

## Effectiveness of Single and Double Exponential Smoothing: SES, ARRSES and Holt's Linear for Time Series Data Prediction with Trend and Non-seasonal Characteristic (Covid-19 Vaccinate Case)

**Efektivitas Metode *Single dan Double Exponential smoothing: SES, ARRSES dan Holt's Linear* untuk Prediksi Data Runtun Waktu Pola Tren dan Non-musiman (Studi Kasus Cakupan Vaksinasi Covid-19)**

**Wiwik Wiyanti\***

*\* Statistics Department, Matana University  
Email: [wiwik.chae@gmail.com](mailto:wiwik.chae@gmail.com)*

### Abstract

Purpose of this research is effectiveness the exponential smoothing for predict the time series data which has trend and non-seasonal characteristic. In this research using data case vaccinate of covid-19 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup>, 3<sup>rd</sup> and 4<sup>th</sup>. The advantage of this research is we can choose the best method for this type data. The methodology of this research is quantitative, with analyze data method is exponential smoothing (SES, ARRSES, and HOLT'S linear). The result of data analyze is the predict error for four vaccinate data are very close to zero. SES gets 0% to 0,73%, ARRSES gets 0% to 0,66% and Holt's linear gets 0% to 0,29%. The result of this research can conclude that exponential smoothing method effective for predict the data with trend and non-seasonal data.

**Keywords:** *exponential, SES, ARRSES, forecast, holt's, vaccine*



**Abstrak**

Penelitian ini bertujuan untuk melihat efektifitas metode *exponential smoothing* dalam memprediksi data runtun waktu dengan karakter adanya tren dan tipe data non-musiman. Adapun kasus yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan data kesehatan yaitu cakupan vaksinasi covid-19 yaitu vaksinasi I, II, III dan IV. Manfaat dari penelitian ini adalah diharapkan dapat digunakan sebagai acuan dalam memilih metode yang efektif untuk tipe data yang mempunyai karakter tren serta non musiman. Adapun metodologi penelitian ini adalah kuantitatif, dengan metode analisa data menggunakan metode *Exponential Smoothing*, yaitu *Single Exponential Smoothing* (SES), *Adaptive-Response-Rate* *Single Exponential Smoothing* (ARRSES) dan HOLT'S linear. Dari hasil analisa data diperoleh hasil metode SES dalam memprediksi data kesehatan keempat vaksinasi diperoleh nilai kesalahan *error* perhitungan prediksi dengan menggunakan *Mean Absoulte Percentage Error* (MAPE) yang sangat kecil, yaitu dengan menggunakan SES sebesar 0% hingga 0,73%, ARRSES sebesar 0% hingga 0,66% dan Holt's linier sebesar 0% hingga 0,29%.

**Kata kunci:** *exponential*, SES, ARRSES, *forecast*, holt's, *vaccine*

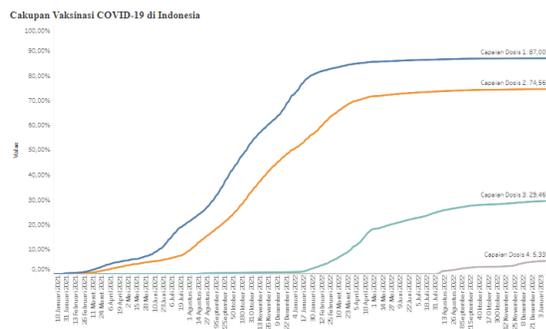
**1. PENDAHULUAN****1.1. Latar Belakang**

Berbicara masalah virus covid (SARS-Cov-2), nampaknya tidak akan habis untuk dibicarakan, karena seperti dikutip pada halaman web rumah sakit siloam, tulisan Ratnawati [9] topik covid-19 nampaknya tidak akan habis untuk dibicarakan terutama karena virus ini semakin hari semakin cepat bermutasi. Lebih dari dua tahun sejak tahun 2020 SARS-Cov-2 menjadi perhatian dunia. Dikutip dari laman *World Health Organization* (WHO) bekerjasama dengan mitra, pakar otoritas nasional, institusi serta peneliti telah memantau dan menilai evolusi SARS-Cov-2 sejak Januari 2020 [15]. Selama akhir 2020 hingga saat ini terdapat mutasi varians virus SARS-Cov-2 yang dijadikan *concern* (*Variance Of Concern/VOC*) yaitu Alpha, Beta, Gamma, Delta dan Omicron. Hingga tulisan ini dibuat, per Januari 2023, subvariens Omicron merupakan varians dalam pemantauan terbaru.

Untuk membendung kasus kematian diakibatkan covid-19 yang terus menerus terjadi, negara-negara di dunia gencar untuk melakukan vaksinasi, termasuk negara Indonesia. Sampai tulisan ini dibuat, tercatat dari laman web kementerian kesehatan [2], capaian vaksinasi Covid-19 sebanyak 234.666.020 jiwa sudah mendapat dosis 1. Hal tersebut artinya 87 dari 100 sasaran vaksinasi sudah mendapatkan vaksin. Adapun sasaran vaksinasi covid adalah tenaga kesehatan, lanjut usia, petugas publik, masyarakat rentan dan masyarakat umum, usia 12-17 tahun, usia 6-11 tahun. Meskipun sasaran vaksinasi dosis 1 sudah mencapai 87% sampai tulisan ini dibuat, tidak untuk vaksin dosis 2, dosis 3 ataupun dosis 4, masing-masing capaian vaksinasi masih berada di angka 74,56%, 29,46% dan 5,33%. Gambaran cakupan vaksinasi Covid-19 di Indonesia dapat dilihat pada grafik pada gambar 1.1.

