

MODEL DETERMINISTIK DUA FASE UNTUK PENYEBARAN COVID-19 DI PROVINSI RIAU**Muhammad Octariansyah**

Program Studi Pendidikan Matematika, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim, Riau

e-mail: muhammadoctariansyah@gmail.com

Granita

Program Studi Pendidikan Matematika, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim, Riau

*e-mail: granitafc@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan penyebaran COVID-19 di Provinsi Riau dengan pendekatan model deterministik dua fase. Model ini terdiri dari fase pertama yang mengikuti pertumbuhan eksponensial dan fase kedua yang menggunakan model eksponensial terbatas. Data yang digunakan adalah jumlah kasus kumulatif COVID-19 dari Maret 2020 hingga Januari 2024. Pengolahan dilakukan dengan tiga variasi titik belok untuk menguji akurasi prediksi. Setiap model dianalisis dengan metode regresi linier dan pendekatan numerik menggunakan Solver untuk menentukan parameter optimal. Akurasi masing-masing model dievaluasi dengan nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Hasil menunjukkan bahwa model dengan titik belok pada 18 Oktober 2020 memberikan hasil prediksi terbaik, dengan nilai MAPE sebesar 13,68% yang dikategorikan "akurat" menurut klasifikasi Lewis. Temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan dua fase mampu merepresentasikan dinamika penyebaran COVID-19 secara lebih realistik dan akurat dibandingkan model satu fase. Hasil penelitian ini menjawab tujuan utama, yaitu mengembangkan model prediksi yang adaptif dan valid dalam menggambarkan transisi fase penyebaran COVID-19 di Provinsi Riau.

Kata Kunci: model dua fase, COVID-19, eksponensial terbatas, titik belok, MAPE.**Abstract**

This study aims to model the spread of COVID-19 in Riau Province using a two-phase deterministic model. The model consists of an initial exponential growth phase followed by a confined exponential growth phase. The data used include the cumulative COVID-19 cases from March 2020 to January 2024. Three inflection point variations were tested to examine prediction accuracy. Each model was analyzed using linear regression and numerical approximation through Solver to determine optimal parameters. The accuracy was evaluated using the Mean Absolute Percentage Error (MAPE). The results showed that the model with an inflection point on October 18, 2020, provided the most accurate prediction, with a MAPE value of 13.68%, categorized as "accurate" under Lewis' classification. These findings suggest that the two-phase model more realistically and accurately represents the COVID-19 transmission dynamics compared to a single-phase model. This result addresses the main objective: to develop an adaptive and valid predictive model in capturing the transition phases of COVID-19 spread in Riau Province.

Keywords: two-phase model, COVID-19, confined exponential, inflection point, MAPE.**PENDAHULUAN**

Model pertumbuhan penduduk merupakan salah satu topik penting dalam ilmu biomatematika, yang seringkali dijelaskan dengan menggunakan model deterministik berbasis persamaan diferensial. Salah satu model awal yang sering digunakan adalah model eksponensial, yang menggambarkan pertumbuhan populasi yang tak terbatas. Namun, seiring waktu, ditemukan bahwa dalam kondisi

nyata populasi tidak tumbuh tanpa batas melainkan dipengaruhi oleh keterbatasan sumber daya dan ruang. Oleh karena itu, model logistik dikembangkan untuk memasukkan faktor pembatas ini dalam bentuk parameter kapasitas maksimum populasi (*carrying capacity*) (Marcus-Roberts & Thompson, 1982).

Meskipun model logistik memberikan gambaran yang lebih realistik dibandingkan model eksponensial, model ini memiliki keterbatasan dalam

hal fleksibilitas, khususnya dalam menggambarkan perubahan pola pertumbuhan yang tidak selalu mengikuti satu bentuk kurva tunggal. Sebagai solusi atas keterbatasan ini, Banks mengembangkan model deterministik dua fase. Model ini menggabungkan dua bentuk pertumbuhan berbeda pada fase yang berbeda, sehingga dapat menangkap dinamika populasi yang berubah, misalnya saat terjadi infleksi dalam pertumbuhan (Banks, 1996).

