

# Perbandingan Metode RK5 dan ABM4 Dalam Penyelesaian Sistem Persamaan Diferensial Nonlinear (Studi Kasus: Laju Transmisi Virus Corona di Sulawesi Selatan)

St. Hasna Nurfitriani

Program Studi Matematika, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, sthasnanurfitriani29@icloud.com

Try Azisah Nurman

Program Studi Matematika, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, try.azisah@uin-alauddin.ac.id

Ilham Syata

Program Studi Matematika, Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar, ilham.syata@uin-alauddin.ac.id

\*Corresponding Author

---

**ABSTRAK**, Penelitian ini membahas terkait perbandingan solusi metode RK5 dan ABM4 pada model SEIR-NDC dari transmisi virus corona (*covid-19*). Langkah-langkah penelitian adalah mengambil data dari dinas kesehatan dan asumsi peneliti, membuat formula dari model SEIR-NDC, mencari solusi numerik metode RK5 dan ABM4, membandingkan galat kedua metode tersebut. Model matematika transmisi virus corona berbentuk sistem persamaan diferensial yang mencakup variabel S (*Susceptible*), E (*Exposed*), I (*Infectious*), R (*Removed*), N, D, dan C. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa metode ABM4 lebih akurat digunakan dibandingkan dengan metode RK5 dan jumlah orang yang terinfeksi meningkat pada 100 hari kedepan.

**Kata Kunci:** RK5, ABM4, Model SEIR-NDC, Covid-19.

---

## 1. PENDAHULUAN

Evolusi kehidupan menuntut adanya perubahan yang lebih baik dalam ilmu pengetahuan baik itu di bidang sains dan teknologi, ekonomi, penyakit, maupun bidang yang lain [1]. Dalam bidang penyakit, penyakit baru yang berkembang saat ini adalah covid-19, yang mudah menyebar ke orang lain. infeksi virus corona dapat menyebabkan gejala mirip flu (seperti pilek, sakit kepala, batuk disertai dahak, sakit tenggorokan dan demam, atau gejala infeksi saluran pernapasan berat seperti demam tinggi), sesak nafas dan nyeri dada [2].

Munculnya virus corona yang bermula di China telah menempatkan seluruh dunia dalam situasi yang sangat mengkhawatirkan. Penanganan covid-19 ini segera di ambil alih oleh pihak WHO untuk dilakukan penanganan yang ketat disebabkan karena penyebarannya yang sangat cepat dan mudah menular ke orang lain. Pada Januari 2020, WHO [3] telah menyatakan COVID-19 sebagai pandemi global. WHO [3] menyatakan pada 8 Februari 2021, sebanyak 1.157.837 orang dinyatakan positif COVID-19, dengan rincian sembuh sebanyak

949.990 orang dan meninggal 31.556 orang. Menurut rekomendasi WHO [12], perlindungan dasar untuk mencegah infeksi COVID-19 adalah mencuci tangan dengan sabun atau menggunakan hand sanitizer, menjaga jarak, menjauhi keramaian dan memakai masker [3].

Beberapa penelitian tentang Covid-19 yaitu Pratiwi [2] membahas tentang kajian matematis dan pendidikan atas model transmisi penyakit virus corona 2019 (covid-19). Fardinah [4] membahas tentang solusi persamaan diferensial biasa dengan metode Runge Kutta orde 5. Abdullah [5] membahas tentang penerapan metode Adams Bashfort Moulton pada persamaan logistik dalam memprediksi pertumbuhan penduduk provinsi sulawesi selatan. Hanifah [6] membahas tentang analisis model getaran pegas teredam dengan metode Adams-Bashfort-Moulton dan Runge-Kutta.

Masalah epidemi dapat disederhanakan dengan model matematika dan diselesaikan dengan metode numerik atau analitik. Dalam penelitian ini, model matematika yang digunakan adalah model SEIR-NDC. Model tersebut adalah evolusi dari model SEIR kemudian ditambahkan variabel N, D dan C. model tersebut masih terlalu asing dipelajari secara ekstensif dan model ini juga memiliki parameter lain yang cukup banyak. Namun, banyak model-model matematika yang biasanya tidak dapat diselesaikan secara analitik, sehingga dalam penelitian ini menggunakan metode numerik yaitu metode RK5 dan ABM4.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### Pemodelan matematika

Pemodelan matematika adalah bidang matematika yang berusaha untuk mempresentasikan dan menjelaskan sistem-

sistem fisik atau problem pada dunia real dalam pernyataan matematika sehingga diperoleh pemahaman dari problem dunia real ini menjadi lebih tepat. Adapun suatu model dibidang biologi seperti model pandemi yang dimodelkan kedalam bentuk persamaan diferensial. Model matematika secara umum didefinisikan sebagai rumus yang mewakili aspek-aspek kunci dari sistem fisik atau proses. Hasil model matematika berupa persamaan, sistem persamaan, pertidaksamaan, dan lain sebagainya [2].

### Persamaan Diferensial

Persamaan diferensial adalah persamaan yang memuat turunan satu atau beberapa fungsi yang tak diketahui. Persamaan diferensial dapat diselesaikan dengan dua cara yaitu secara analitik dan numerik. Penyelesaian numerik adalah penyelesaian yang menghasilkan dua bentuk solusi yaitu bentuk eksplisit dan implisit, sedangkan numerik adalah penyelesaian yang berupa hampiran [7].

Berikut bentuk umum persamaan diferensial:

$$\frac{dy}{dx} = y \quad (2.1)$$

Penyelesaian dari persamaan tersebut adalah [8].:

$$y = C e^x \quad (2.2)$$

### Metode Numerik

Metode numerik merupakan sebuah teknik penyelesaian pada permasalahan yang telah dirumuskan atau disusun dimana penyusunannya tersebut ditulis secara matematis dengan menggunakan operasi hitungan aritmatika (kurang, tambah, kali, dan bagi). Metode ini pada umumnya dipakai karena banyaknya permasalahan matematis yang sulit dipecahkan menggunakan metode analitik. Meskipun masalah tersebut dapat dipecahkan secara analitik, proses penyelesaian masalah tersebut sangat rumit dan menghabiskan banyak waktu sehingga menjadi tidak efisien [6].

Adapun beberapa metode numerik yang digunakan dalam penelitian yaitu sebagai berikut:

#### 1. Metode Runge Kutta Orde Lima (RK5)

Metode RK5 adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan masalah persamaan diferensial berupa masalah nilai awal. Masalah nilai awal adalah persamaan diferensial yang melibatkan nilai awal (nilai awal adalah

syarat batas dalam statistika) yang berbentuk  $y' = f(x, y)$  dengan sebuah nilai awal  $y(x_0) = y_0$ , dengan fungsi  $f$  bergantung pada  $x$  dengan  $y$ .

Bentuk umum persamaan metode runge kutta orde lima yaitu sebagai berikut [4]:

$$y_{r+1} = y_r + \frac{1}{90} [7k_1 + 32k_3 + 12k_4 + 32k_5 + 7k_6]h$$

Dengan:

$$k_1 = f(x_r, y_r)$$

$$k_2 = f\left(x_r + \frac{1}{4}h, y_r + \frac{1}{4}hk_1\right)$$

$$k_3 = f\left(x_r + \frac{1}{4}h, y_r + \frac{1}{8}hk_1 + \frac{1}{8}hk_2\right)$$

$$k_4 = f\left(x_r + \frac{1}{2}h, y_r - \frac{1}{2}hk_2 + hk_3\right)$$

$$k_5 = f\left(x_r + \frac{3}{4}h, y_r - \frac{3}{16}hk_1 + \frac{9}{16}hk_4\right)$$

$$k_6 = f\left(x_r + h, y_r - \frac{3}{7}hk_1 + \frac{2}{7}hk_2 + \frac{12}{7}hk_3 - \frac{12}{7}hk_4 + \frac{8}{7}hk_5\right)$$

Dimana  $r = 0, 1, 2, \dots, n$  dan  $h = x_{r+1} - x_r$

#### 2. Metode Adams Bashfort Moulton Orde Empat (ABM4)

##### Metode Adams Bashfort

Misalnya terdapat persamaan diferensial tak linear orde satu  $y' = f(x, y(x))$ . Jika terdapat fungsi  $x_n$  sampai dengan  $x_{n+1} = x_n + h$  yang diintegrasikan terhadap persamaan PDB sebelumnya maka menjadi,

$$y_{n+1} = y_n + \int_{x_n}^{x_{n+1}} f(x, y(x)) dx \quad (2.3)$$

Persamaan (2.3) termasuk interpolasi beda terbagi Newton. Maka dapat ditulis dengan menggunakan interpolasi polinomial berderajat tiga yaitu:

$$P_3(x) = f_n + r\nabla f_n + \frac{1}{2}r(r+1)\nabla^2 f_n + \frac{1}{6}r(r+1)(r+2)\nabla^3 f_n$$

