

Prediksi Penyebaran Covid-19 Gelombang ke-3 di Kota Ambon dengan Model Berbasis SEIR dan Metode Runge Kutta Fehlberg Ordo 10

Marsela Fransiska Sapury^{1*}, Dian Fransisca Paley¹, Fauzan Widiatoro Mussa¹

¹Jurusan Matematika FMIPA Universitas Pattimura, Jl. Ir. M. Putuhena, Ambon. Indonesia

*Email: marselaspry@gmail.com

Manuscript submitted : March 2023

Accepted for publication : April 2023

doi : <https://doi.org/10.30598/tensorvol4iss1pp45-52>

Abstrak: Indonesia resmi memasuki gelombang tiga penyebaran Covid-19 sesuai pernyataan resmi dari Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Pandemi yang menyerang bukan hanya Indonesia tetapi dunia ini masih terus berkembang dalam kurun waktu lebih dari dua tahun. Oleh karena itu, berbagai studi telah dilakukan untuk mengetahui penyebaran virus ini dan memprediksi penyebarannya lewat beberapa model matematika. Penelitian ini bertujuan untuk memprediksi penyebaran Covid-19 di Provinsi Maluku terkhusus untuk gelombang ke tiga dengan pemodelan matematika SEIR. Secara khusus, metode Runge Kutta Fehlberg ordo 10 di aplikasi Matlab akan digunakan untuk memprediksi kenaikan penyebaran. Data yang digunakan yaitu data penyebaran Covid-19 di Maluku periode bulan Juli 2021 – Februari 2022. Diperoleh puncak penyebaran Covid-19 di Maluku berada pada Maret-April 2022.

2010 Mathematical Subject Classification: 34A45

Kata kunci: Covid-19, Runge-Kutta Fehlberg Ordo 10, Matlab, Pemodelan Matematika SEIR

1. Pendahuluan

Pernyataan secara resmi dikemukakan oleh Siti Nadia Tarmizi Sekretaris Direktorat Jenderal Kesehatan Masyarakat Kementerian Kesehatan Republik Indonesia bahwa Indonesia telah memasuki gelombang ke-3 penyebaran virus Covid-19. Selama kurun waktu lebih dari dua tahun virus Covid-19 menyebar di Indonesia yang mengakibatkan berbagai sektor mengalami kelumpuhan. Tidak hanya Indonesia, seluruh belahan dunia mengalami hal yang serupa. Siklus virus Covid-19 mengalami durasi yang tentu berubah-ubah setiap saat, terkadang mengalami kenaikan, kembali menurun dan juga sering kali konstan. (Kontan.co.id, 2022)

Berbagai studi telah dilakukan oleh para peneliti dibelahan dunia untuk memprediksi kapan berakhirnya Covid-19 menggunakan permodelan matematika, namun karena siklus virus ini maupun berbagai varian virus yang selalu berubah atau bertambah mengakibatkan kesulitan untuk memprediksi secara akurat dan dapat dipercaya. Prediksi berdasarkan analisis data sangat diharapkan dilakukan dengan hasilnya dapat digunakan sebagai patokan sekaligus menjadi perkiraan dalam memperkirakan resiko serta langkah apa saja

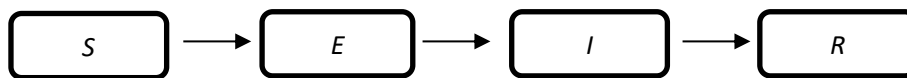
yang dilakukan dan disiapkan dalam menghadapi Covid-19.

Hal-hal di atas mengakibatkan penelitian tentang covid ini perlu dilakukan. Lebih lanjut, sejak Indonesia secara khusus Maluku sebagai provinsi bagian Tmur Indonesia diterpa gelombang tiga virus Covid-19 ini, perlu dilakukan penelitian baru yang dapat mengakomodir berbagai kepentingan/keperluan baru, seperti penambahan dan penyebaran virus pada masyarakat. Model SEIR dipandang dapat memberikan prediksi bagi puncak penyebaran Covid-19 dan prediksi banyaknya anggota populasi yang masuk pada kategori S, E, I, dan R. Selain itu, nilai prediksi dapat dihitung per hari. Hal inilah yang melatarbelakangi peneliti untuk mencoba memprediksi puncak gelombang ke tiga untuk penyebaran Covid secara khusus di Provinsi Maluku. Selanjutnya dengan metode Runge Kutta Fehlberg ordo 10 dan bantuan aplikasi Matlab serta data yang digunakan yaitu data penyebaran di Maluku sejak Juli 2021 – Februari 2022. Dengan pemodelan ini menghasilkan prediksi terjadinya kenaikan penyebaran covid-19.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Model SEIR