# JURNAL MATEMATIKA, STATISTIKA DAN KOMPUTASI

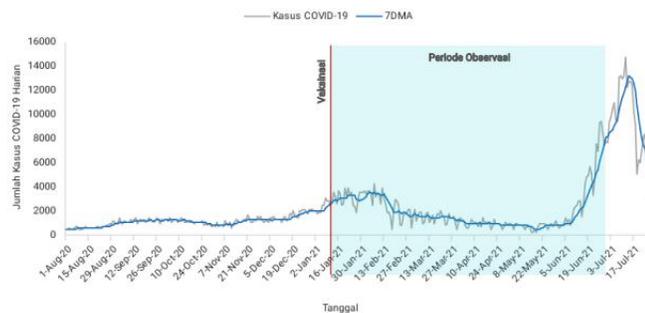
## Wiwik Wiyanti



Sumber [2]

**Gambar 1.1.** Cakupan vaksinasi Covid-19

Evaluasi vaksinasi Corona-Vac untuk membendung penyakit Covid-19 pada penggunaannya telah dilakukan untuk mengamati dan membandingkan seberapa efektif vaksin Corona-Vac mampu melindungi tenaga kesehatan terhadap resiko infeksi Covid-19 [10].



(Sumber: Kementerian Kesehatan)

**Gambar 1.2.** Laju kasus Covid-19 harian di DKI Jakarta

Dari studi efektivitas vaksin Covid-19 di Indonesia, dari grafik gambar 1.2, terlihat pada periode Januari-Maret, vaksin Corona-Vac cukup efektif dalam mencegah infeksi COVID-19. Namun, pada periode April-Juni, vaksinasi lengkap kurang cukup melindungi Tenaga Kesehatan dari infeksi COVID-19. Meskipun demikian, pada tulisan Rokom [10] menyatakan bahwa vaksinasi lengkap masih efektif melindungi dari risiko perawatan dan kematian akibat COVID-19. Sehingga dapat disimpulkan bahwa adanya vaksinasi Covid-19 ini masih efektif untuk melindungi dari infeksi Covid. Oleh sebab itu, semakin banyak vaksinasi yang dilakukan maka imun tubuh masyarakat juga akan baik, sehingga mampu mencegah kematian efek Covid-19 dapat ditekan.

Data cakupan vaksinasi Covid-19 yang dipresentasikan dengan grafik pada gambar 1.2. terlihat bahwa grafik dari cakupan vaksinasi yang telah dilakukan pemerintah Indonesia, mempunyai karakter adanya *trend* (naik). Hal tersebut menunjukkan bahwa cakupan vaksinasi telah gencar dilakukan guna untuk membendung dampak infeksi Covid-19. Dari karakter data seperti gambar 1.1 dimungkinkan dapat diprediksi untuk cakupan prosentase berikutnya bahkan kapan waktu diperkirakan akan mencapai 95% hingga 100% capaian vaksinasinya dengan menggunakan metode *Exponential smoothing*.

Dalam Makridakis dkk [6], tipe data semacam ini cocok diprediksi dengan menggunakan metode *exponential smoothing* yaitu *Holt-Winter's trend*. Akan tetapi, dalam penelitian-penelitian pendahulu, tidak semua menunjukkan hasil yang selaras dengan pernyataan Makridakis dkk tersebut. Seperti yang dilakukan Ihsan, dkk [4] hasil prediksi data untuk prediksi covid-19 dengan

menggunakan *single exponential smoothing* dan Holt tidak cocok digunakan. Tju, dkk [12] dengan menggunakan *exponential regression*, hasil penelitian adalah target vaksinasi 100% akan dicapai pada 18 Januari 2022, sedangkan pada 31 Desember 2021 tercapai 80%. Sementara itu, laporan dari kementerian kesehatan pada tanggal 18 Januari 2022 target vaksinasi untuk dosis 1, 2, 3 dan 4 masing-masing sebesar 77,63%, 53,37%, 1,07% dan 0,00%. Jika dibandingkan hasil prediksi Tju dkk [12], hasil prediksi kementerian kesehatan tersebut berbeda sebesar 22,37% untuk vaksin dosis 1. Perbedaan tersebut diduga karena karakter data vaksinasi yang digunakan Tju dkk tidak mewakili dengan metode yang digunakan. Sementara itu, Mulyana dkk [7] dalam penelitiannya dengan menggunakan *Single Exponential smoothing* diperoleh hasil pengujian model masih memiliki *error* yang cukup tinggi, meskipun masih direkomendasikan cocok untuk digunakan prediksi kasus positif covid-19 kabupaten bengkalis.