Permasalahan utama dalam pemodelan ini adalah bagaimana menyusun model yang mampu memprediksi penyebaran penyakit secara akurat dalam dua fase, yaitu fase awal pertumbuhan cepat dan fase berikutnya saat terjadi perlambatan. Dalam konteks ini, model dua fase menjadi solusi yang relevan, karena memberikan kemampuan untuk mengidentifikasi dan mengelola titik belok (*inflection point*) yang sering kali menjadi batas antara penyebaran yang eksponensial dan penyebaran yang melambat.

Keunggulan utama dari model dua fase adalah fleksibilitasnya dalam menentukan titik belok dan bentuk pertumbuhan pada masing-masing fase. Ini memungkinkan model untuk menyesuaikan diri dengan pola data aktual yang tidak sepenuhnya eksponensial maupun logistik tunggal. Dengan menggabungkan model eksponensial pada fase awal dan model pertumbuhan terbatas pada fase kedua, model dua fase dapat menggambarkan transisi dari percepatan ke perlambatan secara lebih alami (Granita & Syamsudhuha, 2016).

Model deterministik dua fase awalnya banyak digunakan untuk studi populasi, namun pendekatan ini juga dapat diterapkan dalam konteks penyebaran penyakit menular seperti COVID-19. COVID-19 adalah penyakit yang disebabkan oleh virus corona yang pertama kali ditemukan di Wuhan, China pada Desember 2019. Penyakit ini dengan cepat menyebar ke seluruh dunia dan pada tanggal 11 Maret 2020 dinyatakan sebagai pandemi oleh WHO (Fransiska, 2021).

Penyebaran COVID-19 di Indonesia dimulai secara resmi sejak 2 Maret 2020 (Indonesia.go.id, 2020), dan hingga 14 Januari 2024 tercatat sebanyak 6.812.127 kasus. Di Provinsi Riau sendiri, jumlah kasus tercatat sebanyak 155.330 kasus pada tanggal tersebut (m.andrafarm.com, 2024). Fenomena ini menunjukkan adanya dinamika penyebaran yang

sangat kompleks, termasuk fase percepatan dan pelambatan kasus yang cukup tajam.

Jika ditinjau secara grafik, kurva pertumbuhan kasus COVID-19 menunjukkan pola eksponensial pada awal pandemi, diikuti oleh perlambatan mendekati titik jenuh. Ini mencerminkan bahwa satu model pertumbuhan tunggal tidak cukup untuk merepresentasikan keseluruhan kurva penyebaran. Oleh karena itu, model dua fase yang menggabungkan model eksponensial dan eksponensial terbatas lebih sesuai untuk menggambarkan pola pertumbuhan seperti ini.

Adapun penelitian terdahulu yang relevan dengan judul penelitian ini antara lain penelitian sebelumnya oleh Yulida dan Karim menggunakan model SIR (*Susceptible-Infected-Recovered*) dengan pendekatan numerik seperti metode Runge-Kutta dan kuadrat terkecil nonlinier untuk memprediksi penyebaran COVID-19 di Provinsi Kalimantan Selatan (Yulida & Karim, 2020). Sementara itu, Granita dan Syamsudhuha mengusulkan model deterministik dua-fase untuk studi populasi di Kota Pekanbaru, menggabungkan pertumbuhan eksponensial pada fase awal dan pertumbuhan terbatas pada fase berikutnya, yang memberikan fleksibilitas dalam menentukan titik belok penyebaran penyakit dan menunjukkan nilai dari *root mean square error* lebih kecil jika dibandingkan dengan model 1 fase (Granita & Syamsudhuha, 2016).