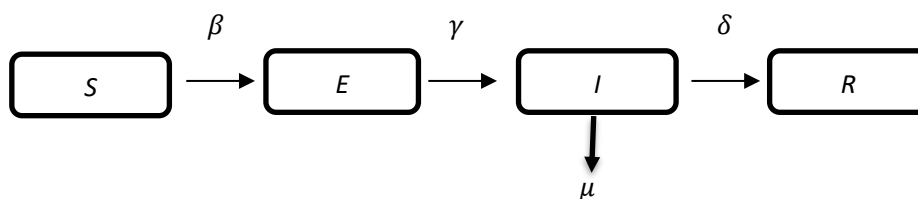
Model SEIR secara umum identik dengan penurunan model SIR, hanya mengalami penambahan sebuah variabel Exposed (E), yaitu individu yang telah terpapar oleh penyakit namun sepenuhnya terinfeksi. Dalam hal ini populasi dibagi menjadi 4 kelompok, yaitu Susceptible (S), Exposed (E), Infected (I), dan Recovered (R), dengan penjelasan bahwa Susceptible (S) adalah orang yang punya resiko, Exposed (E) adalah orang yang terpapar dalam artian Orang Tanpa Gejala (OTG) atau Orang Dalam Gejala (ODG), Infected (I) adalah orang yang terinfeksi covid-19, dan Recovered (R) adalah orang yang sembuh. Total keseluruhan populasi adalah $N = S + E + I + R$ yang sifatnya konstan. (Li & Muldowney, 1995)



Gambar 1. Diagram Alir Model SEIR

Dengan asumsi yang kami gunakan:

- Populasi (N) konstan, dalam arti tidak ada penambahan penduduk.
- Pasien yang sembuh tidak lagi terinfeksi
- Kematian hanya dihitung dari yang terinfeksi.



Gambar 2. Diagram Alir Model SEIR

Keterangan :

- β = Laju Terpapar
- γ = Laju Terinfeksi
- δ = Laju Kesembuhan
- μ = Laju Kematian

Dari model SEIR pada Gambar 2 dapat dinyatakan:

$$\frac{dS}{Dt} = -\beta S$$

$$\beta = -\frac{dS}{dt} \quad (1)$$

$$\frac{dE}{dt} = \beta S - \gamma E$$

$$\gamma E = \beta S - \frac{dE}{dt}$$

$$\gamma = \frac{\beta S - \frac{dE}{dt}}{E} \quad (2)$$

$$\frac{dR}{dt} = \delta I \quad (3)$$

$$\frac{dD}{dt} = \mu I \quad (4)$$

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

$$\frac{dI}{dt} = \gamma E - \frac{dR}{dt} - \frac{dD}{dt} \quad (5)$$

2.2. Metode Runge Kutta Fehlberg Ordo 10

Metode Runge Kutta adalah suatu metode persamaan diferensial langkah satu yang dikembangkan oleh dua orang ahli yaitu Runge dan Kutta. Seperti yang dijelaskan di atas, dalam menyelesaikan persamaan diferensial membutuhkan turunan yang lebih tinggi untuk mencapai derajat ketelitian tepat, akan tetapi dalam metode Runge Kutta ini, dalam mencapai derajat yang lebih tinggi tidak membutuhkan turunan yang sangat kompleks. Seperti yang dijelaskan bahwa Metode Runge Kutta adalah metode untuk solusi numerik dari persamaan diferensial biasa

