

PEMODELAN METODE *BROWN'S DOUBLE EXPONENTIAL SMOOTHING (B-DES)* DAN *BROWN'S WEIGHTED EXPONENTIAL MOVING AVERAGE (B-WEMA)* MENGGUNAKAN OPTIMASI *LEVENBERG-MARQUARDT* PADA JUMLAH WISATAWAN DI JAWA TENGAH

Dilla Retno Deswita¹, Abdul Hoyyi², Tatik Widiharih³

^{1,2,3} Departemen Statistika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro
dilladesw@gmail.com

ABSTRACT

The tourism sector is one of the national development priority sectors because it contributes to foreign exchange earnings, the development of business areas, and the absorption of investment and labor. In 2018 the tourism sector will become the second largest foreign exchange earner after oil palm. Foreign exchange contributed by the tourism sector in 2018 was US \$ 19.29 billion, an increase of 15.4%. The increase in contributions was driven by an increase in the number of foreign tourist arrivals by 12.58%, domestic tourists by 12.37%, and from investment. Therefore it is necessary to study the forecasting of the number of tourists after seeing the great potential generated from the tourism sector. The data forecast is data on the number of tourists in Central Java, both foreign and domestic data. Both data shows the tendency of an upward trend pattern. So that both data can be analyzed using B-DES methods (Brown's Double Exponential Smoothing) and B-WEMA (Brown's Weighted Exponential Moving Average) that are optimized with LM (Levenberg-Marquardt). Both methods are able to analyze trend patterned data without assumptions making it easier in the analysis process. In addition, the two methods in previous studies were able to produce a small forecasting accuracy. The MAPE (Mean Absolute Percentage Error) value out sample is used to compare the forecasting results of the two methods. The results of the implementation of LM optimization on the data of the number of domestic tourists obtained the optimal parameter value of the B-DES method is 0.21944386 with MAPE out sample 16.26516% and B-WEMA method is 0.219441 with MAPE out sample 16.26515%. While the data on the number of foreign tourists obtained the optimal parameter value of the B-DES method was 0.26213368 with the MAPE out of the sample 23.61278% and the B-WEMA method was 0.26213367 with the MAPE out the sample 23.61278%. This means that both methods have a good level of forecasting accuracy in the data on the number of domestic tourists and an adequate level of accuracy in the data on the number of foreign tourists.

Keywords : B-DES, B-WEMA, Levenberg-Marquardt, Tourists in Central Java

1. PENDAHULUAN

Sektor pariwisata nasional memiliki peranan yang sangat penting dalam perkembangan dan kontribusinya terhadap penerimaan devisa, pengembangan wilayah dan usaha, serta penyerapan investasi dan tenaga kerja yang tersebar di berbagai wilayah di Indonesia. Perkembangan pariwisata dapat dilihat dari banyaknya kunjungan wisatawan baik wisatawan mancanegara maupun nusantara. Apabila sektor pariwisata tumbuh dan berkembang dengan baik maka akan menjadi penunjang lajunya pembangunan suatu wilayah. Melihat potensi besar yang dihasilkan sektor pariwisata maka perlu dilakukan studi yang mendalam mengenai peramalan jumlah wisatawan mancanegara dan nusantara menggunakan data yang terbentuk dari waktu ke waktu atau yang disebut data runtun waktu.

Salah satu metode analisis runtun waktu yang banyak digunakan untuk peramalan adalah metode *moving average*. Jenis metode rata-rata bergerak yang paling sederhana adalah *Simple Moving Average (SMA)*, dimana hasil peramalan yang diperoleh dari data baru akan berubah-ubah. *Weighted Moving Average (WMA)* merupakan peningkatan dari metode SMA dimana memberikan nilai bobot yang berbeda untuk setiap data. Tipe *moving average* lainnya adalah *Exponential Moving Average (EMA)* yang merupakan variasi dari

metode SMA dimana dalam pembentukan faktor bobot dalam analisis data runtun waktu menggunakan bilangan eksponensial.