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, informasi yang ingin digali dari penelitian ini adalah bagaimana penerapan model deterministik dua-fase untuk penyebaran COVID-19 di Provinsi Riau, yang mana menggabungkan fase eksponensial awal dan fase eksponensial terbatas, sehingga dapat lebih akurat dalam memprediksi dinamika penyebaran dan titik belok kasus COVID-19 di wilayah tersebut. Pendekatan ini diharapkan mampu memberikan analisis yang lebih adaptif dibandingkan model satu-fase seperti logistik atau eksponensial sederhana, terutama dalam menangani karakteristik penyebaran COVID-19 yang kompleks di Provinsi Riau.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memodelkan penyebaran COVID-19 di Riau dengan model dua fase yang terdiri dari fase eksponensial dan fase eksponensial terbatas, guna memperoleh prediksi yang lebih akurat terkait dinamika penyebaran, titik belok, dan jumlah maksimum kasus (*carrying capacity*). Penelitian ini juga bertujuan untuk

mengukur efektivitas model tersebut melalui pendekatan kuantitatif dan visual, sehingga dapat mendukung pengambilan keputusan berbasis data dalam penanganan pandemi di wilayah tersebut.

KAJIAN TEORI

MODEL PERTUMBUHAN EKSPONENSIAL

Model eksponensial digunakan untuk menggambarkan pertumbuhan populasi atau penyebaran penyakit yang sangat cepat pada tahap awal. Bentuk umum dari model eksponensial adalah (Banks, 1996):

$$N(t) = N_0 \cdot e^{r_1 t} \quad (1)$$

dengan $N(t)$ adalah jumlah kasus kumulatif pada waktu ke- t , N_0 merupakan jumlah kasus awal pada saat $t = 1$, r_1 adalah laju pertumbuhan eksponensial, dan e adalah bilangan Euler. Model ini menggambarkan pertumbuhan cepat yang tidak terbatas, dan cocok diterapkan pada fase awal penyebaran penyakit saat jumlah kasus meningkat drastik.

Agar dapat diterapkan metode regresi linier, model ini ditransformasikan ke bentuk logaritmik sebagai berikut:

$$\ln N(t) = \ln N_0 + r_1 t \quad (2)$$

Dengan bentuk ini, parameter r_1 dan $\ln N_0$ dapat diestimasi menggunakan regresi linier terhadap $\ln N(t)$ dan waktu t .

MODEL PERTUMBUHAN EKSPONENSIAL TERBATAS

Untuk menggambarkan pertumbuhan yang melambat karena adanya faktor pembatas, digunakan model eksponensial terbatas. Bentuk umum model ini adalah (Banks, 1996):

$$N(t) = \frac{K}{1+A \cdot e^{-r_2 t}} \quad (3)$$

dengan $N(t)$ menyatakan jumlah kasus kumulatif pada waktu ke- t , K adalah kapasitas maksimum jumlah kasus (batas atas atau *carrying capacity*), A adalah konstanta integrasi yang ditentukan oleh kondisi awal, dan r_2 adalah laju pertumbuhan terbatas. Model ini menggambarkan pertumbuhan awal yang cepat yang kemudian melambat dan mendekati batas atas K , namun tidak pernah melewatkinya. Estimasi parameter K , A , dan r_2 biasanya dilakukan melalui metode numerik non-linier, salah satunya menggunakan *Solver* pada Microsoft Excel.

MEAN ABSOLUTE PERCENTAGE ERROR (MAPE)

Untuk mengevaluasi akurasi model prediksi terhadap data aktual, digunakan ukuran kesalahan MAPE:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \times 100\% \quad (4)$$

A_t adalah nilai aktual pada waktu ke- t , F_t adalah nilai hasil prediksi pada waktu ke- t , dan n adalah jumlah periode pengamatan. MAPE menunjukkan seberapa besar kesalahan relatif model terhadap data aktual dalam bentuk persentase. Berdasarkan klasifikasi Lewis, interpretasi nilai MAPE dibagi menjadi empat kategori, yaitu sangat akurat ($MAPE < 10\%$), akurat ($10\% \leq MAPE < 20\%$), cukup ($20\% \leq MAPE < 50\%$), dan kurang akurat ($MAPE \geq 50\%$). Model prediksi dengan nilai MAPE paling kecil dianggap sebagai model terbaik (Lewis, 1982).