Selain hasil tersebut, beberapa penelitian dengan menggunakan metode *exponential smoothing* yang berhasil dan layak digunakan untuk dijadikan salah satu pilihan metode peramalan adalah salah satunya adalah penelitian Azzahra dkk [1]. Dalam penelitian Azzahra dkk dengan judul penelitian “*single exponential smoothing: Metode Peramalan Kebutuhan Vaksin campak*”, hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat kesalahan dalam meramalkan atau memprediksi stok vaksin campak sebesar 49,8%. Begitupun juga, Yuwono dan Yulianto [14] telah menerapkan berbagai metode *exponential smoothing* untuk peramalan Covid di Indonesia, diperoleh hasil dengan menggunakan *triple exponential smoothing* diperoleh ketiga kasus dengan menggunakan nilai  $\alpha = 1; \beta = 0; \gamma = 0,1$ . Hasil nilai SSE 2,795088e+11 pada kasus positif dengan nilai *coefficient* 184459,469. Sedangkan untuk kasus meninggal menghasilkan nilai SSE sebesar 228853762 dengan *coefficient* 7847,3160. Selain penelitian tersebut di atas, metode *exponential smoothing* juga digunakan dalam *machine learning*, dengan cakupan data yang sangat besar (*big data*) oleh Shastri dkk [11] dengan hasil bahwa metode *exponential smoothing* dapat digunakan untuk memprediksi lima tahun ke depan dengan cakupan data historis yang digunakan adalah tiga puluh lima tahun. Pamungkas dkk [8] meneliti mengenai komparasi metode *exponential smoothing* dalam bidang perikanan dan kelautan, yang mana hasil dari penelitiannya metode terbaik adalah *exponential smoothing* jenis Holt’s yang memperoleh nilai peramalan dengan kesalahan 37,878%. Penelitian Kahraman dan Akay [5] membandingkan metode *exponential smoothing* untuk kasus data harga logam diperoleh hasil bahwa model terbaik untuk memprediksi untuk aluminium, tembaga, timah dan besi adalah *damped trend*, model Holt’s untuk harga logam nikel dan seng, dan model Brown untuk harga logam timah.

Dari beberapa penelitian tersebut, diperoleh kesimpulan bahwa dengan metode *Exponential smoothing* yang digunakan ada yang cocok dan ada yang belum mewakili harapan untuk mendapatkan *error* perhitungan yang cukup kecil (mendekati nol). Meskipun beberapa penelitian dengan menggunakan metode *exponential smoothing* belum sesuai dengan harapan, namun dalam penelitian ini peneliti menggunakan metode *exponential smoothing* untuk prediksi data yang mempunyai pola *trend* dan non-musiman, sesuai dengan pernyataan tulisan Makridakis dkk [6] sebelumnya yang menyatakan metode *exponential smoothing* cocok digunakan untuk memprediksi data tipe *trend*. Adapun data yang digunakan dalam kasus ini adalah data cakupan vaksinasi covid-19. Penelitian pendahulu mengenai prediksi cakupan vaksinasi telah diteliti sebelumnya oleh Yanti dkk [13] dengan metode ARIMA.

## 1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar efektifitas metode *exponential smoothing* (*Single Exponential Smoothing* (SES), *Adaptive-Response-Rate Single Exponential Smoothing* (ARRSES) dan HOLT’S linear) dalam memprediksi data runtun waktu yang mempunyai pola data adanya *trend* dan non-musiman.

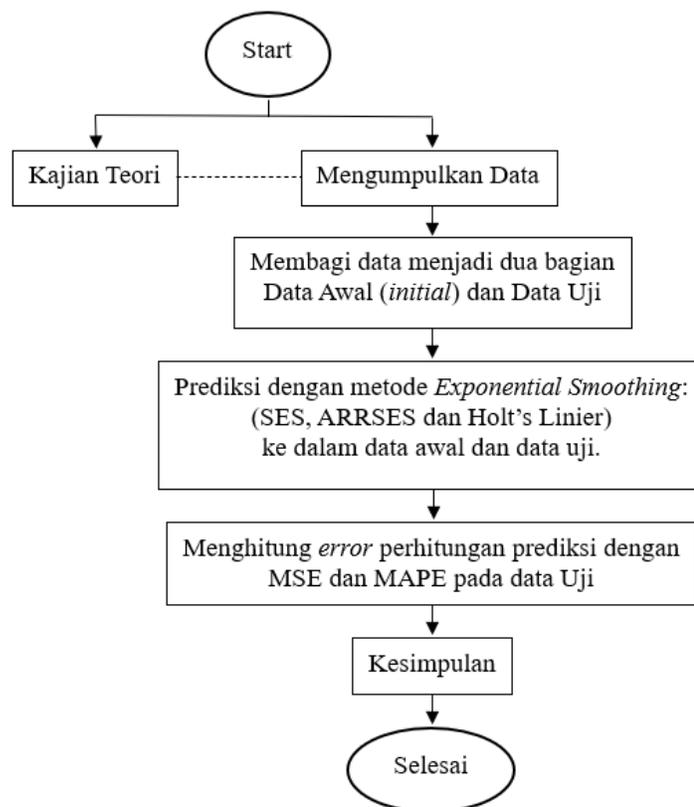
## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1. Sumber Data.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data runtun waktu (*time series*) harian cakupan vaksinasi *covid* nasional, yang diperoleh dari penyedia data resmi nasional yaitu kementerian kesehatan republik Indonesia [2]. Data cakupan vaksinasi yang digunakan adalah data vaksinasi tahap 1, tahap 2, tahap 3 dan tahap 4. Dari data vaksinasi tahap 1 digunakan dari tanggal 14 Januari 2021 sampai dengan 31 Januari 2023, tahap 2 dari tanggal 29 Januari 2021 sampai dengan 31 Januari 2023, tahap 3 dari tanggal 16 Juli 2021 sampai dengan 31 Januari 2023, tahap 4 dari 29 Juli 2022 sampai dengan 31 Januari 2023. Penggunaan data awal berbeda-beda tergantung dari tanggal awal-awal dimulainya pemberian vaksin masing-masing dosis.