Dengan  $r = \frac{x-x_n}{h}$ , kemudian polynomial  $P_3(x)$  diintegrasikan dari  $x_n$  sampai  $x_{n+1} = x_n +$

h. Jika  $x = x_n$  dan  $x = x_{n+1}$  masing-masing disubstitusikan ke dalam persamaan  $r = \frac{x-x_n}{h}$  maka berturut-turut akan diperoleh  $r = 0$  dan  $r = 1$ . Dikarenakan  $x = x_n + hr$  dan jika  $x$  diturunkan terhadap variabel  $r$ , maka diperoleh  $dx = h \cdot dr$ . Sehingga diperoleh,

$$\int_{x_n}^{x_{n+1}} p_3(x) dx = h \int_0^1 p_3(x) dr = h(f_n + \frac{1}{2} \nabla f_n + \frac{5}{12} \nabla^2 f_n + \frac{3}{8} \nabla^3 f_n) \quad (2.4)$$

Didefinisikan bahwa  $\nabla^k f_j = \nabla^{k-1} f_j - \nabla^{k-1} f_{j-1}$ , oleh karena itu diperoleh itu:

$$\nabla f_n = f_n - f_{n-1} \quad (2.5)$$

$$\nabla^2 f_n = \nabla f_n - \nabla f_{n-1} = f_n - 2f_{n-1} + f_{n-2} \quad (2.6)$$

$$\nabla^3 f_n = \nabla^2 f_n - \nabla^2 f_{n-1} = f_n - 3f_{n-1} + 3f_{n-2} - f_{n-3} \quad (2.7)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (2.5) sampai (2.7) ke persamaan (2.4) diperoleh persamaan prediktor sebagai berikut :

$$y_{n+1}^{(0)} = y_n + \frac{h}{24} (55f_n - 59f_{n-1} + 37f_{n-2} - 9f_{n-3}) \quad (2.8)$$

### Metode Adams Moulton

Sama halnya dengan persamaan korektor, persamaan prediktor juga terbentuk menggunakan langkah-langkah mencari simpul-simpul polinom  $\bar{p}_3(x)$  interpolasi seperti  $x_{n+1}, x_n, x_{n-1}, x_{n-2}, x_{n-3}$ . Persamaan non linear orde satu sebelumnya termasuk interpolasi beda terbagi Newton. Maka dapat ditulis dengan menggunakan interpolasi polinom berderajat tiga yaitu:

$$\bar{p}_3(x) = f_{n+1} + r \nabla f_{n+1} + \frac{1}{2} r(r+1) \nabla^2 f_{n+1} + \frac{1}{6} r(r+1)(r+2) \nabla^3 f_{n+1}$$

Dengan  $r = \frac{x-x_n}{h}$ . Sekarang polinomial  $\bar{p}_3(x)$  diintegrasikan dari  $x_n$  sampai  $x_{n+1} = x_n + h$ . Jika  $x = x_n$  dan  $x = x_{n+1}$ , hal ini bersesuaian dengan pengintegralan  $\bar{p}_3(x)$  terhadap variabel  $r$  dari  $r = -1$  dan  $r = 0$ . Sehingga didapat,

$$\int_{x_n}^{x_{n+1}} \bar{p}_3(x) dx = h \int_{-1}^0 \bar{p}_3(x) dr = h(f_{n+1} - \frac{1}{2} \nabla f_{n+1} - \frac{1}{12} \nabla^2 f_{n+1} - \frac{1}{24} \nabla^3 f_{n+1}) \quad (2.9)$$

Kemudian ditinjau kembali persamaan  $\nabla^k f_j = \nabla^{k-1} f_j - \nabla^{k-1} f_{j-1}$  untuk  $k = 1, 2, 3$  dan hasilnya disubstitusikan ke persamaan (2.9) sehingga dihasilkan persamaan baru yaitu korektor sebagai berikut:

$$y_{n+1}^{(k)} = y_n + \frac{h}{24} (9f_{n+1}^{k-1} + 19f_n - 5f_{n-1} + f_{n-2}) \quad (2.10)$$

Sehingga rumus umum metode adams bashfort moulton orde empat yaitu [9] :

$$y_{n+1}^{(0)} = y_n + \frac{h}{24} (55f_n - 59f_{n-1} + 37f_{n-2} - 9f_{n-3})$$

$$y_{n+1}^{(k)} = y_n + \frac{h}{24} (9f_{n+1}^{k-1} + 19f_n - 5f_{n-1} + f_{n-2}).$$

### Galat

Adapun bentuk umum dalam mencari galat yaitu sebagai berikut:

$$\text{Galat} = \max(|X_i - X_{i-1}|, |Y_i - Y_{i-1}|, \dots)$$

Maka dalam penggunaan model SEIR-NDC diperoleh sebagai berikut:

$$\text{Galat} = \max(|S_i - S_{i-1}|, |E_i - E_{i-1}|, |I_i - I_{i-1}|, |R_i - R_{i-1}|, |N_i - N_{i-1}|, |D_i - D_{i-1}|, |C_i - C_{i-1}|)$$

### Model Pandemi SEIR (Susceptible-Exposed-Infectious-Removed)-NDC

Model pandemi SEIR-NDC adalah pengembangan model dari SEIR ditambahkan dengan variabel NDC. S adalah sub-populasi rentang terkena penyakit, E adalah sub-populasi tertular tetapi belum didiagnosa sebagai seorang penderita, I adalah subpopulasi terinfeksi, R adalah subpopulasi yang sembuh karena pengobatan, N adalah total populasi, D adalah tanggapan masyarakat (*Persepsi public*) mengenai jumlah subpopulasi yang terinfeksi dan subpopulasi yang mengalami kematian parah, dan C adalah jumlah kasus yang dilaporkan dan tidak dilaporkan.

Sehingga diperoleh model pandemi SEIR-NDC dikutip dari tesis Caecilia Dian Pratiwi sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= -\frac{\beta_0 S F}{N} - \frac{\beta_1 S I}{N} - \mu S, \\ \frac{dE}{dt} &= \frac{\beta_0 S F}{N} + \frac{\beta_1 S I}{N} - (\sigma + \mu) E, \\ \frac{dI}{dt} &= \sigma E - (\gamma + \mu) I, \\ \frac{dR}{dt} &= \gamma I - \mu R, \\ \frac{dN}{dt} &= -\mu N, \end{aligned}$$

$$\frac{dD}{dt} = p\gamma I - \lambda D,$$

$$\frac{dC}{dt} = \sigma E$$

Dengan

$F$  : Jumlah kasus yang disebabkan oleh hewan

$\beta_0$  : Laju penularan penyakit

$\beta_1$  : Tingkat transmisi seiring berjalannya waktu

$\mu$  : Laju kematian

$\sigma$  : Jumlah rata-rata subpopulasi yang menunjukkan gejala

$\gamma$  : Laju kesembuhan

$\lambda$  : Durasi redaksi publik

$\rho$  : waktu perbaikan masyarakat.

Dari model diatas, peneliti menjelaskan variabel yang digunakan yaitu:

1. *Susceptible* (S) adalah sub-populasi yang rentang terkena penyakit
2. *Exposed* (E) adalah sub-populasi tertular tetapi belum didiagnosa sebagai seorang penderita
3. *Infectious* (I) adalah sub-populasi yang telah terinfeksi
4. *Removed* (R) adalah sub-populasi yang sembuh karena berobat
5.  $N$  adalah total populasi
6.  $D$  adalah tanggapan masyarakat (*persepsi public*) mengenai jumlah sub-populasi yang terinfeksi dan sub-populasi yang mengalami kematian parah
7.  $C$  adalah jumlah kasus yang dilaporkan dan tidak dilaporkan [7].

### 3. METODOLOGI

Penelitian dilaksanakan pada bulan Oktober tahun 2022. Jenis Penelitian ini adalah penelitian terapan. Penelitian terapan merupakan penelitian yang dapat memberikan suatu solusi dalam permasalahan yang akan diselesaikan secara realistis, dan dapat diterapkan langsung kedalam kehidupan manusia tanpa berfokus pada hal lain seperti pengembangan materi.

### Prosedur Analisis

Adapun langkah-langkah analisis yang diterapkan oleh peneliti adalah sebagai berikut:

1. Langkah-langkah dalam penyelesaian model pandemik SEIR-NDC yaitu sebagai berikut:
  - a. Mengambil nilai awal dari dinas kesehatan dan asumsi peneliti serta model dari penelitian terdahulu yaitu model SEIR-NDC. Dimana  $S$  (*Susceptible*),  $E$  (*Infection*),  $R$  (*Removed*),  $N$  yaitu total populasi,  $D$  yaitu *perpespsi public*, dan  $C$  yaitu jumlah kumulatif.
  - b. Membuat formula dari setiap model pandemik SEIR-NDC berdasarkan metode yang digunakan. Dimana metodenya adalah metode RK5 dan metode ABM4.
  - c. Memasukkan nilai setiap parameter yang digunakan ke setiap formula dari model pandemik SEIR-NDC.
  - d. Menyelesaikan model pandemik SEIR-NDC dengan menggunakan metode RK5 dan metode ABM4 sehingga diperoleh solusi numeriknya.
2. Langkah-langkah perbandingan metode RK5 dan ABM4 yaitu sebagai berikut:
  - a. Mengidentifikasi perbandingan metode RK5 dan metode ABM4 berdasarkan nilai galat yang dihasilkan.
  - b. Menarik kesimpulan pada solusi numerik model SEIR-NDC dengan menggunakan metode RK5 dan metode ABM4, serta perbandingan kedua metode tersebut.