METODE

Penelitian ini merupakan studi pustaka yang bertujuan untuk membangun model deterministik dua fase guna memprediksi penyebaran COVID-19 di Provinsi Riau. Data yang digunakan diperoleh dari situs resmi m.andrafarm.com, yang menyajikan data kasus COVID-19 secara kumulatif mingguan untuk setiap provinsi. Untuk merepresentasikan perkembangan bulanan, peneliti mengambil salah satu data mingguan dari setiap bulan secara konsisten sebagai perwakilan.

Pengolahan data diawali dengan menentukan titik belok secara eksploratif berdasarkan perubahan tren pada grafik data kumulatif kasus positif COVID-19 di Provinsi Riau. Titik belok ini berperan sebagai batas pembagi antara dua fase pertumbuhan. Sebagai contoh akan ditunjukkan pengolahan salah satu titik belok yaitu pada tanggal 15 November 2020.

Pada fase pertama, data yang digunakan adalah jumlah kumulatif kasus positif dari awal hingga titik belok yang telah ditentukan. Data waktu diubah menjadi skala waktu ke-0 agar sesuai dengan bentuk model yang digunakan. Kemudian dilakukan transformasi logaritmik terhadap data kumulatif agar dapat dilakukan regresi linier dan diperoleh nilai parameter awal dan laju pertumbuhan.

Tabel 1. Data kumulatif dan hasil transformasi logaritmik untuk fase 1

Bulan Ke Fase	Jumlah Positif	Ln(Kasus)
0	1	0
1	20	2,995732
2	101	4,615121
3	126	4,836282
4	246	5,505332
5	1017	6,924612
6	3909	8,271037
7	11642	9,362375
8	16609	9,7177

Setelah itu, dilakukan regresi linier antara waktu dan logaritma dari jumlah kasus kumulatif untuk memperoleh nilai parameter model fase pertama, dengan nilai y adalah Ln(Kasus) dan x adalah waktu. Nilai prediksi kemudian dihitung menggunakan parameter hasil regresi tersebut, yang mana nilai N0 diambil dari nilai Intercept dan nilai r1 dari nilai X Variable 1.

Tabel 2. Hasil regresi dan prediksi model fase 1

Bulan Ke Fase	Jumlah Positif	Prediksi Model		Coefficients
0	1	3,712626442	Intercept	1,31174
1	20	11,41111326	X Variable 1	1,122848
2	101	35,07315045		
3	126	107,80069		
4	246	331,3357542		
5	1017	1018,392202		
6	3909	3130,126054		
7	11642	9620,742475		
8	16609	29570,27423		

Setelah titik belok, data masuk ke dalam fase kedua. Pada fase ini, digunakan model eksponensial terbatas yang memperhitungkan adanya batas maksimum penyebaran kasus.

Nilai K (batas maksimum) ditentukan berdasarkan kecenderungan data aktual di fase akhir, dengan nilai K harus lebih dari data maksimumnya, yang mana pada kasus ini adalah $K > 155330$. Sedangkan parameter A dihitung dari nilai awal fase 2 ($N(t_i)$) dengan rumus $A = (K/N(t_i)) - 1$

Setelah itu, nilai parameter r dan K dicari menggunakan fitur Solver pada Excel dengan

meminimalkan galat antara prediksi model dan data aktual di fase kedua.