### 2.2. Metode Penelitian

Metode penelitian ini adalah metode kuantitatif historis, yaitu menggunakan data masa lalu atau data historis yaitu data cakupan vaksinasi covid-19 nasional, yang mana data historis tersebut digunakan untuk melihat prediksi nilai data cakupan vaksinasi covid-19 yang belum diketahui atau istilah lainnya adalah data di masa yang akan datang. Adapun metode untuk analisa data yang digunakan dengan menggunakan metode peramalan/prediksi dari ilmu statistika, yaitu metode peramalan *exponential smoothing* yaitu metode *Single Exponential smoothing* (SES), *Adaptive-Response-Rate* (ARRSES), *Holt's linear*. Pemilihan model tersebut berdasarkan karakter atau pola data yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu adanya *trend* dan non-musiman. Adapun bagan alur metode penelitian dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Alur metode penelitian

### 2.3. Skenario atau Langkah Peramalan/Prediksi

Skenario untuk peramalan/prediksi sesuai dengan buku panduan Makridakis dkk [6], yaitu:

- Langkah 1. Deretan data runtun waktu dibagi menjadi dua bagian (“sekumpulan himpunan data awal” dan “sekumpulan himpunan data uji” sehingga dapat dijadikan untuk evaluasi terhadap metode yang digunakan untuk peramalan.
- Langkah 2. Memilih metode peramalan/prediksi yang sesuai. Metode *exponential smoothing* yang akan digunakan dalam langkah ini, yaitu *Single Exponential smoothing* (SES), *Adaptive-Response-Rate (ARRSES) Method*, serta Holt’s linier. Penjelasan formula secara detail terdapat pada sub bab 2.4, 2.5, dan 2.6.
- Langkah 3. Sekumpulan data awal digunakan untuk memulai peramalan. Mengestimasi dari beberapa karakter data, seperti apakah pola data terdapat tren, musim, dan kemudian nilai-nilai parameter didapatkan dari sekumpulan data ini. Parameter dalam penelitian ini adalah  $\alpha$  dan  $\beta$ .
- Langkah 4. Selanjutnya, metode pada Langkah 2 diterapkan pada sekumpulan data uji, untuk melihat seberapa baik kinerjanya pada data yang tidak digunakan dalam mengestimasi komponen model di langkah 3. Setelah data prediksi diperoleh pada langkah ini juga dihitung nilai *error* perhitungan prediksi. Persamaan matematika untuk perhitungan *error* prediksi dijelaskan secara detail pada sub bab 2.7.
- Langkah 5. Terakhir, metode peramalan dinilai sesuai dengan kesesuaiannya untuk berbagai jenis pola data dengan demikian potensi penerapannya menjadi lebih jelas.

### 2.4. *Single Exponential smoothing* (SES) Method

*Single Exponential smoothing* (SES) merupakan suatu perluasan dari metode peramalan *Moving Average* terbobot (*Weighted Moving Average*) [6]. Misalkan, metode *Moving Average* sederhana, rata-rata dari  $k$  data pengamatan digunakan untuk prediksi, maka bobot dalam hal ini adalah  $\frac{1}{k}$  untuk  $k$  data pengamatan, artinya semua data aktual mempunyai bobot yang sama yaitu  $\frac{1}{k}$ . Untuk metode SES, bobot yang digunakan adalah bobot yang nilainya akan terus menurun secara eksponensial, sehingga setiap data mempunyai bobot yang berbeda. Dalam metode SES, formula yang digunakan adalah

$$F_{t+1} = F_t + \alpha(Y_t - F_t) \quad 2.1$$

Jika  $t$  adalah waktu saat ini, maka  $F_{t+1}$  merupakan nilai prediksi untuk data nilai setelah  $t$ ,  $F_t$  merupakan nilai prediksi saat ini,  $Y_t$  adalah data pengamatan saat ini, dan  $\alpha$  adalah bobot yang nilainya konstanta dari mulai 0 hingga 1. Dari persamaan 2.1 terlihat bahwa ketika nilai  $\alpha$  mendekati 1, artinya nilai prediksi nilai selanjutnya akan sangat ditentukan oleh *error*/kesalahan peramalan sebelumnya. Sebaliknya, ketika nilai  $\alpha$  mendekati 0, artinya nilai prediksi data selanjutnya akan sangat sedikit dipengaruhi oleh kesalahan peramalan sebelumnya. Dari sinilah dapat dilihat bahwa nilai peramalan akan selalu mengikuti *trend* dari data terbaru, karena nilai ramalan berdasarkan kesalahan perhitungan kesalahan sebelumnya.

Jika persamaan  $F_t$  diperluas secara algebra dengan cara yang sama mengikuti 2.1, maka persamaan 2.1 menjadi,

$$F_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha)\alpha Y_{t-1} + \alpha(1 - \alpha)^2 Y_{t-2} + \alpha(1 - \alpha)^3 Y_{t-3} + \alpha(1 - \alpha)^4 Y_{t-4} + \dots + \alpha(1 - \alpha)^{t-1} Y_1 + (1 - \alpha)^t F_1 \quad 2.2$$

Dari persamaan 2.2, perhatikan bahwa nilai bobot berubah/bergerak, yaitu untuk data aktual saat ini ( $t$ ) mempunyai bobot  $\alpha$ , untuk data ke  $t - 1$  mempunyai bobot  $1 - \alpha$ , data ke  $t - 2$  mempunyai bobot  $\alpha(1 - \alpha)^2$  dan seterusnya. Dalam Makridakis dkk [6], pemilihan  $\alpha$  terbaik

(nilai  $\alpha$  optimal) diperoleh dengan mendapatkan nilai *Mean Square Error* (MSE) terkecil. Dalam Pemilihan  $\alpha$  untuk mendapatkan MSE terkecil dapat dilakukan dengan cara *trial and error*. Cara lain untuk mendapatkan nilai  $\alpha$  optimal adalah dengan menghitung nilai MSE untuk mendaftar atau menggunakan deretan  $\alpha = 0, 1; 0, 2; \dots; 0, 9$  dan kemudian memilih salah satu  $\alpha$  yang mempunyai nilai MSE terkecil.