Pada penelitian sebelumnya, Hansun telah memperkenalkan pendekatan baru metode *moving average* yang menggabungkan metode WMA dan EMA (Hansun, 2013). Pendekatan ini disebut sebagai *Weighted Exponential Moving Average* (WEMA) dimana didapatkan kesimpulan bahwa metode WEMA menghasilkan nilai MSE dan MAPE terkecil dibanding dengan metode *moving average* lainnya. Selanjutnya Hansun memperkenalkan metode baru yang menggabungkan WMA dan *Brown's Double Exponential Smoothing* (B-DES) disebut *Brown's Weighted Exponential Moving Average* (B-WEMA) (Hansun, 2016).

Pada penelitian ini, para penulis akan menggabungkan optimasi dengan B-DES dan B-WEMA yang kemudian akan dibandingkan hasil peramalannya. Metode yang diusulkan akan diterapkan pada data bulanan jumlah wisatawan nusantara dan mancanegara yang berkunjung ke daya tarik wisata Jawa Tengah pada tahun 2012 hingga 2018.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. *Weighted Moving Average* (WMA)

Metode WMA adalah metode yang memberikan nilai bobot yang berbeda pada setiap dimana data yang terakhir merupakan data yang paling relevan untuk peramalan sehingga diberi bobot yang lebih besar. Bobot ditentukan sedemikian rupa sehingga jumlah peluang pembobotnya adalah sama dengan satu. Rumus metode WMA sebagai berikut:

$$WMA = \frac{TX_n + (T - 1)X_{n-1} + \dots + 2X_{n-T+2} + X_{n-T+1}}{T + (T - 1) + \dots + 2 + 1} \quad (1)$$

dengan T banyaknya periode atau rentang bilangan peramalan, X_n nilai data deret waktu pada titik n.

2.2. *Brown's Double Exponential Smoothing* (B-DES)

Metode ini dapat diterapkan pada data yang memiliki pola *trend*. Perbedaan dari metode *smoothing* adalah keakuratan hasil ramalan tergantung pada parameter pemulusan (parameter beta) yang dapat memperbaiki *trend*. Sehingga parameter beta optimal sangat diperlukan, parameter beta dapat dioptimalkan menggunakan algoritma *Levenberg-Marquardt* dalam *software* R. Persamaan yang digunakan pada metode Brown adalah sebagai berikut (Makridakis *et al.*, 1993):

Persamaan statistik *smoothing* pertama (*single*):

$$S'_n = \beta X_n + (1 - \beta)S'_{n-1} \quad n=2,3,..k \quad (2)$$

β diestimasi secara numerik dengan metode *Levenberg-Marquardt*

Persamaan statistik *smoothing* kedua (*double*):

$$S''_n = \beta S'_n + (1 - \beta)S''_{n-1} \quad n=2,3,..k \quad (3)$$

Kemudian, peramalan m periode ke depan ditulis dengan F_{n+m} , untuk $m \geq 1$,

$$F_{n+m} = a_n + b_n m \quad (4)$$

dengan a_n merupakan nilai pemulusan eksponensial pertama dan kedua pada saat n , b_n merupakan nilai pemulusan *trend* pada saat n

$$a_n = S'_n + (S'_n - S''_n) = 2S'_n - S''_n \quad (5)$$

$$b_n = \frac{\beta}{1-\beta} (S'_n - S''_n) \quad (6)$$

Penggunaan rumus (2) dan (3) agar dapat digunakan maka nilai S'_{n-1} dan S''_{n-1} harus tersedia. Pada saat $n = 2$, untuk nilai S'_1 dan S''_1 menggunakan nilai rata-rata dari beberapa nilai pertama sebagai titik awal (Makridakis *et al.*, 1999).