## 4. PEMBAHASAN

### Model SEIR-NDC Berdasarkan Nilai Parameter

Berdasarkan nilai parameter yang telah ditentukan model SEIR-NDC dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\beta_0 SF}{N} - \frac{\beta_1 SI}{N} - \mu S,$$

$$\frac{dE}{dt} = \frac{\beta_0 SF}{N} + \frac{\beta_1 SI}{N} - (\sigma + \mu)E,$$

$$\frac{dI}{dt} = \sigma E - (\gamma + \mu)I,$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I - \mu R,$$

$$\frac{dN}{dt} = -\mu N,$$

$$\frac{dD}{dt} = p\gamma I - \lambda D,$$

$$\frac{dC}{dt} = \sigma E$$

### Penjelasan Model SEIR-NDC

Berikut ini penjelasan dari model di atas:

1. Laju perubahan jumlah manusia yang mudah ditulari terhadap waktu  $\left(\frac{dS}{dt}\right)$  yang dipengaruhi oleh:

- Suatu penularan dari populasi awal yang rentan, yang dapat tertular dan disebabkan oleh hewan dibagi populasi yaitu  $\frac{\beta_0 SF}{N}$ .
- Suatu transmisi seiring berjalannya waktu dari populasi awal yang rentan yang dipengaruhi oleh orang yang terinfeksi dibagi dengan populasi yaitu  $\frac{\beta_1 SI}{N}$ .
- Suatu populasi yang rentan juga dipengaruhi oleh laju kematian seseorang yaitu  $\mu S$ .

Kemudian dari a), b), dan c) dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{\beta_0 SF}{N} - \frac{\beta_1 SI}{N} - \mu S.$$

2. Laju perubahan jumlah manusia yang memperlihatkan gejala terinfeksi terhadap waktu  $\left(\frac{dE}{dt}\right)$  yang dipengaruhi oleh:

- Suatu penularan dari populasi awal yang rentan, yang dapat tertular dan disebabkan oleh hewan dibagi populasi yaitu  $\frac{\beta_0 SF}{N}$ .
- Suatu transmisi seiring berjalannya waktu dari populasi awal yang rentan yang dipengaruhi oleh orang yang terinfeksi dibagi dengan populasi yaitu  $\frac{\beta_1 SI}{N}$ .
- Kemudian dikurangi dengan sub populasi yang tertular yang dipengaruhi oleh laju kematian seseorang yaitu  $(\sigma + \mu)E$ .

Kemudian dari a);b); dan c) dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{\beta_0 SF}{N} + \frac{\beta_1 SI}{N} - (\sigma + \mu)E.$$

3. Laju perubahan jumlah manusia terinfeksi langsung oleh virus terhadap waktu  $\left(\frac{dI}{dt}\right)$  yang dipengaruhi oleh:

- Populasi manusia yang menunjukkan gejala dikalikan dengan *exposed* (kemungkinan orang yang tertular) yaitu  $\sigma E$ .
- Kemudian dikurangi dengan laju kesembuhan seseorang ditambah dengan laju kematian seseorang dikalikan dengan

sub populasi yang terinfeksi yaitu  $(\gamma + \mu)I$ .

Kemudian dari a) dan b) dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$\frac{dI}{dt} = \sigma E - (\gamma + \mu)I.$$

4. Laju perubahan jumlah manusia yang sembuh dari penyebaran penyakit virus corona terhadap waktu  $\left(\frac{dR}{dt}\right)$  yang dipengaruhi oleh:

- laju kesembuhan seseorang dengan periode penularan tertentu yaitu  $\gamma I$ .
- Sub populasi dikurangi dengan laju kematian seseorang dari sub populasi manusia yang terinfeksi virus dari manusia yaitu  $\mu R$ .

Kemudian dari a) dan b) dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I - \mu R.$$

5. Laju perubahan total ukuran dari populasi manusia terhadap waktu  $\left(\frac{dN}{dt}\right)$  yang dipengaruhi oleh laju kematian seseorang dikalikan populasi total. Sehingga berdasarkan faktor tersebut, maka laju perubahan tersebut dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$\frac{dN}{dt} = -\mu N.$$

6. Laju perubahan jumlah manusia dari persepsi publik tentang risiko terkait jumlah kasus dan kematian yang parah dan kritis terhadap waktu  $\left(\frac{dD}{dt}\right)$  yang dipengaruhi oleh:

- Konstanta ( $\rho$ ) yang dikalikan dengan laju kesembuhan seseorang yaitu  $\rho \gamma I$ .
- Kemudian dikurangi dengan orang yang meninggal tetapi belum tentu terinfeksi yaitu  $\lambda D$ .

Kemudian dari a) dan b) dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$\frac{dD}{dt} = \rho \gamma I - \lambda D.$$

7. Laju perubahan dari jumlah kumulatif untuk kasus yang dilaporkan maupun yang tidak dilaporkan terhadap waktu  $\left(\frac{dC}{dt}\right)$  yang dipengaruhi oleh orang yang menunjukkan gejala dikalikan dengan  $E$  dimana  $E$  adalah orang yang memiliki kemungkinan tertular. Sehingga berdasarkan faktor tersebut, dapat dimodelkan sebagai berikut:

$$\frac{dC}{dt} = \sigma E.$$

**Penjelasan Variabel Yang Digunakan**

Adapun penjelasan variabel yang digunakan yaitu sebagai berikut:

1. *Susceptible* (S) adalah sub-populasi yang rentang terkena penyakit
2. *Exposed* (E) adalah sub-populasi tertular tetapi belum didiagnosa sebagai seorang penderita
3. *Infectious* (I) adalah sub-populasi yang telah terinfeksi
4. *Removed* (R) adalah sub-populasi yang sembuh karena berobat
5. *N* adalah total populasi
6. *D* adalah tanggapan masyarakat (*persepsi public*) mengenai jumlah sub-populasi yang terinfeksi dan sub-populasi yang mengalami kematian parah
7. *C* adalah jumlah kasus yang dilaporkan dan tidak dilaporkan.

**Nilai Parameter dan Nilai Awal**

beberapa definisi dan nilai awal dari variabel dan parameter yang akan digunakan, sebagai berikut:

**Tabel 4.1** Nilai awal parameter model SEIR-NDC

Notasi	Nilai	Sumber
F	12	Asumsi
$S_0$	11,339	Dinkes Sulsel
$E_0$	1,421	Asumsi
$I_0$	31,047	Dinkes Sulsel
$R_0$	26,816	Dinkes Sulsel
$N_0$	72,813	Dinkes Sulsel dan asumsi
$D_0$	1,025	Asumsi
$C_0$	1,12	Asumsi
$\beta_0$	0,0000003149686	Dinkes Sulsel
$\beta_1$	0,62	Asumsi
$\mu$	0,00000601251	Dinkes Sulsel
$\sigma$	$\frac{1}{35}$	Asumsi
$\gamma$	0,0000001331827	Dinkes Sulsel
$\lambda$	$\frac{1}{11,23}$	Asumsi
$p$	0,25	Asumsi

**Solusi Numerik Model SEIR-NDC Dengan Menggunakan Metode RK5**

Setelah mensubstitusi nilai parameter ke dalam persamaan, selanjutnya adalah melakukan

iterasi menggunakan nilai awal yang telah ditentukan.