$$\frac{dy}{dt} = f(t, f) \quad (6)$$

Metode Runge Kutta eksplisit mengambil bentuk

$$y_{n+1} = y_n + h \sum_{i=1}^s b_i k_i$$

$$k_1 = f(t_n, y_n),$$

$$k_2 = f(t_n + c_2 h, y_n + h(a_{21} k_1))$$

$$k_3 = f(t_n + c_3 h, y_n + h(a_{31} k_1 + a_{32} k_2))$$

$$\vdots$$

$$k_i = f(t_n + c_i h, y_n + h \sum_{j=1}^s a_{ij} k_j)$$

3. Metode Penelitian

Sumber data yang akan digunakan pada penelitian ini adalah data yang diambil pada Press Release Satuan Tugas Penanganan Covid-19 berupa data terkonfirmasi positif, dalam perawatan, sembuh, kematian dan suspek di Provinsi Maluku pada Juli 2021 – Februari 2022. Dalam penelitian ini variabel yang digunakan adalah orang dengan risiko (Susceptible/S), orang dengan gejala (Exposed/E), orang terinfeksi (Infected/I), dan orang yang sudah sembuh (Recovered/R).

4. Hasil dan Pembahasan

Maluku sebagai salah satu provinsi pada bagian timur Indonesia tidaklah terlepas dari paparan virus Covid-19. Beberapa varian virus Covid-19 seperti Alpha, Delta dan Omnicron pun tentunya terindikasi menyebar pada wilayah Maluku. Berdasarkan data Kementerian Kesehatan (Tanggap Covid-19 Provinsi Maluku) (Provinsi Maluku dalam Angka 2022) maka data S-E-I-R untuk provinsi maluku pada 9 Februari 2022 secara berturut-turut adalah 1.831.780, 16.220, 1.347, 14.483. Selanjutnya data yang dipilih adalah dari 21 Juli 2021 hingga 9 Februari 2022 sebagai periode waktu yang dekat dengan paparan gelombang ketiga Covid-19.

Untuk menggunakan Model SEIR tingkat kontak β , tingkat inkubasi σ , tingkat pemulihan γ dan parameter lain yang perlu diestimasi. Model yang digunakan pada aplikasi matlab adalah

```
%PDB
fS=@(t,S,E,I,R)-(beta.*S);
fE=@(t,S,E,I,R)(beta.*S)-(gamma.*E);
fI=@(t,S,E,I,R)(gamma.*E)-(miu.*I)-(delta.*I);

fR=@(t,S,E,I,R)(delta.*I);
```

Selanjutnya, nilai awal yang digunakan adalah

```
t(1) = 1
S(1) = 1.844.836,
E(1) = 8.895,
I(1) = 1.031,
R(1) = 7.720,
```

Keterangan:

t = waktu (hari)

S = orang yang punya resiko

E = orang yang terpapar

I = orang yang terinfeksi

R = orang yang sembuh

Untuk kasus ini jumlah penduduk Provinsi Maluku diasumsikan sebagai nilai $N=1.833.257$. Selanjutnya asumsi yang digunakan adalah perilaku keseluruhan penduduk Maluku adalah sama/seragam.

Selanjutnya, dari data yang diperoleh maka dihitung nilai laju data sebagai berikut

$\mu = 0,008469175$

$\beta = 0,003978$

$\gamma = 0,100003$

$\delta = 0,070745901$

merupakan nilai laju kematian, terpapar, terinfeksi, dan sembuh secara berturut-turut. Batas iterasi yang digunakan adalah 500.

```
% Batas iterasi dan waktu
tfinal=500;
h=0.1;
n=ceil(tfinal/h);
```

Keterangan:

$tfinal$ = Batas perhitungan hari

h = Jarak partisi

n = Iterasi maksimal

Pada tahap selanjutnya kita aplikasikan Runge Kutta Fehlberg Ordo 10, dengan keterangan koefisiennya sebagai berikut:

