentan. Nilai R_0 menggambarkan kemampuan risiko stunting untuk menyebar secara tidak langsung melalui lingkungan, perilaku rumah tangga, dan pola pengasuhan. R_0 dapat diperoleh dengan menggunakan metode *Next Generation Matrix* (Sinaga et al., 2021).

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

$$K = \frac{1}{\mu(\beta + \delta + \mu)} \begin{pmatrix} 0 & \alpha \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mu & 0 \\ \beta & \beta + \delta + \mu \end{pmatrix}$$

$$K = \frac{1}{\mu(\beta + \delta + \mu)} \begin{pmatrix} \alpha\beta & \alpha(\beta + \delta + \mu) \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$K = \begin{pmatrix} \frac{\alpha\beta}{\mu(\beta + \delta + \mu)} & \frac{\alpha}{\mu} \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Bilangan reproduksi dasar adalah nilai eigen terbesar dari matriks K (Resmawan & Nurwan, 2017) sehingga

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

3.1.4. Analisis Kestabilan

Berdasarkan sistem persamaan (2), dapat ditentukan matriks Jacobi sebagai berikut.

$$J(s, e, i, r) = \begin{bmatrix} -(\alpha i + \mu) & 0 & -\alpha s & 0 \\ \alpha i & -(\beta + \delta + \mu) & \alpha s & 0 \\ 0 & \beta & -\mu & 0 \\ 0 & \delta & 0 & -\mu \end{bmatrix}$$

$$J((E_0)) = \begin{bmatrix} -\mu & 0 & -\alpha & 0 \\ 0 & -(\beta + \delta + \mu) & \alpha & 0 \\ 0 & \beta & -\mu & 0 \\ 0 & \delta & 0 & -\mu \end{bmatrix}$$

- baris/kolom s dan r masing-masing punya nilai eigen $-\mu < 0$ (jelas stabil)

- perilaku infeksi ditentukan oleh submatriks untuk e dan i .

$$J_I = \begin{pmatrix} -(\beta + \delta + \mu) & \alpha \\ \beta & -\mu \end{pmatrix}$$

$$tr(J_I) = -(\beta + \delta + \mu) + (-\mu) = -(\beta + \delta + 2\mu)$$

$$det(J_I) = -(\beta + \delta + \mu)(-\mu) - \alpha\beta = \mu(\beta + \delta + \mu) - \alpha\beta$$

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

$$det(J_I) = \mu(\beta + \delta + \mu) - (R_0\mu(\beta + \delta + \mu)) = \mu(\beta + \delta + \mu)(1 - R_0)$$

Maka

$$\lambda^2 - tr(J_I)\lambda + det(J_I) = 0$$

$$\lambda^2 - (-(\beta + \delta + 2\mu))\lambda + \mu(\beta + \delta + \mu)(1 - R_0) = 0$$

$$\lambda^2 + (\beta + \delta + 2\mu)\lambda + \mu(\beta + \delta + \mu)(1 - R_0) = 0$$

Menurut kriteria Routh–Hurwitz (Sofyan et al., 2025), persamaan karakteristik $\lambda^2 + a_1\lambda + a_2 = 0$ bersifat stabil asimtotik jika dan hanya jika $a_1 > 0$ dan $a_2 > 0$

$$a_1 = \beta + \delta + 2\mu$$

Karena $\beta, \delta, \mu > 0$ maka $a_1 > 0$ terpenuhi

$$a_2 = \mu(\beta + \delta + \mu)(1 - R_0)$$

Karena $\beta, \delta, \mu > 0$ maka tanda a_2 ditentukan oleh $(1 - R_0)$

Berdasarkan kriteria Routh–Hurwitz, titik ekuilibrium bebas stunting R_0 bersifat stabil asimtotik apabila $R_0 < 1$, yang berarti risiko stunting tidak dapat mempertahankan penyebarannya dalam populasi. Sebaliknya, jika $R_0 > 1$, maka R_0 menjadi tidak stabil dan sistem bergerak menuju kondisi endemik, menunjukkan bahwa risiko stunting mampu menyebar secara berkelanjutan dalam populasi.