Tabel 3. Hasil prediksi fase 2 menggunakan model eksponensial terbatas

Bulan Ke Fase	Jumlah Positif	Prediksi Model	Error^2	K	157949,2
0	16609	29570,27	1,68E+08	A	4,341487
1	23606	35225,82	1,35E+08	r	0,220063
2	27183	41612,42	2,08E+08		
3	30074	48697,47	3,47E+08		
4	32554	56403,98	5,69E+08		
5	38233	64608,84	6,96E+08		
6	51172	73147,47	4,83E+08		
7	66871	81825,32	2,24E+08		
8	79403	90434,78	1,22E+08		
9	116794	98774,70	3,25E+08		
10	126501	106668,58	3,93E+08		
11	128148	113978,20	2,01E+08		
12	128533	120610,61	62764199		
13	128877	126518,49	5562554		
14	128951	131695,08	7529974		
15	132088	136165,88	16629135		
16	148864	139979,24	78938935		
17	150763	143197,36	57238903		
18	150821	145888,82	24326372		
19	150860	148122,93	7491568		
20	150956	149965,83	980444		
21	151748	151478,19	72795,56		
22	152712	152714,06	4,246459		
23	153044	153720,49	457632,5		
24	153909	154537,75	395331,3		
25	154774	155199,90	181388,6		
26	154909	155735,36	682878,2		
27	154928	156167,74	1536954		
28	154954	156516,45	2441240		
29	154976	156797,40	3317503		
30	155113	157023,59	3650351		
31	155299	157205,57	3635010		
32	155330	157351,91	4088118		
33	155330	157469,54	4577629		
34	155330	157564,06	4991028		
35	155330	157639,99	5336070		
36	155330	157700,98	5621546		
37	155330	157749,95	5856176		
38	155330	157789,2757	6048037		
			4,18E+09		

Prediksi dari kedua fase digabungkan dalam satu grafik untuk menggambarkan kurva penyebaran COVID-19 secara keseluruhan. Dengan menggabungkan kedua model, diperoleh grafik prediksi dua fase yang memvisualisasikan perubahan laju pertumbuhan kasus. Grafik ini membantu menunjukkan keakuratan model dalam menyesuaikan tren pertumbuhan cepat di awal dan pelambatan di akhir dengan lebih realistik. Adapun untuk grafiknya ditampilkan pada bagian hasil dan pembahasan.

Langkah di atas diulang untuk beberapa titik belok berbeda guna memperoleh model prediksi terbaik. Setiap hasil prediksi kemudian dibandingkan dengan data aktual menggunakan nilai Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Nilai MAPE dihitung berdasarkan selisih absolut persentase antara nilai aktual dan prediksi untuk seluruh periode pengamatan. Adapun perhitungan nilai MAPE dengan contoh grafik pada titik belok di tanggal 15 November 2020 adalah sebagai berikut.

Tabel 4. Pengolahan Nilai MAPE

Data Aktual (At)	Data Prediksi 1(Ft1)	ERROR Ft1
1	3,712626442	2,712626442
20	11,41111326	0,429444337
101	35,07315045	0,652741085
126	107,80069	0,144438969
246	331,3357542	0,34689331
1017	1018,392202	0,00136893
3909	3130,126054	0,199251457
11642	9620,742475	0,173617722
16609	29570,27423	0,780376556
23606	35225,81811	0,492240028
27183	41612,41995	0,530825146
30074	48697,47142	0,619254885
32554	56403,97928	0,732628226
38233	64608,83543	0,689870934
51172	73147,46898	0,42944323
66871	81825,31617	0,223629319
79403	90434,77826	0,138934023
116794	98774,6982	0,15428277
126501	106668,5828	0,156776762
128148	113978,2012	0,110573702
128533	120610,6141	0,06163698
128877	126518,4933	0,018300447
128951	131695,0798	0,02128002
132088	136165,8837	0,030872477

148864	139979,2414	0,059683729
150763	143197,3604	0,050182337
150821	145888,8228	0,032702191
150860	148122,9271	0,018143132
150956	149965,8263	0,006559353
151748	151478,1935	0,001777991
152712	152714,0607	1,3494E-05
153044	153720,4854	0,004420202
153909	154537,7538	0,004085231
154774	155199,8975	0,002751738
154909	155735,3645	0,005334516
154928	156167,7394	0,008002035
154954	156516,4467	0,010083293
154976	156797,4014	0,011752797
155113	157023,5892	0,012317402
155299	157205,5703	0,012276771
155330	157351,9096	0,013016865
155330	157469,5394	0,013774155
155330	157564,0609	0,014382675
155330	157639,9935	0,014871522
155330	157700,98	0,015264147
155330	157749,9538	0,015579436
155330	157789,2757	0,015832587
MAPE		21,68960714

Model dengan nilai MAPE terkecil dipilih sebagai model dengan akurasi terbaik dalam memprediksi penyebaran kasus COVID-19 di Provinsi Riau.