$C(1) = 0-000000000000000000+000$	$A(8,5) = -5-83363229364550369126-002$
$C(2) = 5-000000000000000000-001$	$A(8,6) = 3-04755766857449437925-003$
$C(3) = 5-26509100141612162751-001$	$A(8,7) = 9-15481802977846100286-002$
$C(4) = 7-89763650212418244126-001$	$A(9,1) = 3-12550081351656170620-002$
$C(5) = 3-93923570125671611283-001$	$A(9,2) = 0-000000000000000000+000$
$C(6) = 7-66653986253548800000-001$	$A(9,3) = 0-000000000000000000+000$
$C(7) = 2-89763650212418244126-001$	$A(9,4) = 0-000000000000000000+000$
$C(8) = 1-08477689219566212940-001$	$A(9,5) = 0-000000000000000000+000$
$C(9) = 3-57384241759677451843-001$	$A(9,6) = 1-09123821542419946873-004$
$C(10) = 8-82527661964732346426-001$	$A(9,7) = 1-56725758630995015164-001$
$C(11) = 6-42615758240322548157-001$	$A(9,8) = 1-69294351171974399670-001$
$C(12) = 1.17472338035267653574-001$	$A(10,1) = 1-19066044146750321445-002$
$C(13) = 7-66653986253548800000-001$	$A(10,2) = 0-000000000000000000+000$
$C(14) = 2-89763650212418244126-001$	$A(10,3) = 0-000000000000000000+000$
$C(15) = 5-26509100141612162751-001$	$A(10,4) = 0-000000000000000000+000$
$C(16) = 5-000000000000000000-001$	$A(10,5) = 0-000000000000000000+000$
$C(17) = 1-000000000000000000+000$	$A(10,6) = 2-83437082024606548112-001$
$A(2,1) = 5-000000000000000000-001$	$A(10,7) = -4-16312167570561315056-001$
$A(3,1) = 2-49297267609681978013-001$	$A(10,8) = 2-64646333949743004837-001$
$A(3,2) = 2-77211832531930184738-001$	$A(10,9) = 7-38849809146269076388-001$
$A(4,1) = 1-97440912553104561032-001$	$A(11,1) = 2-34065736913354493717-002$
$A(4,2) = 0-000000000000000000+000$	$A(11,2) = 0-000000000000000000+000$
$A(4,3) = 5-92322737659313683095-001$	$A(11,3) = 0-000000000000000000+000$
$A(5,1) = 1-97320548628702140900-001$	$A(11,4) = 0-000000000000000000+000$
$A(5,2) = 0.000000000000000000+000$	$A(11,5) = 0-000000000000000000+000$
$A(5,3) = 2-95083334092671853711-001$	$A(11,6) = 9-44931301894961802240-002$
$A(5,4) = -9-84803125957023833277-002$	$A(11,7) = -2-72872055901956419006-001$
$A(6,1) = 1-31313417344461520076-001$	$A(11,8) = 2-24022046115592207410-001$
$A(6,2) = 0.000000000000000000+000$	$A(11,9) = 6-04381441075135095416-001$
$A(6,3) = 0-000000000000000000+000$	$A(11,10) = -3-08153769292799652586-002$
$A(6,4) = 1-10154439538638507040-001$	$A(12,1) = 4-54437753101763699408-002$
$A(6,5) = 5-25186129370448772884-001$	$A(12,2) = 0-000000000000000000+000$
$A(7,1) = 1-34200341846322406193-001$	$A(12,3) = 0-000000000000000000+000$
$A(7,2) = 0-000000000000000000+000$	$A(12,4) = 0-000000000000000000+000$
$A(7,3) = 0-000000000000000000+000$	$A(12,5) = 0-000000000000000000+000$
$A(7,4) = 6-96088703288076908079-001$	$A(12,6) = -1-18799667186441567723-003$
$A(7,5) = 2-50497721570339375352-001$	$A(12,7) = 1-20356549909281134803-002$
$A(7,6) = -7-91023116492320445498-001$	$A(12,8) = 7-51269029876479240591-002$
$A(8,1) = 7-22182741896621454448-002$	$A(12,9) = -1-82209240988845690412-002$
$A(8,2) = 0-000000000000000000+000$	$A(12,10) = -2-57152854084065042855-004$
$A(8,3) = 0-000000000000000000+000$	$A(12,11) = 4-53207837134829585506-003$
$A(8,4) = 0-000000000000000000+000$	$A(13,1) = 1-78401086400436429292-001$