2.3. Brown's Weighted Exponential Moving Average (B-WEMA)

Metode B-WEMA merupakan metode penyempurnaan dari metode *Weighted Exponential Moving Average* (WEMA) yang telah diperkenalkan pada tahun 2013. Perbedaan utama pada kedua metode tersebut adalah metode WEMA menggabungkan perhitungan faktor pembobotan pada metode *Weighted Moving Average* (WMA) dengan *Exponential Moving Average* (EMA), sedangkan pada metode B-WEMA menggabungkan perhitungan faktor pembobotan pada metode WMA dengan *Brown's Double Exponential Smoothing* (B-DES). Metode B-WEMA dapat diterapkan untuk meramalkan nilai data deret waktu dimasa mendatang dengan pola *trend*. Berikut merupakan prosedur perhitungan B-WEMA (Hansun, 2016):

1. Menghitung nilai dasar (B_n) yang merupakan *moving average* dari n data dengan menggunakan persamaan WMA untuk data dan periode waktu tertentu.

$$B_n = \frac{TX_n + (T-1)X_{n-1} + \dots + 2X_{n-T+2} + X_{n-T+1}}{T + (T-1) + \dots + 2 + 1} \quad (7)$$

2. Dengan menggunakan nilai dasar yang telah didapatkan, kemudian menghitung nilai peramalan dengan persamaan sebagai berikut, dimana

$$B_n = S'_{n-1} = S''_{n-1} \quad (8)$$

Persamaan statistik *smoothing* pertama (*single*):

$$S'_n = \beta X_n + (1 - \beta)S'_{n-1} \quad (9)$$

β diestimasi secara numerik dengan metode *Levenberg-Marquardt*

Persamaan statistik *smoothing* kedua (*double*):

$$S''_n = \beta S'_n + (1 - \beta)S''_{n-1} \quad (10)$$

Kemudian, peramalan m periode ke depan ditulis dengan F_{n+m} , untuk $m \geq 1$,

$$F_{n+m} = a_n + b_n m \quad (11)$$

dengan a_n merupakan nilai pemulusan eksponensial pertama dan kedua pada saat n , b_n merupakan nilai pemulusan *trend* pada saat n

$$a_n = S'_n + (S'_n - S''_n) = 2S'_n - S''_n \quad (12)$$

$$b_n = \frac{\beta}{1-\beta} (S'_n - S''_n) \quad (13)$$

2.4. Levenberg-Marquardt

Metode *Levenberg-Marquardt* merupakan salah satu metode optimasi untuk menyelesaikan masalah kuadrat terkecil yang didasarkan pada metode Gauss-Newton. Pada metode *Levenberg-Marquardt*, arah turun ditentukan dengan mempertimbangkan parameter damping yang akan mempengaruhi arah dan juga besar langkah (Budiasih, 2009). Pada dasarnya algoritma *Levenberg-Marquardt* adalah meminimalkan jumlah residual kuadrat terboboti antara data yang diukur dengan fungsi kurva. Ukuran nilai residual ini disebut dengan kriteria galat chi-kuadrat, yaitu (Gavin, 2019):

$$\begin{aligned} \chi^2(\beta) &= \sum_{i=1}^m \left[\frac{y(t_i) - \hat{y}(t_i; \beta)}{w_i} \right]^2 \\ &= (\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}}(\beta))^T \mathbf{W} (\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}}(\beta)) \\ &= \mathbf{y}^T \mathbf{W} \mathbf{y} - 2\mathbf{y}^T \mathbf{W} \hat{\mathbf{y}} + \hat{\mathbf{y}}^T \mathbf{W} \hat{\mathbf{y}} \end{aligned} \quad (14)$$

dengan nilai w_i merupakan ukuran bobot untuk setiap galat dari $y(t_i)$. Sedangkan matriks \mathbf{W} merupakan matriks diagonal dengan $W_{ii} = 1/m$ dimana m adalah banyaknya data. Apabila fungsi $\hat{y}(t; \beta)$ adalah non linier, maka untuk meminimalkan χ^2 dilakukan secara iteratif.