Pada proses iterasi digunakan interval waktu atau ukuran Langkah yang telah ditentukan yaitu 0,001. Kemudian diberikan  $S(t_0) = 12,6$  juta orang,  $E(t_0) = 1,4$  juta orang,  $I(t_0) = 0$ ,  $R(t_0) = 0$ ,  $N(t_0) = 14$  juta orang,  $D(t_0) = 0$ ,  $C(t_0) = 0$  dan  $t_0 = 0$ , sebagai nilai awal sehingga diperoleh penyelesaian numerik model SEIR-NDC sesuai dengan rumus metode RK5 dimana nilai dari setiap fungsi evaluasi adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} k_1 & : -2,99 & l_1 & : 2,96 & m_1 & : 0,04 \\ k_2 & : -2,99 & l_2 & : 2,96 & m_2 & : 0,04 \\ k_3 & : -2,99 & l_3 & : 2,96 & m_3 & : 0,04 \\ k_4 & : -2,96 & l_4 & : 2,96 & m_4 & : 0,04 \\ k_5 & : -2,99 & l_5 & : 2,96 & m_5 & : 0,04 \\ k_6 & : -2,99 & l_6 & : 2,96 & m_6 & : 0,04 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n_1 & : -0,00016 & p_1 & : -0,00044 \\ n_2 & : -0,00016 & p_2 & : -0,00044 \\ n_3 & : -0,00016 & p_3 & : -0,00044 \\ n_4 & : -0,00016 & p_4 & : -0,00044 \\ n_5 & : -0,00016 & p_5 & : -0,00044 \\ n_6 & : -0,00016 & p_6 & : -0,00044 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_1 & : -0,09 & z_1 & : 0,04 \\ q_2 & : -0,09 & z_2 & : 0,04 \\ q_3 & : -0,09 & z_3 & : 0,04 \\ q_4 & : -0,09 & z_4 & : 0,04 \\ q_5 & : -0,09 & z_5 & : 0,04 \\ q_6 & : -0,09 & z_6 & : 0,04 \end{aligned}$$

Kemudian mensubtitusikan nilai dari fungsi evaluasi ke dalam persamaan metode Runge Kutta orde Lima maka akan diperoleh hasil dari solusi numerik model SEIR-NDC menggunakan metode RK5 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} S_1 & = S_0 + \frac{1}{90} h (7k_1 + 32k_3 + 12k_4 + \\ & \quad 32k_5 + 7k_6) \\ & = 11,33600 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_1 & = E_0 + \frac{1}{90} h (7l_1 + 32l_3 + 12l_4 + \\ & \quad 32l_5 + 7l_6) \\ & = 1,42396 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_1 & = I_0 + \frac{1}{90} h (7m_1 + 32m_3 + 12m_4 + \\ & \quad 32m_5 + 7m_6) \\ & = 31,04704 \end{aligned}$$

$$R_1 = R_0 + \frac{1}{90} h (7n_1 + 32n_3 + 12n_4 + 32n_5 + 7n_6)$$

$$= 26,81599$$

$$N_1 = N_0 + \frac{1}{90} h (7p_1 + 32p_3 + 12p_4 + 32p_5 + 7p_6)$$

$$= 72,813$$

$$D_1 = D_0 + \frac{1}{90} h (7q_1 + 32q_3 + 12q_4 + 32q_5 + 7q_6)$$

$$= 1,02491$$

$$C_1 = C_0 + \frac{1}{90} h (7z_1 + 32z_3 + 12z_4 + 32z_5 + 7z_6)$$

$$= 1,12004$$

$$t_1 = t_0 + h = 0 + 0,001 = 0,001$$

Kemudian untuk iterasi selanjutnya dilakukan hal yang sama hingga iterasi ke-100 atau akan memprediksi laju untuk 100 hari kedepan dengan menggunakan mocrrosoft excel.

Grafik untuk hasil iterasi solusi numerik menggunakan metode RK5 pada model SEIR-NDC untuk setiap kompartemen menggunakan Microsoft excel, akan ditunjukkan pada tabel 4.2 dan 4.3 serta grafik pada gambar 4.1 sebagai berikut:

**Tabel 4.2** Solusi metode RK5

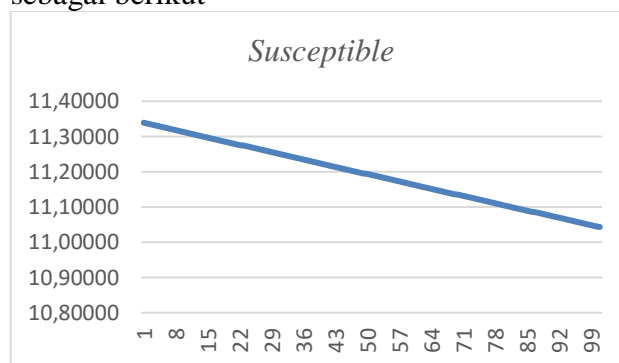
t	S	E	I
0,000	11,33900	1,42100	31,04700
0,001	11,33600	1,42396	31,04704
0,002	11,33301	1,42691	31,04708
0,003	11,33001	1,42987	31,04712
⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮
0,097	11,05191	1,70377	31,05131
0,098	11,04899	1,70664	31,05136
0,099	11,04607	1,70952	31,05141
0,1	11,04315	1,71239	31,05146

**Tabel 4.3** Hasil iterasi untuk setiap subpopulasi

R	N	D	C
26,81600	72,81300	1,02500	1,12000
26,81600	72,81300	1,02491	1,12004
26,81600	72,81300	1,02482	1,12008
26,81600	72,81300	1,02473	1,12012
⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮
26,81598	72,81296	1,01622	1,12433

R	N	D	C
26,81598	72,81296	1,01613	1,12438
26,81598	72,81296	1,01604	1,12443
26,81598	72,81296	1,01595	1,12448

Grafik 4.1 memperlihatkan hasil iterasi numerik menggunakan metode RK5 pada penyakit covid-19 untuk setiap subpopulasi S, E, I, R, N, D, C menggunakan excel akan ditunjukkan pada grafik. Hasil iterasi untuk laju individu yang rentang (S) akan ditunjukkan sebagai berikut

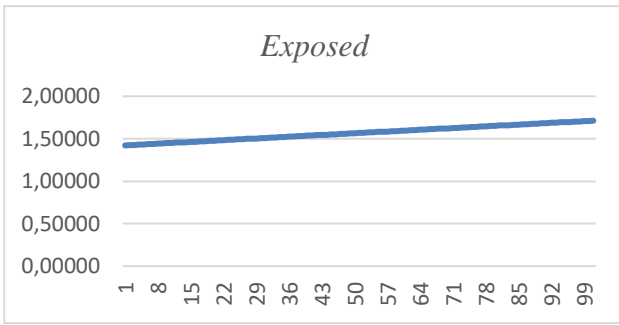


**Gambar 4.1** Penyebaran jumlah Susceptible penyakit covid-19

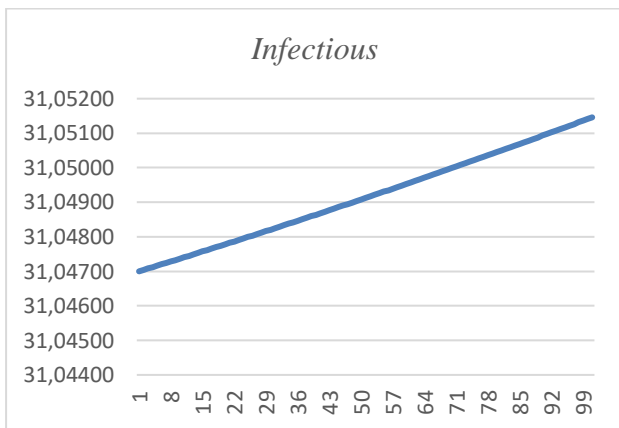
Gambar 4.1 memperlihatkan bahwa dengan jumlah nilai awal  $S_0$  senilai 11,339 dapat membuat grafik garis menurun dari waktu ke waktu disebabkan karena dalam waktu yang bersamaan banyaknya populasi yang rentang dan masuk ke populasi manusia yang tertular tetapi belum menjadi penderita. Adapun perkiraan jumlah populasi  $S$  pada waktu  $t = 100$  hari (3,33 bulan) senilai 11,04315 juta orang.

Selanjutnya hasil iterasi untuk laju individu yang tertular tetapi belum menjadi penderita (E) akan ditunjukkan pada gambar 4.2. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa dengan jumlah nilai awal  $E_0$  senilai 1,421 dapat membuat grafik garis meningkat dari waktu ke waktu dipengaruhi oleh banyaknya populasi yang beraktivitas diluar ruangan. Adapun perkiraan jumlah populasi  $E$  pada waktu  $t = 100$  hari (3,33 bulan) senilai 1,71239 juta orang.

Selanjutnya hasil iterasi untuk laju individu yang terinfeksi (I) akan ditunjukkan pada gambar 4.3. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa dengan jumlah nilai awal  $I_0$  senilai 31,047 dapat membuat grafik garis meningkat dari waktu ke waktu dipengaruhi oleh aktivitas diluar ruangan.



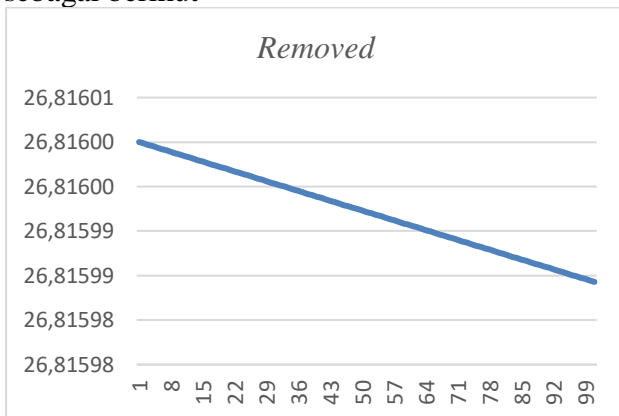
**Gambar 4.2** Penyebaran jumlah Exposed penyakit covid-19



**Gambar 4.3** Penyebaran jumlah Infectious penyakit covid-19

Adapun perkiraan jumlah populasi  $I$  pada waktu  $t = 100$  hari (3,33 bulan) senilai 31,05146 juta orang.