### 2.5. Adaptive-Response-Rate (ARRSES) Method

Pada peramalan SES, nilai rata-rata prosentasi *error* secara absolut bergantung dari pemilihan  $\alpha$ . Dalam hal ini, ARRSES mempunyai keunggulan dibandingkan dengan SES, karena memungkinkan untuk dilakukan modifikasi  $\alpha$ , saat pola perubahan data terjadi. Karakteristik ini akan lebih atraktif ketika data yang akan diramalkan cukup banyak, misalkan ratusan data atau bahkan ribuan data [6].

Pada penelitian ini, studi kasus yang digunakan adalah cakupan data vaksinasi covid 19, yang mana tingkat *trend* yang diketahui tidak akan pernah terjadi volatilitas (naik dan turun) karena  $Y_{t+1}$  selalu lebih dari atau minimal sama dengan  $Y_t$ , artinya nilai data *actual* dari hari ke hari selalu naik atau sama, hingga mencapai garis linier *horizontal* sehingga prediksi dengan ARRSES tidak akan berbeda nilainya dengan metode SES. Hal tersebut disebabkan bahwa selisih *error* data *forecast* ( $F_{t+1}$ ) dengan data *actual* ( $Y_t$ ) nilainya tidak akan berubah-ubah tanda (+ dan -). Dengan kata lain akan selalu bernilai nol dan/atau positif atau negatif saja.

Metode ARRSES sebenarnya merupakan metode SES dimana nilai  $\alpha$  secara sistematis, dan otomatis berubah dari waktu ke waktu untuk memungkinkan terjadinya perubahan pola data. Persamaan prediksi ( $F_{t+1}$ ) dengan metode ARRSES pada persamaan 2.3 sama seperti persamaan 2.1, namun berbeda nilai parameter *trend* ( $\alpha$ ) yang digunakan. Nilai  $\alpha$  diperoleh dari rasio  $A_t$  dengan  $M_t$ , dapat dilihat pada persamaan 2.4.  $A_t$  adalah notasi prediksi kesalahan/*error* yang dan dihitung sebagai rata-rata bobot dari  $A_{t-1}$  dan prediksi kesalahan terakhir ( $E_t$ ), dapat dilihat pada persamaan 2.5.

$$F_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha)F_t \quad 2.3$$

$$\alpha_{t+1} = \left| \frac{A_t}{M_t} \right| \quad 2.4$$

$$A_t = \beta E_t + (1 - \beta)A_{t-1} \quad 2.5$$

$$M_t = \beta |E_t| + (1 - \beta)M_{t-1} \quad 2.6$$

$$E_t = Y_t - F_t \quad 2.7$$

$\beta$  adalah parameter bernilai 0 sampai 1 dan  $| \quad |$  merupakan notasi *absolute*(nilai mutlak). Persamaan 2.6,  $M_t$  adalah notasi prediksi kesalahan absolut, dihitung sebagai rata-rata bobot dari  $M_{t-1}$  dan prediksi kesalahan absolut terakhir ( $E_t$ ).

Menentukan nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  awal/*initial*/mula-mula yang cocok sedikit sulit, namun dikutip dalam Makridakis dkk [6], salah satu cara untuk mengontrol perubahan  $\alpha_t$  adalah dengan mengontrol nilai dari  $\beta$  sekecil mungkin (semakin kecil  $\beta$  maka semakin kecil perubahan  $\alpha_t$ ). Dalam penelitian ini untuk menentukan nilai  $\alpha$  dan  $\beta$  yang sesuai, digunakan cara *trial and error*, yaitu dengan menggunakan  $\alpha = 0, 2; 0, 5$  dan 0,9 serta  $\beta = 0, 2; 0, 5$  dan 0,9.

### 2.6. Holt's Linear Method

Dalam Makridakis dkk [6], Holt pada tahun 1957 mengembangkan SES menjadi pemulusan linier untuk memungkinkan prediksi data tren. Prediksi dengan menggunakan Holt's adalah menemukan dua nilai konstan  $\alpha$  dan  $\beta$  (dengan nilainya dari 0 sampai dengan 1). Selanjutnya persamaan-persamaan yang digunakan untuk mendapatkan prediksi adalah,

$$L_t = \alpha Y_t + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad 2.8$$

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad 2.9$$

$$F_{t+m} = L_t + b_t m \quad 2.10$$

$L_t$  merupakan estimasi dari level dari deret pada saat waktu ke- $t$ .  $b_t$  merupakan notasi dari estimasi dari *slope*(gradien) deret pada saat ke  $t$ .  $F_{t+m}$  adalah nilai prediksi  $m$ -langkah dari waktu ke- $t$ .  $m = 1, 2, 3, \dots, n$

### 2.7. Perhitungan Kesalahan (*Error*) hasil Prediksi

Untuk perhitungan kesalahan prediksi, penelitian ini menggunakan *Mean Square Error* (MSE) dan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) [6]. Untuk mendapatkan nilai MSE, diperoleh dari rata-rata kuadrat *error* dari prediksi. Adapun secara matematis untuk menghitung nilai MSE digunakan persamaan 2.10. Untuk mendapatkan absolut rata-rata prosentase *error* bernilai positif, proses pertama didefinisikan persentase *error* atau *error relative* dengan rumus 2.11. Selanjutnya MAPE diperoleh dengan persamaan 2.12.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n E_t^2 \quad 2.11$$

$$PE_t = \left( \frac{Y_t - F_t}{Y_t} \right) \times 100 \quad 2.12$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |PE_t| \quad 2.13$$