Pada metode *Gradient Decscent*, nilai gradient dari fungsi objektif chi-kuadrat didefinisikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \beta} \chi^2 &= 2(\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}}(\beta))^T \mathbf{W} \frac{\partial}{\partial \beta} (\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}}(\beta)) \\ &= -2(\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}}(\beta))^T \mathbf{W} \left[\frac{\partial \hat{\mathbf{y}}(\beta)}{\partial \beta} \right] \\ &= -2(\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}})^T \mathbf{W} \mathbf{J} \end{aligned} \quad (15)$$

dimana $m \times 1$ matriks Jacobian yaitu $[\partial \hat{y}(\beta) / \partial \beta]$ mewakili sensitivitas lokal dari fungsi $\hat{y}(t; \beta)$ untuk variasi dalam parameter β . Pembaharuan parameter h yang bergerak ke arah yang semakin mengecilkan nilai χ^2 adalah sebagai berikut:

$$\mathbf{h}_{gd} = \alpha \mathbf{J}^T \mathbf{W} (\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}}) \quad (16)$$

dimana nilai skalar positif (α) menentukan panjang langkah pada metode *Gradient Descent*. \mathbf{J}^T merupakan transpose matriks Jacobian yang berdimensi $1 \times m$, \mathbf{W} merupakan matriks diagonal dengan $W_{ii} = 1/m$ yang berdimensi $m \times m$, dan $(\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}})$ merupakan matriks dengan dimensi $m \times 1$.

Persamaan untuk pembaharuan h pada metode *Gauss-Newton* adalah sebagai berikut:

$$[\mathbf{J}^T \mathbf{W} \mathbf{J}] \mathbf{h}_{gn} = \mathbf{J}^T \mathbf{W} (\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}}) \quad (17)$$

Pembaharuan parameter dari algoritma *Levenberg-Marquardt* (LM) mengadopsi dari metode *gradient descent* dan Gauss-Newton. Adapun langkah \mathbf{h}_{lm} ditentukan dengan memodifikasi persamaan (17), yaitu

$$[\mathbf{J}^T \mathbf{W} \mathbf{J} + \lambda \mathbf{I}] \mathbf{h}_{lm} = \mathbf{g} \text{ dengan } \mathbf{g} = \mathbf{J}^T \mathbf{W} (\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}}) \text{ dan } \lambda \geq 0 \text{ atau}$$

$$[\mathbf{J}^T \mathbf{W} \mathbf{J} + \lambda \mathbf{I}] \mathbf{h}_{lm} = \mathbf{J}^T \mathbf{W} (\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}}) \quad (18)$$

dimana nilai parameter λ merupakan parameter damping yang menentukan pergerakan dari pembaharuan parameter. \mathbf{J} merupakan matriks Jacobian $[\partial \hat{\mathbf{y}} / \partial \beta]$.

Selama iterasi, besar nilai λ dikendalikan oleh ratio (ρ)

$$\begin{aligned} \rho_i(\mathbf{h}_{lm}) &= \frac{\chi^2(\beta) - \chi^2(\beta + \mathbf{h}_{lm})}{(\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}})^T \mathbf{W} (\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}}) - (\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}} - \mathbf{J} \mathbf{h}_{lm})^T \mathbf{W} (\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}} - \mathbf{J} \mathbf{h}_{lm})} \\ &= \frac{\chi^2(\beta) - \chi^2(\beta + \mathbf{h}_{lm})}{\mathbf{h}_{lm}^T (\lambda_i \mathbf{h}_{lm} + \mathbf{J}^T \mathbf{W} (\mathbf{y} - \hat{\mathbf{y}}(\beta)))} \end{aligned} \quad (19)$$

Jika dalam iterasi $\rho_i(\mathbf{h}_{lm}) > \varepsilon = 10^{-6}$, berarti $\chi^2(\beta) > \chi^2(\beta + \mathbf{h}_{lm})$ maka estimator $\beta + \mathbf{h}_{lm}$ lebih baik daripada β , kemudian β akan digantikan oleh $\beta + \mathbf{h}_{lm}$. Apabila nilai $\rho_i(\mathbf{h}_{lm}) < \varepsilon = 10^{-6}$ maka nilai $\beta + \mathbf{h}_{lm}$ lebih buruk dari β , sehingga nilai λ perlu ditingkatkan agar langkah lebih dekat (Primandari, 2016).