3.2. Simulasi Model

Simulasi numerik dijalankan menggunakan perangkat lunak R dengan memanfaatkan nilai kompartemen (Tabel 2), parameter dasar model SEIR (Tabel 3), serta variasi nilai δ sebagai skenario peningkatan kualitas pola asuh (Tabel 4).

Tabel 2. Nilai Kompartemen Model SEIR

Variabel	Jumlah Balita	Sumber
S	44	Puskesmas Pembantu Desa XYZ
E	74	Puskesmas Pembantu Desa XYZ
I	43	Puskesmas Pembantu Desa XYZ
R	27	Puskesmas Pembantu Desa XYZ

Tabel 3. Parameter Dasar Model SEIR

Parameter	Nilai	Sumber
μ	0,0050	Kantor Desa XYZ
α	0,0005	Puskesmas Pembantu Desa XYZ
β	0,0135	Puskesmas Pembantu Desa XYZ
δ	0,0270	Puskesmas Pembantu Desa XYZ

Parameter μ pada Tabel 3 diperoleh dari Kantor Desa XYZ, sedangkan parameter α , β , dan δ diperoleh dari pendekatan selisih populasi kompartemen SEIR pada bulan Oktober dan November. Di mana selisih populasi I adalah 1, selisih populasi R adalah 2, dan selisih populasi E adalah 1. Sehingga, berdasarkan persamaan (1) diperoleh

$$\alpha = \frac{\Delta E}{S \times I} = \frac{1}{44 \times 43} = 0,0005$$

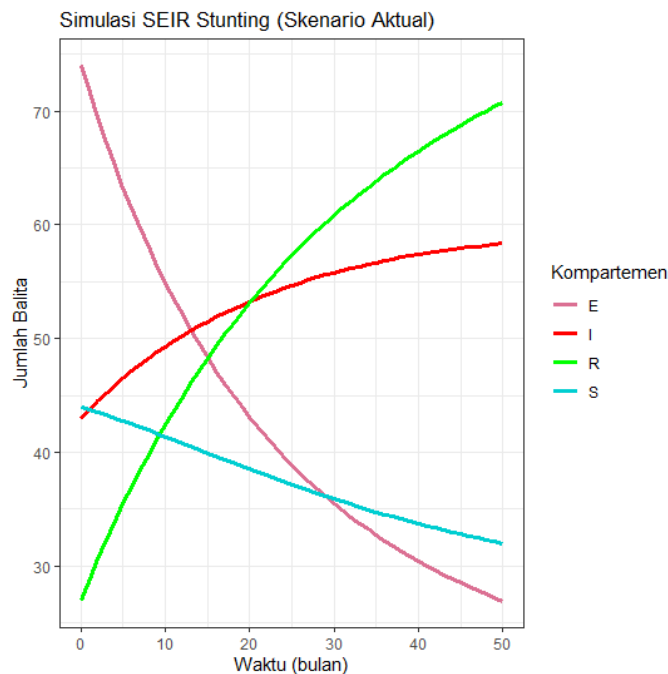
$$\beta = \frac{\Delta I}{E} = \frac{1}{74} = 0,0135$$

$$\delta = \frac{\Delta R}{E} = \frac{2}{74} = 0,0270$$

Tabel 4. Parameter δ untuk Simulasi Skenario Pola Asuh

Skenario	Nilai δ	Deskripsi
1	0,0270	Kondisi pola asuh yang terjadi di lapangan
2	0,0405	Perbaikan pola asuh ringan
3	0,0676	Perbaikan pola asuh sedang
4	0,1000	Perbaikan pola asuh intensif

Berdasarkan nilai kompartemen dan parameter dasar, grafik simulasi yang dihasilkan adalah sebagai berikut.