Gambar 3. Runge Kutta Fehlberg Ordo 10

$A(13,2) = 0.000000000000000000+000$	$A(16,6) = 0-000000000000000000+000$
$A(13,3) = 0-000000000000000000+000$	$A(16,7) = 0-000000000000000000+000$
$A(13,4) = 1-10154439538638507040-001$	$A(16,8) = 0-000000000000000000+000$
$A(13,5) = 5-25186129370448772884-001$	$A(16,9) = 0-000000000000000000+000$
$A(13,6) = -4-89148591820436212803-001$	$A(16,10) = 0-000000000000000000+000$
$A(13,7) = 9-32443612635135733038-001$	$A(16,11) = 0-000000000000000000+000$
$A(13,8) = -7-74475053439839525409-001$	$A(16,12) = 0-000000000000000000+000$
$A(13,9) = -1-05490217813935824270+000$	$A(16,13) = 0-000000000000000000+000$
$A(13,10) = 1-31046712034157154509-001$	$A(16,14) = 0-000000000000000000+000$
$A(13,11) = 5-87049777599487392267-001$	$A(16,15) = 8-07097076095341093251-001$
$A(13,12) = 6-20898052074878791881-001$	$A(17,1) = 5-73207954320575412321-002$
$A(14,1) = 1-30220806600497793496-001$	$A(17,2) = -5-000000000000000000-001$
$A(14,2) = 0-000000000000000000+000$	$A(17,3) = -8-97470163394855120846-001$
$A(14,3) = 0-000000000000000000+000$	$A(17,4) = 0-000000000000000000+000$
$A(14,4) = 6-96088703288076908079-001$	$A(17,5) = 0-000000000000000000+000$
$A(14,5) = 2-50497721570339375352-001$	$A(17,6) = -1-03991004922695343354+000$
$A(14,6) = -7-58948987129607342662-001$	$A(17,7) = -4-07357014288385809022-001$
$A(14,7) = -1-71517208463488383577-001$	$A(17,8) = -1-82830236640741849663-001$
$A(14,8) = -3-70217673678906704688-001$	$A(17,9) = -3-33659270649225021137-001$
$A(14,9) = 1-24981008574747347802-001$	$A(17,10) = 3-95648542376057924001-001$
$A(14,10) = 3-35310924837267073965-003$	$A(17,11) = 6-95057049459982281780-001$
$A(14,11) = -6-63254613676153581907-003$	$A(17,12) = 2-71487376457383239111-001$
$A(14,12) = 4-29116573121617904714-001$	$A(17,13) = 5-85423734866589756811-001$
$A(14,13) = -3-71778567824697893108-002$	$A(17,14) = 9-58819072213235370429-001$
$A(15,1) = 2-49297267609681978013-001$	$A(17,15) = 8-97470163394855184206-001$
$A(15,2) = 2-77211832531930184738-001$	$A(17,16) = 5-000000000000000000-001$
$A(15,3) = 0-000000000000000000+000$	$B(1) = 3-33333333333333333333-002$
$A(15,4) = 0-000000000000000000+000$	$B(2) = -3-33333333333333333333-002$
$A(15,5) = 0-000000000000000000+000$	$B(3) = -1-200000000000000000-001$
$A(15,6) = -1-45940595936085218185-001$	$B(4) = 0-000000000000000000+000$
$A(15,7) = -7-99015893511029475358-001$	$B(5) = 0-000000000000000000+000$
$A(15,8) = 0-000000000000000000+000$	$B(6) = -1-300000000000000000-001$
$A(15,9) = 0-000000000000000000+000$	$B(7) = -1-800000000000000000-001$
$A(15,10) = 0-000000000000000000+000$	$B(8) = 0-000000000000000000+000$
$A(15,11) = 0-000000000000000000+000$	$B(9) = 2-77429188517743176508-001$
$A(15,12) = 0-000000000000000000+000$	$B(10) = 1-89237478148923490158-001$
$A(15,13) = 1-45940595936085218185-001$	$B(11) = 2-77429188517743176508-001$
$A(15,14) = 7-99015893511029475358-001$	$B(12) = 1-89237478148923490158-001$
$A(16,1) = 5-000000000000000000-001$	$B(13) = 1-300000000000000000-001$
$A(16,2) = 0-000000000000000000+000$	$B(14) = 1-800000000000000000-001$
$A(16,3) = -8-07097076095341093251-001$	$B(15) = 1-200000000000000000-001$
$A(16,4) = 0-000000000000000000+000$	$B(16) = 3-33333333333333333333-002$
$A(16,5) = 0-000000000000000000+000$	$B(17) = 3-33333333333333333333-002$