2.5. Ukuran Kesalahan

Metode peramalan bertujuan untuk menghasilkan ramalan yang optimum dengan tidak memiliki tingkat kesalahan yang besar. Salah satu cara untuk mengetahui seberapa akurat peramalan yang dihasilkan atau seberapa kecil penyimpangan yang dialami yaitu dengan menghitung nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). MAPE menyatakan persentase kesalahan terlalu tinggi atau terlalu rendah berdasarkan persentase kesalahan hasil dari peramalan terhadap permintaan aktual selama periode tertentu. Rumus MAPE secara umum dapat dituliskan sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|X_n - \hat{X}_n|}{X_n} \times 100\% \quad (20)$$

3. METODE PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini jumlah wisatawan nusantara dan mancanegara yang berkunjung ke daya tarik wisata di Jawa Tengah yang terdiri dari data bulanan selama 7 tahun (168 data) terhitung mulai bulan Januari 2012 sampai dengan Desember 2018. Data ini diperoleh dari *website* Dinas Kepemudaan Olahraga dan Pariwisata Provinsi Jawa Tengah (sisdaporapar.jateng.prov.go.id).

Pengolahan data pada penelitian ini menggunakan bantuan *software R 3.6.1* dan *Microsoft Excel 2010*. Tahapan analisis pada penelitian ini adalah sebagai berikut

3.1 Tahapan Perhitungan dan Pembuatan Plot Peramalan B-DES

1. Melakukan *input* data untuk membuat fungsi (*function*) untuk peramalan metode B-DES dengan melakukan inisialisasi pada $S_1' = MA(T)$ dan $S_1'' = MA(T)$ yang selanjutnya disebut sebagai B-DES(T).
2. Menyusun fungsi B-DES dimana fungsi dilanjutkan dengan melakukan perulangan (*looping*) untuk rumus B-DES pada persamaan (2) sampai dengan (6) dan dilanjutkan dengan mengoreksi kesalahan fungsi B-DES dengan memasukkan nilai beta.
3. Membuat *function error* untuk nilai MAPE berdasarkan fungsi peramalan metode B-DES dengan menggunakan persamaan (20) dilanjutkan dengan mengoreksi kesalahan *function error*.
4. Melakukan optimasi parameter dengan menggunakan algoritma *Levenberg-Marquardt* (LM) dengan bantuan *package library(minpack.lm)*.
5. Melakukan peramalan B-DES dengan memasukkan nilai parameter hasil optimasi (parameter optimum).
6. Melakukan perhitungan MAPE optimum B-DES
7. Melakukan *input* data plot B-DES untuk membuat plot yang terdiri dari nilai peramalan hasil dari parameter optimum B-DES dengan data jumlah wisatawan yang dilihat berdasarkan waktu dikeluarkan jumlah wisatawan tersebut (*month*).