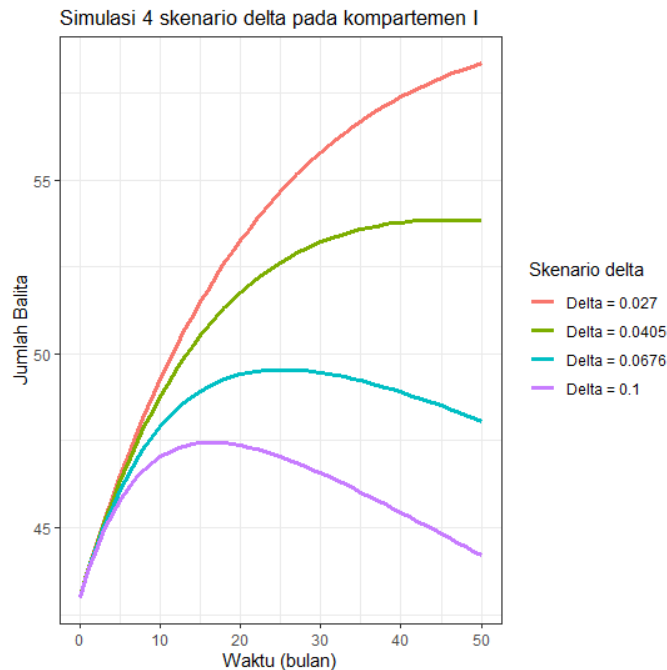


Gambar 5. Simulasi SEIR Stunting (Skenario Aktual)

Grafik simulasi SEIR tersebut menggambarkan perkembangan stunting pada kondisi aktual dengan menggunakan nilai awal populasi $S = 44$, $E = 74$, $I = 43$, dan $R = 27$, dengan parameter $\mu = 0,005$, $\alpha = 0,0005$, $\delta = 0,027$, dan $\beta = 0,0135$. Pada kondisi nilai awal ini, jumlah balita stunting (I) tidak menurun tetapi justru meningkat perlahan dari titik awal 43 balita menjadi sekitar 58 balita dalam 50 bulan. Sementara itu, kompartemen rentan (S) menunjukkan penurunan yang konsisten dan kompartemen pulih (R) meningkat cukup tajam.

Perpindahan dari E ke I tetap lebih tinggi dibandingkan laju pemulihan. Kondisi ini menyebabkan peningkatan pada kelompok pulih belum cukup untuk menekan pertambahan kasus baru. Dengan nilai awal populasi dan parameter yang digunakan, hasil model masih bergerak menuju peningkatan populasi stunting. Akibatnya, target penurunan angka stunting hingga 14% dalam 50 bulan belum dapat dicapai pada kondisi awal. Oleh karena itu, perbaikan pola asuh perlu ditingkatkan agar jumlah balita stunting dapat mulai bergerak menuju penurunan.

Kemudian dilakukan simulasi sesuai dengan Tabel 4 yaitu dengan $\delta = 0,0270$; $0,0405$; $0,0676$; dan $0,1000$



Gambar 6. Simulasi Model SEIR untuk Skenario δ pada Kompartemen I

Hasil analisis terhadap grafik menunjukkan bahwa peningkatan laju pemulihan (δ) memberikan dampak dalam menurunkan jumlah balita stunting pada bulan ke-50. Pada kondisi awal lapangan ($\delta = 0,027$), jumlah balita stunting meningkat dari 43 balita menjadi sekitar 58 balita (31%). Ketika nilai δ ditingkatkan secara bertahap menjadi $0,0405$ dan $0,0676$, jumlah balita stunting menurun menjadi 54 balita (29%) dan 48 balita (26%). Bahkan pada skenario intensif ($\delta = 0,1$), jumlah balita stunting hanya turun hingga 44 balita (24%), masih jauh di atas target 14% (sekitar 26 balita). Oleh karena itu, perlu strategi tambahan, seperti penekanan penularan stunting secara tidak langsung.

4 KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa model SEIR menggambarkan kecenderungan peningkatan jumlah balita stunting dari waktu ke waktu di Desa XYZ. Berdasarkan dua rangkaian simulasi model SEIR, kondisi pola asuh yang berlangsung di lapangan belum mampu menurunkan jumlah balita stunting, terlihat dari peningkatan kasus dari 43 menjadi sekitar 58 balita dalam 50 bulan pada skenario aktual. Sementara itu, empat skenario peningkatan laju pemulihan ($\delta = 0,027$; $0,0405$; $0,0676$; $0,1$) memberikan perbaikan bertahap, namun bahkan skenario terbaik ($\delta = 0,1$) hanya mampu menurunkan jumlah balita stunting menjadi sekitar 44 balita, yang masih jauh dari target pemerintah 14% atau sekitar 26 balita. Hal ini menunjukkan bahwa intervensi perbaikan pola asuh saja belum cukup untuk menghasilkan penurunan stunting yang signifikan. Oleh karena itu, peningkatan pemulihan perlu disertai strategi tambahan untuk menekan risiko perpindahan ke kelompok stunting, terutama melalui penurunan parameter α yang merepresentasikan penularan stunting secara tidak langsung akibat pola asuh, lingkungan rumah tangga, dan praktik pengasuhan yang kurang optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Puskesmas Pembantu Desa XYZ atas izin, bantuan, dan dukungan dalam penyediaan data serta informasi yang diperlukan selama

pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh pihak yang telah berkontribusi sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Hasmianti, S. S. A., Pratama, M. I., Dewi, A. S. K., Taufiqurahman, M., & Sakinah, N. (2023). ANALISIS MODEL MATEMATIKA DALAM MENEMUKAN SOLUSI PERMASALAHAN STUNTING AKIBAT KESEHATAN MENTAL MASYARAKAT DI KABUPATEN JENEPONTO. *Proximal: Jurnal Penelitian Matematika Dan Pendidikan Matematika*, 7(1), 44–55. <https://doi.org/10.30605/proximal.v7i1.3133>
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2020). *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2020 tentang tentang Standar Antropometri Anak*. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/152505/permenkes-no-2-tahun-2020>
- Li, S., Nor, N. M., & Kaliappan, S. R. (2023). Long-term effects of child nutritional status on the accumulation of health human capital. *SSM - Population Health*, 24. <https://doi.org/10.1016/j.ssmph.2023.101533>
- Liza, T. D., Firmansyah, & Panjaitan, D. J. (2024). ANALISIS KESTABILAN MODEL SEIR UNTUK PENYEBARAN COVID-19 DENGAN PARAMETER VAKSINASI. *SEPREN: Journal of Mathematics Education and Applied*, 06(01), 18–27. <https://doi.org/https://doi.org/10.36655/sepren.v4i1>
- 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://doi.org/10.62951/ijsme.v1i2.58>
- Pratama, M. I., & Lismayani, A. (2023). SIMULASI PEMODELAN MATEMATIKA SEIR TERHADAP PENGARUH SANITASI PADA KASUS STUNTING DI INDONESIA. *Proximal: Jurnal Penelitian Matematika Dan Pendidikan Matematika*, 6(1), 224–231. <https://doi.org/10.30605/proximal.v6i1.2230>
- Rendy, M., & HS, M. H. (2025). PERAN PEMERINTAH DALAM MENGATASI STUNTING: UPAYA BERSAMA UNTUK PERTUMBUHAN DAN PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN. 1(4), 227–233. <https://doi.org/10.24716/4afcf42>
- Resmawan, & Nurwan. (2017). Konstruksi Bilangan Reproduksi Dasar pada Model Epidemik SEIRS-SEI Penyebaran Malaria dengan Vaksinasi dan Pengobatan. *Jurnal Matematika Integratif*, 13(2), 105–114. <https://doi.org/10.24198/jmi.v13.n2.12332.105-114>
- Rita, W., Anita, B., Hidayah, N., Podesta, F., Ardiansyah, S., Subeqi, A. T., Nasution, S. L., & Riastuti, F. (2019). Hubungan pola asuh dengan kejadian stunting (rekomenadasi pengendaliannya di Kabupaten Lebong). *Riset Informasi Kesehatan*, 8(2). <https://doi.org/10.30644/rik.v8i2.237>
- Sinaga, L. P., Kartika, D., & Nasution, H. (2021). *Pengantar Sistem Dinamik* (T. Trisnawati (ed.)). Penerbit Amal Insani. https://www.google.co.id/books/edition/Pengantar_Sistem_Dinamik/N0NTEAAAQBAJ?hl=id&gbpv=1
- Sofyan, A., Budiawan, M. A., Wunarlan, I., Muhlis, L. O., Syafar, A. M., Agus, S., Amalia, A. I., & Dwiyanto, A. R. (2025). *Matematika Teknik* (Arif Rifai Dwiyanto & Muhammad Agus Budiawan (eds.)). MEGA PRESS NUSANTARA. https://www.google.co.id/books/edition/Matematika_Teknik/Ki9oEQAAQBAJ?hl=id&gbpv=0