Selanjutnya hasil iterasi untuk laju individu yang sembuh ( $R$ ) akan ditunjukkan sebagai berikut



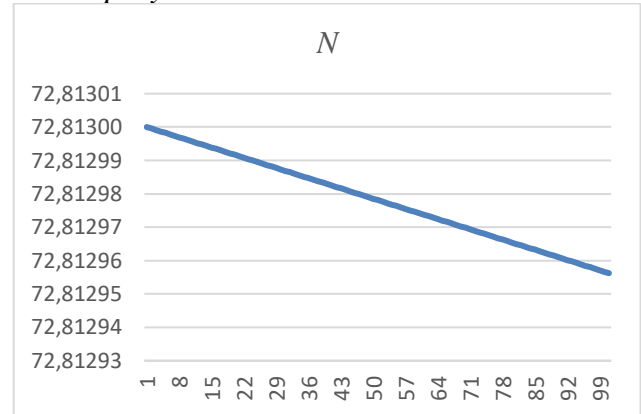
**Gambar 4.4** Penyebaran jumlah Removed penyakit covid-19

Gambar 4.4 memperlihatkan bahwa dengan jumlah nilai awal  $R_0$  senilai 26,816 dapat membuat grafik garis meningkat dipengaruhi karena populasi yang terinfeksi semakin hari akan semakin bertambah. Adapun perkiraan

jumlah populasi  $R$  pada waktu  $t = 100$  hari (3,33 bulan) senilai 26,81598 juta orang.

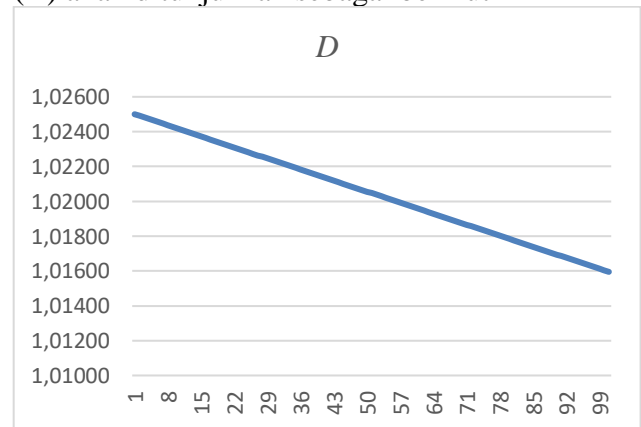
Selanjutnya hasil iterasi untuk laju individu yang diteliti ( $N$ ) akan ditunjukkan sebagai berikut

Gambar 4.5 Penyebaran jumlah individu yang diteliti penyakit covid-19



Gambar 4.5 memperlihatkan bahwa dengan jumlah nilai awal  $N_0$  senilai 72,813 dapat membuat grafik garis menurun dari waktu ke waktu disebabkan karena dalam waktu yang bersamaan banyaknya populasi yang terinfeksi. Adapun perkiraan jumlah populasi  $N$  pada waktu  $t = 100$  hari (3,33 bulan) senilai 72,81296 juta orang.

Selanjutnya hasil iterasi untuk laju individu yang terinfeksi dan mengalami kematian parah ( $D$ ) akan ditunjukkan sebagai berikut



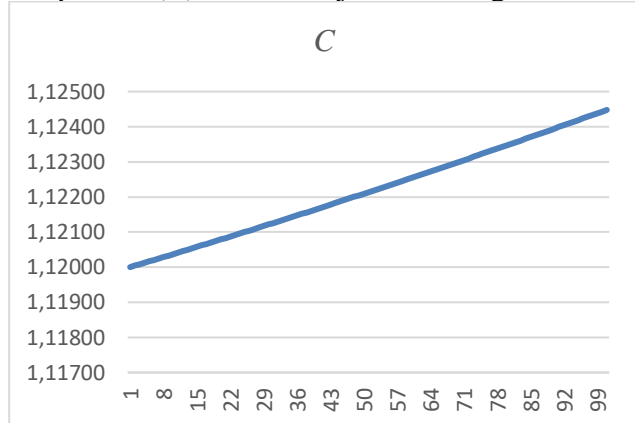
**Gambar 4.6** Penyebaran jumlah individu yang terinfeksi dan mengalami kematian parah penyakit covid-19

Gambar 4.6 memperlihatkan bahwa dengan jumlah nilai awal  $D_0$  senilai 1,025 dapat membuat grafik garis menurun dipengaruhi oleh populasi yang mengalami kematian yang parah akan masuk ke populasi kasus yang dilaporkan. Adapun perkiraan jumlah populasi  $D$  pada waktu



$t = 100$  hari (3,33 bulan) senilai 1,01595 juta orang.

Selanjutnya hasil iterasi untuk laju jumlah kasus yang dilaporkan dan tidak dilaporkan (C) akan ditunjukkan sebagai berikut



**Gambar 4.7** Penyebaran jumlah kasus yang dilaporkan dan tidak dilaporkan penyakit covid-19

Gambar 4.7 memperlihatkan bahwa dengan jumlah nilai awal  $C_0$  senilai 1,12 dapat membuat grafik garis meningkat dari waktu ke waktu disebabkan karena dalam waktu yang bersamaan banyaknya populasi terinfeksi yang dilaporkan. Adapun perkiraan jumlah populasi  $C$  pada waktu  $t = 100$  hari (3,33 bulan) senilai 1,12448 juta orang.