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari data yang digunakan sebagai studi kasus yaitu data cakupan vaksinasi covid tahap I, II, III dan IV, masing-masing data dibagi menjadi dua bagian yaitu data “awal” dan data “uji”. Ukuran data awal dan data uji diambil yaitu kurang lebih masing-masing adalah 50% dari banyaknya data tiap vaksin. Data vaksinasi tahap I yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 748 data, dimulai dari tanggal 14 Januari 2021 sampai dengan 31 Januari 2023. Data awal yang digunakan sebanyak 352 data, sementara data uji yang digunakan adalah sisanya, yaitu sebanyak 396 data. Data vaksinasi tahap II yang digunakan sebanyak 733 data dimulai dari tanggal 29 Januari 2021 sampai dengan 31 Januari 2023. Data awal yang digunakan sebanyak 360 dan data uji sebanyak 373. Selanjutnya adalah data vaksinasi tahap III digunakan sebanyak 565 data, dari mulai tanggal sampai 31 Januari 2023. Data awal yang digunakan sebanyak 280 dan data uji yang digunakan sebanyak 285. Terakhir adalah data vaksinasi tahap IV, digunakan sebanyak 187 data, dari mulai tanggal 29 Juli 2023 sampai 31 Januari 2023, dengan data awal yang digunakan sebanyak 93 dan data uji sebanyak 94 data. Bobot alpha yang digunakan adalah variasi dari 10%, 30%, 50%, 70% dan 90%.

### 3.1. Metode SES

Rangkuman hasil prediksi dengan menggunakan metode SES terdapat dalam Tabel 3.1. Hasil prediksi tersebut diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.1. Nilai MSE (*Mean Square Error*) dan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) yang diperoleh dengan menggunakan metode SES dirangkum dalam Tabel 3.2. Adapun perhitungan prediksi yang diperoleh pada Tabel 3.1 berdasarkan persamaan 2.1. Perhitungan MSE berdasarkan persamaan 2.11 dan MAPE berdasarkan persamaan 2.13.

**Tabel 3.1.** Prediksi SES 1 langkah ke depan (%)

Vaksinasi	Hasil Prediksi (SES) satu langkah ke depan				
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
I	87,031	87,038	87,039	87,040	87,040
II	74,600	74,609	74,610	74,610	74,610

III	29,521	29,577	29,586	29,589	29,590
IV	5,386	5,486	5,507	5,515	5,519

Dari nilai MSE dan MAPE Tabel 3.2, dipilih  $\alpha = 0,9$  karena MSE hasil prediksi yang diperoleh paling kecil diantara  $\alpha$  yang lain. Terlihat perhitungan error prediksi dengan MAPE juga dapat dikatakan sangat kecil pada bobot  $\alpha = 0,9$ , yaitu antara tingkat prosentase kesalahan prediksi adalah berkisar 0,00 (0%) hingga 0,007 (0,7%) dan ini dapat dikatakan sangat kecil.

**Tabel 3.2.** Nilai MSE dan MAPE metode SES

Vaksinasi	Nilai MSE				
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
I	1,016	0,091	0,031	0,016	0,010
II	1,069	0,113	0,041	0,022	0,014
III	0,588	0,053	0,018	0,009	0,005
IV	0,100	0,013	0,005	0,003	0,002
Vaksinasi	Nilai MAPE(%)				
	0,1	0,3	0,5	0,7	0,9
I	0,594	0,170	0,098	0,069	0,053
II	0,908	0,284	0,168	0,120	0,093
III	2,563	0,753	0,436	0,306	0,236
IV	6,024	2,133	1,301	0,936	0,731

### 3.2. Metode ARRSES

Dalam metode ARRSES untuk kasus data vaksinasi covid ini hasilnya tidak jauh berbeda dengan metode SES. Hal ini dikarenakan bahwa data vaksinasi covid mempunyai pola tren naik dan tidak ada data pola tren berubah-ubah (naik turun). Perlu diketahui bahwa untuk ARRSES ini akan sangat berguna ketika data ada tren naik maupun turun secara bergantian, sehingga kebermanfaatannya akan lebih terlihat, hal ini dikarenakan bobot  $\alpha$  dimodifikasi dengan cara yang terkontrol, karena adanya pola perubahan dalam data [6]. Khusus data untuk studi kasus dalam penelitian ini, yaitu vaksinasi covid baik I, II, III maupun IV datum dari waktu ke waktu tidak ada penurunan, sehingga selisih hasil perhitungan  $error$  tiap waktu tidak akan pernah berubah tanda dari + ke negatif ataupun sebaliknya. Oleh karena itu, prediksi serta perhitungan kesalahan prediksi tidak jauh berbeda dengan perhitungan dengan menggunakan SES.

Dari uraian tersebut di atas, dalam cakupan data vaksinasi covid-19 nasional didapatkan suatu pernyataan Jika  $Y_{t+1} \geq Y_t$  maka  $F_{t+1} = \alpha Y_t + (1 - \alpha)F_t = Y_t$ . Untuk membuktikannya, dimulai dari persamaan 2.3. Secara matematis dalam kasus data cakupan vaksinasi covid-19 nasional penelitian ini, diperoleh fakta bahwa nilai  $Y_{t+1} \geq Y_t$  dengan  $t = 1, 2, 3, \dots, n$  atau dengan kata lain data ke  $t + 1$  nilainya selalu lebih besar dari data ke- $t$  atau minimal sama. Akibatnya perhitungan  $error$  prediksi bernilai lebih dari sama dengan nol ( $E_t \geq 0$ ). Sehingga nilai  $A_t = M_t$ . Akibatnya,  $\alpha_{t+1} = \left| \frac{A_t}{M_t} \right| = \left| \frac{A_t}{A_t} \right| = \left| \frac{M_t}{M_t} \right| = 1$ . Karena nilai  $\alpha_{t+1} = 1$  maka persamaan 2.3 menjadi  $F_{t+1} = \alpha Y_t = Y_t$ . Artinya, nilai prediksi hari ini berdasarkan data satu hari sebelumnya.