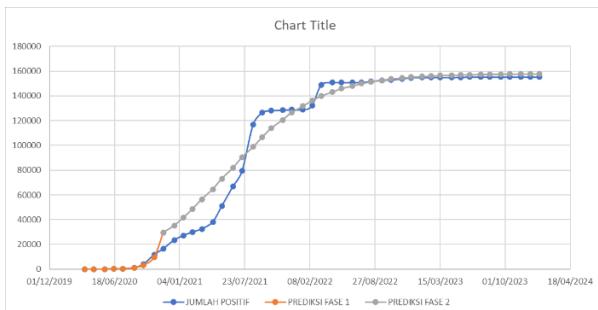
HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

Penelitian ini menghasilkan tiga model prediksi penyebaran COVID-19 di Provinsi Riau berdasarkan pendekatan deterministik dua fase, yaitu dengan kombinasi model eksponensial pada fase pertama dan model eksponensial terbatas pada fase kedua. Setiap model menggunakan titik belok (*inflection point*) yang berbeda untuk mengamati pengaruhnya terhadap akurasi prediksi terhadap data aktual.

Tiga model dibuat berdasarkan tiga titik belok, yaitu:

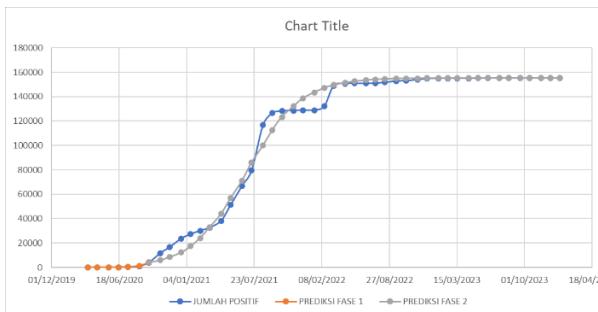
1. Prediksi Pertama: Titik belok pada 15 November 2020



Gambar 1. Grafik Prediksi Pertama

Pada skenario ini, fase 1 terdiri atas data dari Maret 2020 hingga November 2020, dan fase 2 dimulai dari November 2020 hingga Januari 2024. Hasil prediksi menunjukkan bahwa model mengikuti tren umum pertumbuhan kasus, namun terdapat deviasi yang cukup besar terhadap data aktual pada fase kedua.

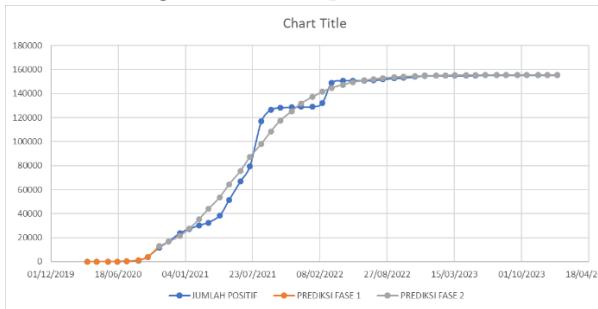
2. Prediksi Kedua: Titik belok pada 14 September 2020



Gambar 2. Grafik Prediksi Kedua

Pada titik belok yang lebih awal ini, fase eksponensial mencakup rentang waktu yang lebih singkat. Prediksi fase 2 cenderung mendekati data aktual, terutama pada bagian akhir kurva, dengan perbedaan nilai yang lebih stabil dibanding prediksi pertama.