### Solusi Numerik Model SEIR-NDC Dengan Menggunakan Metode ABM4

Setelah mensubstitusi nilai parameter ke dalam persamaan, selanjutnya adalah melakukan iterasi menggunakan nilai awal yang telah ditentukan sebelumnya, sehingga diperoleh penyelesaian numerik model SEIR-NDC sesuai dengan rumus metode ABM4 adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 S^{(0)}_4 &= S_3 + \frac{h}{24} (55f_3 - 59f_2 + 37f_1 - 9f_0) \\
 &= S_3 + \frac{h}{24} \left( 55 \left( -\frac{\beta_0 S_3 F}{N_3} - \frac{\beta(t) S_3 I_3}{N_3} - \mu S_3 \right) - 59 \left( -\frac{\beta_0 S_2 F}{N_2} - \frac{\beta(t) S_2 I_2}{N_2} - \mu S_2 \right) + 37 \left( -\frac{\beta_0 S_1 F}{N_1} - \frac{\beta(t) S_1 I_1}{N_1} - \mu S_1 \right) - 9 \left( -\frac{\beta_0 S_0 F}{N_0} - \frac{\beta(t) S_0 I_0}{N_0} - \mu S_0 \right) \right) \\
 &= 11,32702 \\
 S^{(1)}_4 &= S_3 + \frac{h}{24} (9f^{(0)}_4 + 19f_3 - 5f_2 + f_1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= S_3 + \frac{h}{24} \left( 9 \left( -\frac{\beta_0 S^{(0)}_4 F}{N_4} - \frac{\beta(t) S^{(0)}_4 I_4}{N_4} - \mu S^{(0)}_4 \right) + 19 \left( -\frac{\beta_0 S_3 F}{N_3} - \frac{\beta(t) S_3 I_3}{N_3} - \mu S_3 \right) - 5 \left( -\frac{\beta_0 S_2 F}{N_2} - \frac{\beta(t) S_2 I_2}{N_2} - \mu S_2 \right) + \left( -\frac{\beta_0 S_1 F}{N_1} - \frac{\beta(t) S_1 I_1}{N_1} - \mu S_1 \right) \right) \\
 &= 11,32702 \\
 E^{(0)}_4 &= E_3 + \frac{h}{24} (55g_3 - 59g_2 + 37g_1 - 9g_0) \\
 &= E_3 + \frac{h}{24} \left( 55 \left( \frac{\beta_0 S_3 F}{N_3} + \frac{\beta(t) S_3 I_3}{N_3} - (\sigma + \mu) E_3 \right) - 59 \left( \frac{\beta_0 S_2 F}{N_2} + \frac{\beta(t) S_2 I_2}{N_2} - (\sigma + \mu) E_2 \right) + 37 \left( \frac{\beta_0 S_1 F}{N_1} + \frac{\beta(t) S_1 I_1}{N_1} - (\sigma + \mu) E_1 \right) - 9 \left( \frac{\beta_0 S_0 F}{N_0} + \frac{\beta(t) S_0 I_0}{N_0} - (\sigma + \mu) E_0 \right) \right) \\
 &= 1,43282 \\
 E^{(1)}_4 &= E_3 + \frac{h}{24} (9g^{(0)}_4 + 19g_3 - 5g_2 + g_1) \\
 &= E_3 + \frac{h}{24} \left( 9 \left( \frac{\beta_0 S^{(1)}_4 F}{N_4} + \frac{\beta(t) S^{(1)}_4 I_4}{N_4} - (\sigma + \mu) E^{(0)}_4 \right) + 19 \left( \frac{\beta_0 S_3 F}{N_3} + \frac{\beta(t) S_3 I_3}{N_3} - (\sigma + \mu) E_3 \right) - 5 \left( \frac{\beta_0 S_2 F}{N_2} + \frac{\beta(t) S_2 I_2}{N_2} - (\sigma + \mu) E_2 \right) + \left( \frac{\beta_0 S_1 F}{N_1} + \frac{\beta(t) S_1 I_1}{N_1} - (\sigma + \mu) E_1 \right) \right) \\
 &= 1,43419 \\
 I^{(0)}_4 &= I_3 + \frac{h}{24} (55i_3 - 59i_2 + 37i_1 - 9i_0) \\
 &= I_3 + \frac{h}{24} (55(\sigma E_3 - (\gamma + \mu) I_3) - 59(\sigma E_2 - (\gamma + \mu) I_2) + 37(\sigma E_1 - (\gamma + \mu) I_1) - 9(\sigma E_0 - (\gamma + \mu) I_0)) \\
 &= 31,04716 \\
 I^{(1)}_4 &= I_3 + \frac{h}{24} (9i^{(0)}_4 + 19i_3 - 5i_2 + i_1) \\
 &= I_3 + \frac{h}{24} (9(\sigma E^{(1)}_4 - (\gamma + \mu) I^{(0)}_4) + 19(\sigma E_3 - (\gamma + \mu) I_3) - 5(\sigma E_2 - (\gamma + \mu) I_2) + (\sigma E_1 - (\gamma + \mu) I_1)) \\
 &= 31,04716
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R^{(0)}_4 &= R_3 + \frac{h}{24} (55j_3 - 59j_2 + 37j_1 - 9j_0) \\
 &= R_3 + \frac{h}{24} (55(\gamma I_3 - \mu R_3) - 59(\gamma I_2 - \mu R_2) + 37(\gamma I_1 - \mu R_1) - 9(\gamma I_0 - \mu R_0)) \\
 &= 26,81599
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R^{(1)}_4 &= R_3 + \frac{h}{24} (9j^{(0)}_4 + 19j_3 - 5j_2 + j_1) \\
 &= R_3 + \frac{h}{24} (9(\gamma I^{(1)}_4 - \mu R^{(0)}_4) + 19(\gamma I_3 - \mu R_3) - 5(\gamma I_2 - \mu R_2) + (\gamma I_1 - \mu R_1)) \\
 &= 26,81599
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N^{(0)}_4 &= N_3 + \frac{h}{24} (55u_3 - 59u_2 + 37u_1 - 9u_0) \\
 &= N_3 + \frac{h}{24} (55(-\mu N_3) - 59(-\mu N_2) + 37(-\mu N_1) - 9(-\mu N_0)) \\
 &= 72,813
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N^{(1)}_4 &= N_3 + \frac{h}{24} (9u^{(0)}_4 + 19u_3 - 5u_2 + u_1) \\
 &= N_3 + \frac{h}{24} (9(-\mu N^{(0)}_4) + 19(-\mu N_3) - 5(-\mu N_2) + (-\mu N_1)) \\
 &= 72,813
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D^{(0)}_4 &= D_3 + \frac{h}{24} (55v_3 - 59v_2 + 37v_1 - 9v_0) \\
 &= D_3 + \frac{h}{24} (55(\rho\gamma I_3 - \lambda D_3) - 59(\rho\gamma I_2 - \lambda D_2) + 37(\rho\gamma I_1 - \lambda D_1) - 9(\rho\gamma I_0 - \lambda D_0)) \\
 &= 1,02464
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 D^{(1)}_4 &= D_3 + \frac{h}{24} (9v^{(0)}_4 + 19v_3 - 5v_2 + v_1) \\
 &= D_3 + \frac{h}{24} (9(\rho\gamma I^{(1)}_4 - \lambda D^{(0)}_4) + 19(\rho\gamma I_3 - \lambda D_3) - 5(\rho\gamma I_2 - \lambda D_2) + (\rho\gamma I_1 - \lambda D_1)) \\
 &= 1,02462
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C^{(0)}_4 &= C_3 + \frac{h}{24} (55w_3 - 59w_2 + 37w_1 - 9w_0) \\
 &= C_3 + \frac{h}{24} (55(\sigma E_3) - 59(\sigma E_2) + 37(\sigma E_1) - 9(\sigma E_0)) \\
 &= 1,12016
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C^{(1)}_4 &= C_3 + \frac{h}{24} (9w^{(0)}_4 + 19w_3 - 5w_2 + w_1) \\
 &= C_3 + \frac{h}{24} (9(\sigma E^{(1)}_4) + 19(\sigma E_3) - 5(\sigma E_2) + (\sigma E_1)) \\
 &= 1,12016
 \end{aligned}$$

Kemudian untuk iterasi selanjutnya dilakukan hal yang sama hingga iterasi ke-100 atau akan memprediksi laju untuk 100 hari kedepan dengan menggunakan mocosoft excel.

Grafik untuk hasil iterasi solusi numerik menggunakan metode ABM4 pada model SEIR-NDC untuk setiap kompartemen menggunakan Microsoft excel, akan ditunjukkan pada grafik sebagai berikut:

**Tabel 4.4** Solusi metode ABM4 pada prediktor

t	$S^{(0)}$	$E^{(0)}$	$I^{(0)}$
0,001	11,32702	1,43282	31,04716
0,002	11,32402	1,43578	31,0472
0,003	11,32103	1,43873	31,04724
0,004	11,31804	1,44168	31,04728
⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮
0,097	11,04315	1,71239	31,05146
0,098	11,04023	1,71526	31,05151
0,099	11,03731	1,71813	31,05156
0,1	11,03439	1,72099	31,0516

**Tabel 4.5** Hasil terasi untuk subpopulasi dengan metode ABM4

$R^{(0)}$	$N^{(0)}$	$D^{(0)}$	$C^{(0)}$
26,81599	72,813	1,02464	1,12016
26,81599	72,813	1,02455	1,12020
26,81599	72,813	1,02445	1,12025
26,81599	72,813	1,02436	1,12029
⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮
26,81598	72,81296	1,01595	1,12448
26,81598	72,81296	1,01586	1,12453
26,81598	72,81296	1,01577	1,12458
26,81598	72,81295	1,01568	1,12462

**Tabel 4.6** Solusi metode ABM4 pada korektor

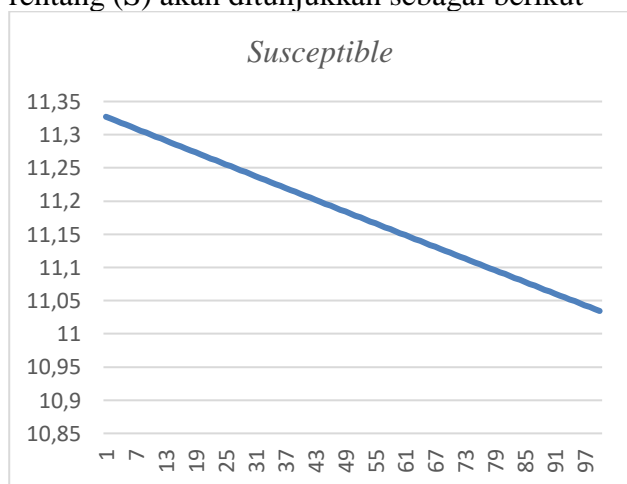
t	$S^{(1)}$	$E^{(1)}$	$I^{(1)}$
0,001	11,32702	1,43419	31,04716
0,002	11,32402	1,43715	31,04720
0,003	11,32102	1,44009	31,04724
0,004	11,31804	1,44305	31,04728
⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮
0,097	11,04315	1,71373	31,05146
0,098	11,04023	1,71659	31,05151
0,099	11,03731	1,71947	31,05156

t	$S^{(1)}$	$E^{(1)}$	$I^{(1)}$
0,1	11,03439	1,72234	31,05160

**Tabel 4.7** Hasil terasi untuk subpopulasi dengan metode ABM4

$R^{(1)}$	$N^{(1)}$	$D^{(1)}$	$C^{(1)}$
26,81599	72,813	1,02462	1,12016
26,81599	72,813	1,02453	1,12020
26,81599	72,813	1,02444	1,12025
26,81599	72,813	1,02434	1,12029
⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮
26,81598	72,81296	1,01593	1,12448
26,81598	72,81296	1,01584	1,12453
26,81598	72,81296	1,01575	1,12458
26,81598	72,81295	1,01566	1,12462

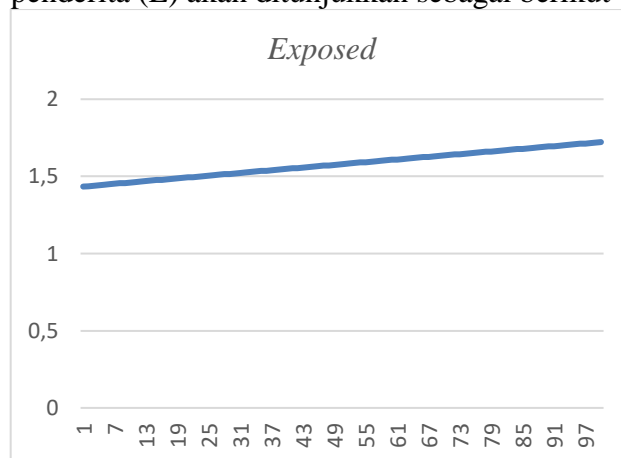
Grafik hasil iterasi numerik menggunakan metode ABM4 pada penyakit covid-19 untuk setiap subpopulasi S, E, I, R, N, D, C menggunakan excel akan ditunjukkan pada grafik. Hasil iterasi untuk laju individu yang rentang (S) akan ditunjukkan sebagai berikut



**Gambar 4.8** Penyebaran jumlah Susceptible penyakit covid-19

Gambar 4.8 memperlihatkan bahwa dengan jumlah nilai awal  $S_0$  senilai 11,339 dapat membuat grafik garis menurun dari waktu ke waktu disebabkan karena dalam waktu yang bersamaan banyaknya populasi yang rentang dan masuk ke populasi manusia yang tertular tetapi belum menjadi penderita. Adapun perkiraan jumlah populasi S pada waktu  $t = 100$  hari (3,33 bulan) senilai 11,03439 juta orang.