Hasil prediksi dengan menggunakan metode ARRSES dirangkum dalam Tabel 3.3. Hasil prediksi tersebut diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.3. Perhitungan  $error$  prediksi yaitu



### 3.3. Metode Holt's Linear

Hasil analisa prediksi dengan menggunakan Holt's linier dirangkum dalam Tabel 3.5. Hasil analisa tersebut diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.10. Sedangkan hasil *error* prediksi dengan menggunakan MSE dan MAPE dirangkum dalam Tabel 3.6. Hasil perhitungan tersebut diperoleh dengan menggunakan persamaan 2.11 dan 2.13.

**Tabel 3.5.** Hasil Prediksi dengan Holt's Linear

Vaksinasi	Hasil Prediksi Holt's <i>Linear</i> 1 langkah (%)								
	$\alpha = 0,2$			$\alpha = 0,5$			$\alpha = 0,9$		
	$\beta = 0,2$	$\beta = 0,5$	$\beta = 0,9$	$\beta = 0,2$	$\beta = 0,5$	$\beta = 0,9$	$\beta = 0,2$	$\beta = 0,5$	$\beta = 0,9$
I	87,039	87,040	87,045	87,042	87,044	87,043	87,041	87,041	87,039
II	74,614	74,613	74,613	74,612	74,611	74,609	74,611	74,610	74,610
III	29,607	29,603	29,605	29,602	29,599	29,595	29,597	29,595	29,593
IV	5,528	5,541	5,558	5,539	5,542	5,533	5,536	5,534	5,532

**Tabel 3.6.** Nilai MSE dan MAPE Holt's Linear

Vaksinasi	MSE								
	$\alpha = 0,2$			$\alpha = 0,5$			$\alpha = 0,9$		
	$\beta = 0,2$	$\beta = 0,5$	$\beta = 0,9$	$\beta = 0,2$	$\beta = 0,5$	$\beta = 0,9$	$\beta = 0,2$	$\beta = 0,5$	$\beta = 0,9$
I	0,014	0,010	0,007	0,004	0,004	0,005	0,002	0,002	0,002
II	0,008	0,005	0,004	0,003	0,003	0,004	0,002	0,002	0,002
III	0,018	0,007	0,003	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
IV	0,004	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000

Vaksinasi	MAPE (%)								
	$\alpha = 0,2$			$\alpha = 0,5$			$\alpha = 0,9$		
	$\beta = 0,2$	$\beta = 0,5$	$\beta = 0,9$	$\beta = 0,2$	$\beta = 0,5$	$\beta = 0,9$	$\beta = 0,2$	$\beta = 0,5$	$\beta = 0,9$
I	0,056	0,043	0,038	0,028	0,026	0,030	0,019	0,020	0,020
II	0,068	0,050	0,049	0,038	0,038	0,043	0,030	0,032	0,033
III	0,291	0,187	0,140	0,125	0,102	0,109	0,085	0,079	0,078
IV	1,031	0,713	0,492	0,450	0,355	0,389	0,310	0,287	0,299

Dari hasil perhitungan MSE dan MAPE prediksi Tabel 3.6, diperoleh hasil bahwa pada vaksinasi tahap I, MSE terkecil 0,002 pada  $\alpha = 0,9$  dan  $\beta = 0,2$  dengan nilai MAPE 0,00019 (0,019%). Selanjutnya pada vaksinasi II, MSE terkecil dan MAPE masing-masing sebesar 0,002 dan 0,0003 (0,03%) menggunakan  $\alpha = 0,9$  dan  $\beta = 0,2$ . Untuk prediksi vaksinasi III, kesalahan terkecil dengan MSE 0,001 dan MAPE sebesar 0,00078 (0,078%) yaitu ketika menggunakan  $\alpha = 0,9$  dan  $\beta = 0,9$ . Terakhir adalah analisa prediksi untuk vaksinasi IV, diperoleh hasil MSE dan MAPE masing-masing sebesar 0,000 dan 0,00287(0,287%) dengan menggunakan  $\alpha = 0,5$  dan  $\beta = 0,5$ . Kesimpulan dari analisa prediksi menggunakan keempat data vaksinasi tersebut adalah prediksi dengan menggunakan Holt's linier diperoleh hasil bahwa kesalahan prediksi sangat kecil yaitu 0 % hingga 0,29%.

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

### 4.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan metode *exponential smoothing: Single Exponential Smoothing* (SES), *Adaptive-response-rate single exponential smoothing* (ARRSES) dan Holt's Linier efektivitas prediksi data tipe tren non-musiman untuk kasus data cakupan vaksinasi covid (I, II, III dan IV) adalah efektif untuk dijadikan pertimbangan dalam prediksi. Adapun efektifitas metode *exponential smoothing* dalam menentukan nilai prediksi mempunyai nilai *error* prediksi sangat kecil, yaitu berkisar 0% hingga 0,73% untuk SES dan 0% hingga 0,66% untuk ARRSES, dan untuk Holt's nilai kesalahan prediksi sebesar 0% hingga 0,29%. Dengan kata lain, metode *exponential smoothing: Single Exponential Smoothing* (SES), *Adaptive-response-rate single exponential smoothing* (ARRSES) dan Holt's Linier dapat digunakan untuk memprediksi tipe data tren dan data non-musiman seperti data cakupan vaksinasi covid-19.