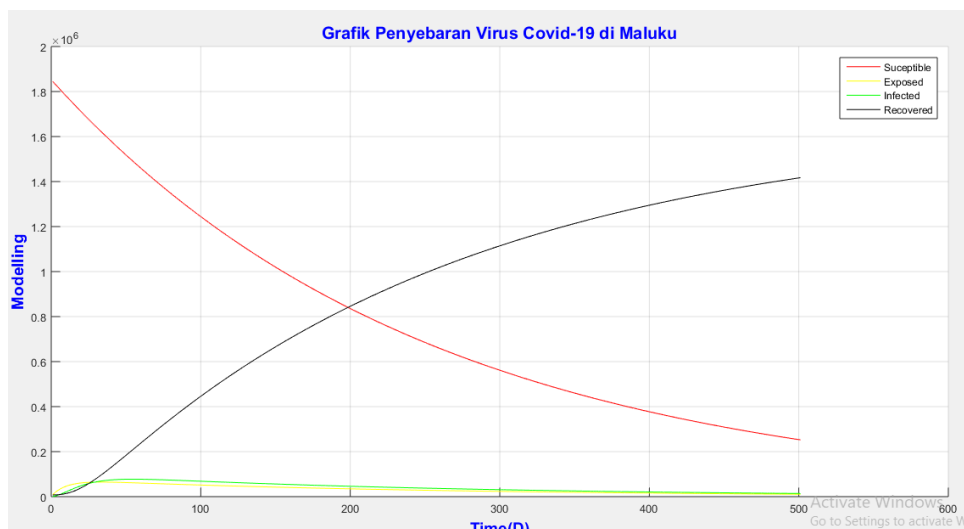
Gambar 4. Lanjutan Tabel Runge Kutta Fehlberg Ordo 10

Hasil keluaran yang diperoleh adalah

Tabel 1. Hasil Iterasi Model SEIR

i	t+h	S(i)	E(i)	I(i)	R(i)
·					
·					
·					
523,00000	53,20000	1498898,79505	61731,29860	77496,41394	201194,19548
524,00000	53,30000	1498302,62849	61710,21858	77499,76258	201742,45933
525,00000	53,40000	1497706,69905	61689,11236	77502,87454	202290,74620
526,00000	53,50000	1497111,00663	61667,98028	77505,75141	202839,05443
527,00000	53,60000	1496515,55114	61646,82270	77508,39480	203387,38235
528,00000	53,70000	1495920,33248	61625,63998	77510,80630	203935,72832
529,00000	53,80000	1495325,35056	61604,43244	77512,98749	204484,09070
530,00000	53,90000	1494730,60529	61583,20043	77514,93995	205032,46787
531,00000	54,00000	1494136,09657	61561,94430	77516,66523	205580,85821
532,00000	54,10000	1493541,82431	61540,66437	77518,16490	206129,26013
533,00000	54,20000	1492947,78841	61519,36098	77519,44049	206677,67202
534,00000	54,30000	1492353,98878	61498,03444	77520,49355	207226,09231
535,00000	54,40000	1491760,42533	61476,68510	77521,32560	207774,51943
536,00000	54,50000	1491167,09796	61455,31326	77521,93816	208322,95181
537,00000	54,60000	1490574,00658	61433,91924	77522,33274	208871,38792
538,00000	54,70000	1489981,15109	61412,50337	77522,51085	209419,82621
539,00000	54,80000	1489388,53140	61391,06595	77522,47397	209968,26515
540,00000	54,90000	1488796,14742	61369,60728	77522,22359	210516,70324
541,00000	55,00000	1488203,99905	61348,12768	77521,76119	211065,13895
542,00000	55,10000	1487612,08620	61326,62744	77521,08823	211613,57080
543,00000	55,20000	1487020,40877	61305,10687	77520,20617	212161,99730
544,00000	55,30000	1486428,96668	61283,56626	77519,11647	212710,41698
545,00000	55,40000	1485837,75982	61262,00590	77517,82055	213258,82836
546,00000	55,50000	1485246,78811	61240,42608	77516,31985	213807,23001
547,00000	55,60000	1484656,05145	61218,82709	77514,61581	214355,62046
548,00000	55,70000	1484065,54975	61197,20922	77512,70982	214903,99829
549,00000	55,80000	1483475,28291	61175,57274	77510,60331	215452,36207
550,00000	55,90000	1482885,25084	61153,91793	77508,29767	216000,71039
551,00000	56,00000	1482295,45345	61132,24508	77505,79429	216549,04184