3. Prediksi Ketiga: Titik belok pada 18 Oktober 2020



Gambar 3. Grafik Prediksi Ketiga

Hasil pada prediksi ini menunjukkan tingkat kecocokan yang paling baik. Grafik dua fase

menyatu secara mulus pada titik belok, dan fase kedua berhasil merepresentasikan perlambatan pertumbuhan kasus secara mendekati aktual. Secara visual maupun numerik, grafik ini memiliki tren paling realistik dalam menggambarkan penyebaran COVID-19.

Setiap model prediksi dievaluasi menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) terhadap data aktual dari bulan Maret 2020 hingga Januari 2024. Hasil perhitungan MAPE adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Verifikasi MAPE terhadap Model

Model	Titik Belok	Nilai MAPE (%)	Kategori Akurasi
1	15 November 2020	21,69	Cukup
2	14 September 2020	15,63	Akurat
3	18 Oktober 2020	13,68	Akurat (Terbaik)

Dari ketiga model, prediksi ketiga dengan titik belok 18 Oktober 2020 menunjukkan nilai MAPE paling kecil dan termasuk dalam kategori "Akurat" menurut klasifikasi Lewis, sehingga dianggap sebagai model prediksi terbaik untuk menggambarkan penyebaran COVID-19 di Provinsi Riau (Lewis, 1982).

PEMBAHASAN

Model deterministik dua fase yang digunakan dalam penelitian ini berhasil merepresentasikan dinamika penyebaran COVID-19 di Provinsi Riau. Dari ketiga model prediksi yang dikembangkan berdasarkan titik belok yang berbeda, prediksi ketiga dengan titik belok pada 18 Oktober 2020 menunjukkan performa paling optimal, baik secara visual maupun numerik. Kurva prediksi pada titik belok ini menyatu secara mulus antara fase pertama dan fase kedua, tanpa deviasi ekstrem dari data aktual. Selain itu, nilai MAPE untuk model ketiga tercatat sebesar 13,68%, yang masuk dalam kategori akurat menurut klasifikasi Lewis (1982). Hasil ini memperlihatkan bahwa model prediksi ini mampu menangkap perubahan laju pertumbuhan dengan baik, dari fase awal yang bersifat eksponensial hingga fase perlambatan mendekati titik jenuh.

Model dua fase ini juga menunjukkan keunggulan dalam hal fleksibilitas struktur, karena mampu menyesuaikan karakteristik data aktual yang tidak sepenuhnya mengikuti satu jenis pertumbuhan saja. Hal ini didukung oleh keberhasilan model dalam memprediksi nilai maksimum jumlah kasus (*carrying*

capacity) yang mendekati nilai aktual. Misalnya, prediksi maksimum kasus pada model ketiga adalah 155.550,1 kasus, sementara data aktual mencapai 155.330 kasus. Selisih yang kecil ini menegaskan bahwa pendekatan dua fase memberikan estimasi yang realistik terhadap data empiris.

Penelitian ini sejalan dengan hasil studi yang dilakukan oleh Granita dan Syamsudhuha, yang mengembangkan model deterministik dua fase dalam studi populasi di Kota Pekanbaru. Mereka membuktikan bahwa model dua fase memberikan fleksibilitas dalam menentukan titik belok serta mampu menyesuaikan bentuk pertumbuhan yang berbeda di masing-masing fase (Granita & Syamsudhuha, 2016). Dalam konteks penelitian ini, penerapan pendekatan serupa pada kasus penyebaran penyakit menular seperti COVID-19 menunjukkan relevansi dan efektivitas metode tersebut.

Selain itu, temuan dalam penelitian ini memperkuat argumen dari Banks, yang menyatakan bahwa model dua fase lebih sesuai untuk sistem yang mengalami transisi pertumbuhan signifikan (Banks, 1996). Dalam kasus COVID-19 di Riau, perubahan dari pertumbuhan cepat ke pertumbuhan yang melambat sangat terlihat dalam data, sehingga model ini memberikan struktur matematis yang cocok untuk menjelaskan fenomena tersebut.