### 4.2. Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah memeriksa kasus data yang mempunyai karakter tren, non-musiman dengan tipe data yang mempunyai volatilitas berubah-ubah. Apakah hasil prediksi yang diperoleh dengan menggunakan metode *exponential smoothing* akan tidak jauh berbeda dengan data yang mempunyai karakter tren, non-musiman dan volatilitasnya tidak berubah-ubah seperti data cakupan vaksinasi covid-19 nasional Indonesia pada penelitian ini.

## 5. UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih penulis ucapkan kepada Naftali, mahasiswa prodi Statistika Universitas Matana yang telah membantu mengumpulkan serta validasi data cakupan vaksinasi covid-19 nasional yang digunakan dalam penelitian ini. Tidak lupa juga kepada universitas Matana yang membantu *support* para dosen untuk melakukan penelitian, khususnya penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Azzahra, A., Ramadhan, W. & Kifti, W.M., 2022. Single Exponential smoothing: Metode Peramalan Kebutuhan Vaksin campak. *EDUMATIC: Jurnal Pendidikan Informatika* Vol. 6 No. 2, Desember, 2022, Hal. 215-223. DOI:10.29408/edumatic.v6i2.6299
- [2] <https://vaksin.kemkes.go.id/#/vaccines> (diakses 19 Januari 2023)
- [3] <https://www.who.int/activities/tracking-SARS-CoV-2-variants> (diakses 13 Januari 2023).
- [4] Ihsan, N.H.A.S.A., Dzakiyah, H.H. & Liantoni., F., 2020. Perbandingan Metode Single Exponential smoothing dan Metode Holt untuk Prediksi Kasus Covid-19 di Indonesia. *ULTIMATICS*, Vol.XII, No.2, ISSN 2085-4552
- [5] Kahraman, E. & Akay, O., 2022. Comparison of exponential smoothing methods in forecasting global prices of main metal. *Springer Nature*. Springer-Verlag GmbH Germany. <https://doi.org/10.1007/s13563-022-00354-y>
- [6] Makridakis, S.G., Wheelwright, S.C., & Hyndman, R. J., 1997. *Forecasting Methods and Applications*, Third Edition. Wiley. ISBN: 0471532339, 9780471532330.
- [7] Mulyana, W., Aryanto & Aprilia, M., 2022. Penerapan Metode Single Exponential smoothing untuk Prediksi Kasus Covid-19 di Kabupaten Bengkalis. *Jurnal Computer Science and Information Technology (CoSciTech)*. P-ISSN:2723-567X. e-ISSN: 2723-5661

- [8] Pamungkas, A., Puspasari, R., Nurfiarini, A., Zulkarnain, R. & Waryano, W., 2021. Comparison of Exponential smoothing Methods for Forecasting Marine Fish Production in Pekalongan Waters Central Java. *IOP Conf.Series:Earth Environmental Science* 934(2021)012016. doi:10.1088/1755-1315/934/1/012016
- [9] Ratnawati, 2023. 11 Varian Virus Corona dari Berbagai Negara. <https://www.siloamhospitals.com/informasi-siloam/artikel/11-varian-virus-covid-19-dari-berbagai-negara-dunia> (diakses 13 Januari 2023)
- [10] Rokom, 2021. Studi Terbaru: Vaksin Covid-19 Efektif Mencegah Perawatan dan Kematian. Jakarta. <https://sehatnegeriku.kemkes.go.id/baca/rilis-media/20210812/4238277/studi-terbaru-vaksin-covid-19-efektif-mencegah-perawatan-dan-kematian/> (13 Januari 2023)
- [11] Shastri, S., Sharma, A., Mansotra, V., Sharma, A., Bhadwal, A.S. & Kumari, M, 2018. A Study on Exponential smoothing Method for Forecasting. *International Journal of Computer Sciences and Engineering*, Volume-6, Apr 2018, E-ISSN 2347-2693
- [12] Tju, T.E.E., Maylawati, D.S., Munawar, G. & Utomo S., 2021. Prediction of the Covid-19 Vaccination Target Achievement with Exponential Regression. *JISA(Jurnal Informatika dan Sains)* Vol. 04, No. 02, Desember 2021. E-ISSN:2614-8404, p-ISSN:2776-3234.
- [13] Yanti, R., Agustin, W. & Nasution, T., 2022. Prediksi Vaksinasi COVID-19 Dosis Lengkap Beberapa Provinsi di Indonesia Menggunakan Model ARIMA. *JURNAL SISFOTENIKA* Vol. 12 No 1, Januari 2022, p-ISSN: 2087-7897; e-ISSN: 2460-5344, DOI:10.30700/jst.v12i1.1216
- [14] Yuwono, N.R. & Yulianto, S., 2022. Perbandingan Berbagai Metode Exponential smoothing untuk Peramalan Covid di Indonesia. *Jurnal Penerapan Teknologi Informasi dan Komunikasi IT-EXPLORE*. ISSN 2828-7940, e-ISBN 2829-1727 Volume 01 Nomor 02 Tahun 2022.
- [15] WHO, 2022. World Health Statistics, 2022: Monitoring Health for the SDGs, sustainable development goals, ISBN 978-92-4-005115-7 (print version).