Dari hasil iterasi sebanyak 5002 kali iterasi, terlihat bahwa puncak infected ada pada hari ke 54, dan mulai turun pada hari ke 55 setelah tanggal 9 februari yang merupakan hari terakhir data diperoleh. Berikut adalah grafik S-E-I-R yang dapat dilihat sebagai berikut:



Gambar 5. Grafik Penyebaran Virus Covid-19 di Maluku

Dapat dilihat bahwa terdapat satu puncak yang terjadi pada hari ke-54. Setelah hari ke 54 atau 4 April 2022, grafik jumlah infected akan terus turun menuju nol.

5. Kesimpulan

Penyebaran gelombang ketiga Covid-19 di Provinsi Maluku diperkirakan mencapai puncak pada awal April 2022 dan selanjutnya akan terus turun menuju nol. Hasil ini merupakan prediksi yang diperoleh dengan menggunakan Model SEIR dengan Runge Kutta Fehlberg Orde-10 yang dibantu dengan aplikasi Matlab.

Data yang digunakan adalah data Covid-19 di provinsi maluku sejak Juli 2021 hingga februari 2022. Dengan asumsi tidak ada perubahan perilaku penduduk, maka pemodelan ini dianggap dapat mewakili keadaan untuk saat ini.

Daftar Pustaka

- [1] Biswas, M. H. A., Paiva, L. T. & De Pinho, M. D. R., (2014). A SEIR model for control of infectious diseases with constraints. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 11(4), 761-784.
- [2] Harfiansyah, A. O., Arifianto, D. & A'yun, Q., (2020). Model berbasis SEIR dengan metode Runge Kutta Fehlberg Ordo 10 dalam prediksi awal penyebaran Covid-19 di Provinsi DKI Jakarta dengan aplikasi Matlab, 1-11. <http://repository.unmuhjember.ac.id/8814/10/j.%20ARTIKEL.pdf>
- [3] <https://newssetup.kontan.co.id/news/indonesia-sudah-mendekati-puncak-gelombang-ketiga-covid-19-waspada>
- [4] Strunk, W., & White, E. B. (1979). *The Elements of Style* (3rd ed.). New York: Macmillan.
- [5] Data Populasi Provinsi Maluku 2021, diambil dari Provinsi Maluku Dalam Angka 2022: <https://maluku.bps.go.id/>
- [6] Hasan, N., Resmawan, R. & Rahmi, E., (2020). Analisis kestabilan model eko-epidemiologi dengan pemanenan konstan pada predator. *Jurnal Matematika, Statistika dan Komputasi*, 16(2), 121-142.
- [7] Kovalnogov, V. N., Simos, T. E. & Tsitouras, C., (2021). Runge–Kutta pairs suited for SIR-type epidemic models. *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, 44(6), 5210-5216.
- [8] Rakuasa, H., Tambunan, M. P. & Tambunan, R. P., (2021). Analisis sebaran spasial tingkat kejadian kasus Covid-19 dengan metode Kernel Density di Kota Ambon. *Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan dan Profesi Kegeografian*, 18(2), 76-82.
- [9] Yuki, K., Fujiogi, M. and Koutsogiannaki, S., (2020). COVID-19 pathophysiology: A review. *Clinical*

Immunology, 215, 108427.

- [10] Yang, L., Liu, S., Liu, J., Zhang, Z., Wan, X., Huang, B., Chen, Y. & Zhang, Y., (2020). COVID-19: immunopathogenesis and immunotherapeutics. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 5(1), 1- 8.
- [11] Madhi, S. A., Kwatra, G., Myers, J. E., Jassat, W., Dhar, N., Mukendi, C.K., Nana, A.J., Blumberg, L., Welch, R., Ngorima-Mabhena, N. & Mutevedzi, P. C., (2022). Population immunity and Covid-19 severity with Omicron variant in South Africa. *New England Journal of Medicine*. 386, 1314-1326.
- [12] Li, M.Y. & Muldowney, J.S., (1995). Global stability for the SEIR model in epidemiology. *Mathematical Biosciences*, 125(2), 155-164.