PENUTUP

SIMPULAN

Dari tiga model prediksi yang diuji dengan titik belok berbeda, diperoleh bahwa model dengan titik belok pada 18 Oktober 2020 menghasilkan nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) terkecil, yakni sebesar 13,68%. Nilai ini menunjukkan bahwa model dua fase dapat digunakan sebagai pendekatan yang cukup akurat dalam memodelkan dinamika penyebaran penyakit menular seperti COVID-19, terutama pada wilayah yang mengalami pola pertumbuhan populasi kasus yang tidak linier.

Dengan demikian, model deterministik dua fase terbukti efektif dalam menangkap pola perubahan laju pertumbuhan dari fase awal ke fase perlambatan. Hasil ini menjawab tujuan penelitian, yaitu membangun model prediksi penyebaran COVID-19 berbasis pendekatan dua fase yang akurat dan sesuai dengan data empiris di Provinsi Riau. Model ini dapat dijadikan salah satu alternatif penting dalam

penyusunan kebijakan berbasis data untuk pengendalian wabah di masa mendatang, khususnya ketika terjadi perubahan tren epidemiologis yang signifikan.

SARAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan dalam penelitian ini, terdapat beberapa saran yang dapat diajukan. Pertama, bagi peneliti selanjutnya, disarankan untuk menggunakan data yang lebih detail dan frekuensinya lebih tinggi (misalnya data harian) agar hasil pemodelan lebih akurat dan sensitivitas terhadap perubahan tren dapat dianalisis secara lebih komprehensif. Kedua, model dua fase yang digunakan dalam penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mempertimbangkan faktor eksternal seperti intervensi kebijakan pemerintah, perubahan perilaku masyarakat, atau tingkat vaksinasi yang dapat memengaruhi laju penyebaran COVID-19.

Selain itu, pengembangan model berbasis sistem dinamis atau penggunaan pendekatan statistik lain seperti *nonlinear regression* atau *machine learning* juga bisa menjadi alternatif dalam memperkuat hasil prediksi. Terakhir, pemanfaatan pemodelan matematis ini diharapkan dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam manajemen krisis kesehatan masyarakat, khususnya untuk merancang strategi penanggulangan pandemi yang lebih efektif di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Administrator. (2020). Kasus Covid-19 Pertama, Masyarakat Jangan Panik. Diambil 24 April 2025, dari Indonesia.go.id website: <https://indonesia.go.id/narasi/indonesia-dalam-angka/ekonomi/kasus-covid-19-pertama-masyarakat-jangan-panik>
- Banks, R. B. (1996). *Growth and diffusion phenomena: mathematical frameworks and applications*. Berlin: Springer-Verlag.
- Fransiska, H. (2021). Clustering Provinces in Indonesia Based on Daily Covid-19 Cases. *J. Phys. Conf. Ser.*, 1863(1).
- Granita, & Syamsudhuha. (2016). Model Deterministik Dua-Fase (Studi Kasus Populasi Kota Pekanbaru). *Prosiding Konferensi Nasional Matematika XVIII*, 50–54.
- Lewis, C. D. (1982). *Industrial and Business Forecasting Methods*. London: Butterworths.
- m.andrafarm.com. (2024). Data COVID-19 (Korona) di Indonesia Terkini (14 Januari 2024). Diambil

25 April 2025, dari Andra Farm website:
[https://m.andrafarm.com/_andra.php?_i=daf
tar-co19-
provinsi&noneg=36&urut=2&asc=011000000000](https://m.andrafarm.com/_andra.php?_i=daf tar-co19- provinsi&noneg=36&urut=2&asc=011000000000)

Marcus-Roberts, H., & Thompson, M. (1982). *Life Science Models*. New York: Springer-Verlag.

Yulida, Y., & Karim, M. A. (2020). Pemodelan Matematika Penyebaran COVID-19 di Indonesia di Provinsi Kalimantan Selatan. *Media Bina Ilmiah*, 14(10). Diambil dari <http://jurnal.umt.ac.id/index.php/nyimak>