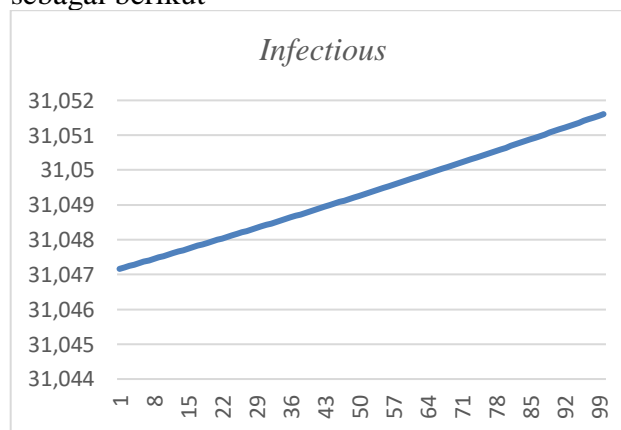
Selanjutnya hasil iterasi untuk laju individu yang tertular tetapi belum menjadi penderita (E) akan ditunjukkan sebagai berikut



**Gambar 4.9** Penyebaran jumlah Exposed penyakit covid-19

Gambar 4.9 memperlihatkan bahwa dengan jumlah nilai awal  $E_0$  senilai 1,421 dapat membuat grafik garis meningkat dari waktu ke waktu dipengaruhi oleh banyaknya populasi yang beraktivitas diluar ruangan. Adapun perkiraan jumlah populasi E pada waktu  $t = 100$  hari (3,33 bulan) senilai 1,72234 juta orang.

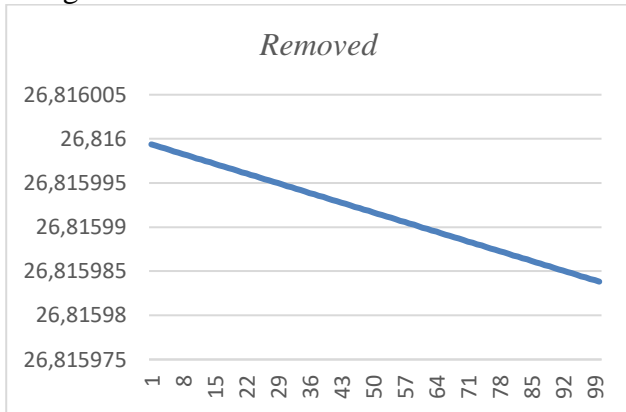
Selanjutnya hasil iterasi untuk laju individu yang terinfeksi (I) akan ditunjukkan sebagai berikut



**Gambar 4.10** Penyebaran jumlah Infectious penyakit covid-19

Gambar 4.10 memperlihatkan bahwa dengan jumlah nilai awal  $I_0$  senilai 31,047 dapat membuat grafik garis meningkat dari waktu ke waktu dipengaruhi oleh aktivitas diluar ruangan. Adapun perkiraan jumlah populasi I pada waktu  $t = 100$  hari (3,33 bulan) senilai 31,05160 juta orang.

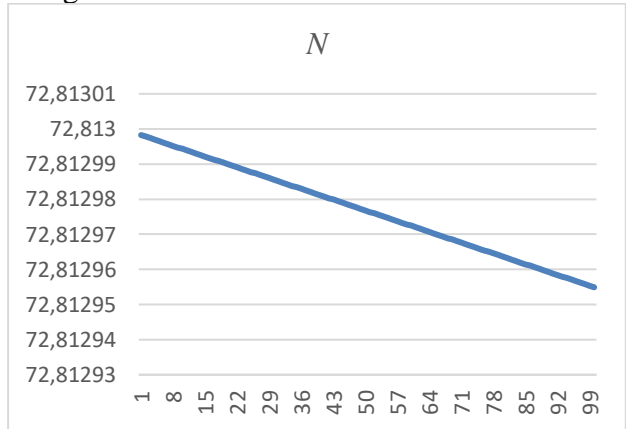
Selanjutnya hasil iterasi untuk laju individu yang sembuh (R) akan ditunjukkan sebagai berikut



**Gambar 4.11** Penyebaran jumlah Removed penyakit covid-19

Gambar 4.11 memperlihatkan bahwa dengan jumlah nilai awal  $R_0$  senilai 26,816 dapat membuat grafik garis menurun dipengaruhi karena populasi yang terinfeksi semakin hari akan semakin bertambah. Adapun perkiraan jumlah populasi R pada waktu  $t = 100$  hari (3,33 bulan) senilai 21,81598 juta orang.

Selanjutnya hasil iterasi untuk laju individu yang diteliti (N) akan ditunjukkan sebagai berikut

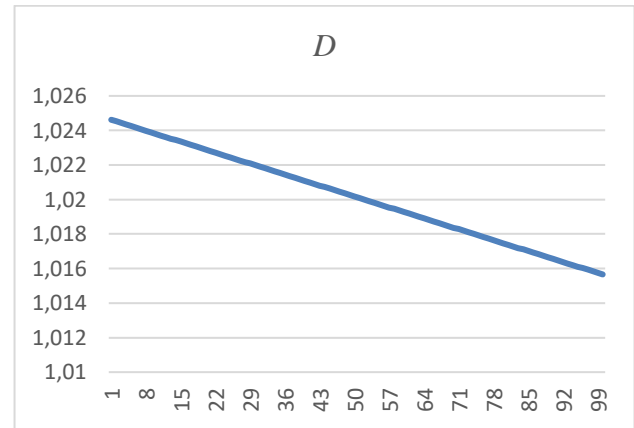


**Gambar 4.12** Penyebaran jumlah individu yang diteliti penyakit covid-19

Gambar 4.12 memperlihatkan bahwa dengan jumlah nilai awal  $N_0$  senilai 72,813 dapat membuat grafik garis menurun dari waktu ke waktu disebabkan karena dalam waktu yang bersamaan banyaknya populasi yang terinfeksi. Adapun perkiraan jumlah populasi N pada waktu  $t = 100$  hari (3,33 bulan) senilai 72,81295 juta orang.

Selanjutnya hasil iterasi untuk laju individu yang terinfeksi dan mengalami

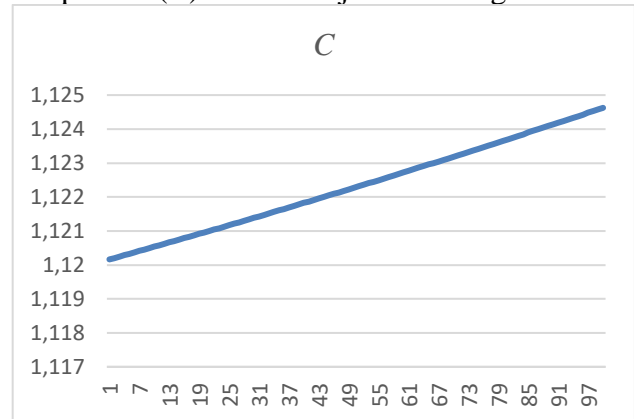
kematian parah (D) akan ditunjukkan sebagai berikut



**Gambar 4.13** Penyebaran jumlah individu yang terinfeksi dan mengalami kematian parah penyakit covid-19

Gambar 4.13 memperlihatkan bahwa dengan jumlah nilai awal  $D_0$  senilai 1,025 dapat membuat grafik garis menurun dipengaruhi oleh populasi yang mengalami kematian yang parah akan masuk ke populasi kasus yang dilaporkan. Adapun perkiraan jumlah populasi D pada waktu  $t = 100$  hari (3,33 bulan) senilai 1,01566 juta orang.

Selanjutnya hasil iterasi untuk laju jumlah kasus yang dilaporkan dan tidak dilaporkan (C) akan ditunjukkan sebagai berikut:



**Gambar 4.14** Penyebaran jumlah kasus yang dilaporkan dan tidak dilaporkan penyakit covid-19

Gambar 4.14 memperlihatkan bahwa dengan jumlah nilai awal  $C_0$  senilai 1,12 dapat membuat grafik garis meningkat dari waktu ke waktu disebabkan karena dalam waktu yang bersamaan banyaknya populasi terinfeksi yang dilaporkan. Adapun perkiraan jumlah populasi C pada waktu  $t = 100$  hari (3,33 bulan) senilai 1,12462 juta orang.

**Perbandingan Metode RK5 dan ABM4**

Berikut perbandingan metode RK5 dan ABM4 menggunakan nilai galat yaitu sebagai berikut:

$$Galat = Max (Abs(S_i - S_{i-1}), Abs(E_i - E_{i-1}), Abs(I_i - I_{i-1}), Abs(R_i - R_{i-1}), Abs(N_i - N_{i-1}), Abs(D_i - D_{i-1}), Abs(C_i - C_{i-1}))$$

**RK5**

$S =  S_{50} - S_{49}  = 0,005841$	$S =  S_{100} - S_{99}  = 0,002920$
$E =  E_{50} - E_{49}  = 0,005744$	$E =  E_{100} - E_{99}  = 0,002871$
$I =  I_{50} - I_{49}  = 0,000097$	$I =  I_{100} - I_{99}  = 0,000049$
$R =  R_{50} - R_{49}  = 0,0000003$	$R =  R_{100} - R_{99}  = 0,0000002$
$N =  N_{50} - N_{49}  = 0,0000009$	$N =  N_{100} - N_{99}  = 0,0000004$
$D =  D_{50} - D_{49}  = 0,000180$	$D =  D_{100} - D_{99}  = 0,000090$
$C =  C_{50} - C_{49}  = 0,000098$	$C =  C_{100} - C_{99}  = 0,000049$

Selanjutnya dapat dilihat sebagai berikut:

**Tabel 4.8** Nilai galat metode RK5

Iterasi	t	Δt	Galat
50	0,1	0,002	0,005841
100		0,001	0,002920

**ABM4**

$S =  S_{50} - S_{49}  = 0,005832$	$S =  S_{100} - S_{99}  = 0,002918$
$E =  E_{50} - E_{49}  = 0,005732$	$E =  E_{100} - E_{99}  = 0,002869$
$I =  I_{50} - I_{49}  = 0,000098$	$I =  I_{100} - I_{99}  = 0,000049$
$R =  R_{50} - R_{49}  = 0,0000003$	$R =  R_{100} - R_{99}  = 0,0000002$

$N =  N_{50} - N_{49}  = 0,0000009$	$N =  N_{100} - N_{99}  = 0,0000004$
$D =  D_{50} - D_{49}  = 0,000180$	$D =  D_{100} - D_{99}  = 0,000090$
$C =  C_{50} - C_{49}  = 0,000099$	$C =  C_{100} - C_{99}  = 0,000049$

Selanjutnya dapat dilihat sebagai berikut:

**Tabel 4.9** Nilai galat metode ABM4

Iterasi	t	Δt	Galat
50	0,1	0,002	0,005832
100		0,001	0,002918

Maka dilihat dari perbandingan diatas dapat disimpulkan bahwa metode ABM4 memiliki nilai galat yang lebih kecil dibandingkan dengan metode RK5, sehingga metode ABM4 lebih akurat digunakan dibandingkan dengan metode RK5 untuk model SEIR-NDC.

**5. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil dan pembahasan diatas, diperoleh kesimpulan Solusi numerik model SEIR-NDC pada transmisi virus corona (covid-19) menggunakan metode RK5 dengan ukuran langkah Δt atau h = 0,001 didapatkan untuk t = 0,001 yaitu manusia yang rentan (S) = 11,339 juta orang, manusia tertular tetapi belum menjadi penderita (E) = 1,421 juta orang, manusia terinfeksi (I) = 31,047, manusia sembuh (R) = 26,816, populasi awal (N) = 72,813 juta orang, tanggapan masyarakat (D) = 1,025, dan Jumlah kasus (C) = 1,12. Selanjutnya mengulangi iterasi hingga iterasi ke-100 atau prediksi untuk 3,33 bulan kedepan, diperoleh hasil yaitu manusia yang rentan (S) = 11,04315 juta orang, manusia tertular tetapi belum menjadi penderita (E) = 1,71239 juta orang, manusia terinfeksi (I) = 31,05146, manusia sembuh (R) = 26,81598, populasi awal (N) = 72,81296 juta orang, tanggapan masyarakat (D) = 1,01595, dan Jumlah kasus (C) = 1,12448.

Solusi numerik model SEIR-NDC pada transmisi virus corona (covid-19) menggunakan metode ABM4 dengan ukuran langkah Δt atau h

= 0,001 didapatkan untuk  $t = 0,001$  yaitu manusia yang rentan ( $S$ ) = 11,32702 juta orang, manusia tertular tetapi belum menjadi penderita ( $E$ ) = 1,43419 juta orang, manusia terinfeksi ( $I$ ) = 31,04716, manusia sembuh ( $R$ ) = 26,81599, populasi awal ( $N$ ) = 72,813 juta orang, tanggapan masyarakat ( $D$ ) = 1,02462, dan Jumlah kasus ( $C$ ) = 1,12016. Selanjutnya mengulangi iterasi hingga iterasi ke-100 atau prediksi untuk 3,33 bulan kedepan, diperoleh hasil yaitu manusia yang rentan ( $S$ ) = 11,03439 juta orang, manusia tertular tetapi belum menjadi penderita ( $E$ ) = 1,72234 juta orang, manusia terinfeksi ( $I$ ) = 31,05160, manusia sembuh ( $R$ ) = 26,81598, populasi awal ( $N$ ) = 72,81295 juta orang, tanggapan masyarakat ( $D$ ) = 1,01566, dan Jumlah kasus ( $C$ ) = 1,12462.

Perbandingan metode RK5 dan ABM4 dapat disimpulkan bahwa hasil yang diperoleh dari penelitian ini yaitu untuk metode RK5, dimana nilai  $t$  yaitu 0,1, dan  $\Delta t$  yaitu 0,002, maka diperoleh nilai galat untuk iterasi ke-50 yaitu 0,005841, dan nilai galat untuk iterasi ke-100 yaitu 0,002920. Untuk metode ABM4, dimana nilai  $t$  yaitu 0,1, dan  $\Delta t$  yaitu 0,002, maka diperoleh nilai galat untuk iterasi ke-50 yaitu 0,005832, dan nilai galat untuk iterasi ke-100 yaitu 0,002918. Maka dari hasil tersebut metode ABM4 memiliki nilai galat yang lebih kecil dibandingkan dengan metode RK5, sehingga metode ABM4 lebih akurat digunakan dibandingkan dengan metode RK5 untuk model SEIR-NDC.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hidayati, Tri; Dkk. Metode Numerik. 2022.
- [2] Pratiwi, Caecilia Dian. Kajian Matematis Dan Pendidikan Atas Model Transmisi Penyakit Virus Corona 2019 (Covid-19). 2019.
- [3] Satuan Tugas Penanganan Covid-19, *Data Sebaran Covid-19*, [https://covid19.go.id/?\\_cf\\_chl=tk=uGlox\\_sjAv3gUkcfnfCKtn.wcbhodhLPDA2ipvW27E74-1702967160-0-gaNycGzNCZA](https://covid19.go.id/?_cf_chl=tk=uGlox_sjAv3gUkcfnfCKtn.wcbhodhLPDA2ipvW27E74-1702967160-0-gaNycGzNCZA). Diakses pada tanggal 12 desember 2023.
- [4] Fardinah. Solusi persamaan diferensial biasa dengan metode runge-kutta orde lima. *Jurnal Matematika dan Statistika serta Aplikasinya*, 2017, 5.1: 30-30.
- [5] Abdullah, Sumarni. “Penerapan Metode Adams-Bashforth-Moulton pada Persamaan Logistik dalam Memprediksi Pertumbuhan Penduduk di Provinsi Sulawesi Selatan. *Makassar: Universitas Islam Negeri Alauddin*, 2016.
- [6] Hanifah, Ika Nurul. Analisis Model Getaran Pegas Teredam dengan Metode Adams-Basforth-Moulton dan Runge-Kutta. 2013.
- [7] Sari, Fitri Monika, et al. Penyelesaian Numerik Persamaan Diferensial Linear Homogen Dengan Koefisien Konstan Menggunakan Metode Adams Bashforth Moulton. *Bimaster: Buletin Ilmiah Matematika, Statistika dan Terapannya*, 2017, 3.02.
- [8] Atmika, I Ketut Adi. Diktat Mata Kuliah Metode Numerik. *Universitas Udayana*, 2016.
- [9] Apriadi, Bayu Prihandono, et al. Metode Adams-Bashforth-Moulton dalam Penyelesaian Persamaan Diferensial Non Linear. *Bimaster: Buletin Ilmiah Matematika, Statistika dan Terapannya*, 2014, 3.02.