3.2 Tahapan Perhitungan dan Pembuatan Plot Peramalan B-WEMA

1. Melakukan *input* data untuk membuat fungsi (*function*) untuk peramalan metode B-WEMA dengan melakukan inisialisasi pada $S_1' = WMA(T)$ dan $S_1'' = WMA(T)$ yang selanjutnya disebut sebagai B-WEMA(T).
2. Membuat fungsi B-WEMA dimana fungsi dilanjutkan dengan melakukan perhitungan perulangan (*looping*) untuk rumus B-WEMA pada persamaan (7) sampai dengan (13) dan dilanjutkan dengan mengoreksi kesalahan fungsi B-WEMA dengan memasukkan nilai beta.
3. Membuat *function error* untuk nilai MAPE berdasarkan fungsi peramalan metode B-WEMA dengan menggunakan persamaan (20) dilanjutkan dengan mengoreksi kesalahan *function error*.
4. Melakukan optimasi parameter dengan menggunakan algoritma *Levenberg-Marquardt* (LM) dengan bantuan *package library(minpack.lm)*.
5. Melakukan peramalan B-WEMA dengan memasukkan nilai parameter hasil optimasi (parameter optimum).
6. Melakukan perhitungan MAPE optimum B-WEMA.
7. Melakukan *input* data plot B-WEMA untuk membuat plot yang terdiri dari nilai peramalan hasil dari parameter optimum B-DES dengan data jumlah wisatawan yang dilihat berdasarkan waktu dikeluarkan jumlah wisatawan tersebut (*month*).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bagian ini, kita dapat membandingkan hasil perhitungan antara metode B-DES dan B-WEMA. Sebelum itu optimasi parameter *beta* perlu dilakukan pada metode B-DES dan B-WEMA. Optimasi *Levenberg-Marquardt* dilakukan dengan bantuan *package library(minpack.lm)* yang tersedia pada *software* R. Hasil perubahan parameter sebelum dan sesudah dilakukan optimasi dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1 Hasil Optimasi Parameter Metode B-DES dan B-WEMA

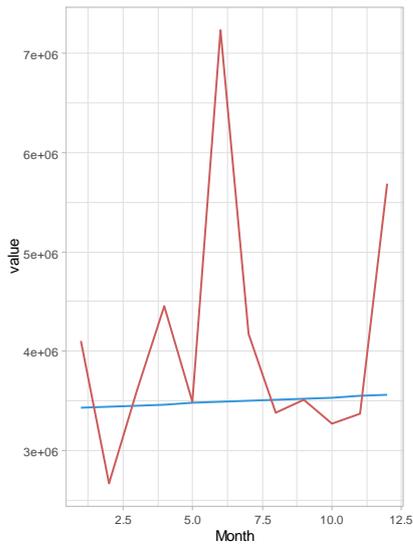
Metode	Nilai Parameter	
	Sebelum Optimasi	Sesudah Optimasi
B-DES Nusantara	0,2	0,21944386
B-DES Mancanegara	0,2	0,26213368
B-WEMA Nusantara	0,2	0,2919441
B-WEMA Mancaegara	0,2	0,26213367

Setelah didapatkan nilai parameter optimum dari masing-masing metode, kemudian dilanjutkan untuk meramalkan jumlah wisatawan untuk 12 periode ke depan. Hasil peramalan dapat dilihat pada Tabel 2.

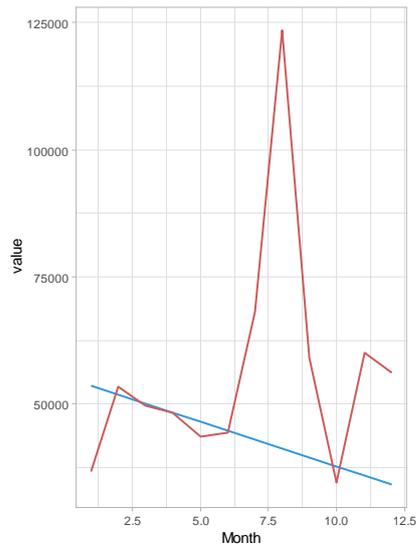
Tabel 2 Hasil Peramalan Metode B-DES dan B-WEMA pada Data Jumlah Wisatawan Nusantara

Periode	Wisatawan Nusantara	Hasil Peramalan		Wisatawan Mancanegara	Hasil Peramalan	
		B-DES	B-WEMA		B-DES	B-WEMA
2018-01	4097946	3429645	3429645	36594	53657,6059	53657,6062
2018-02	2666503	3441396	3441395	53413	51879,0707	51879,0712
2018-03	3612377	3453147	3453146	49675	50100,5356	50100,5361
2018-04	4451888	3464897	3464896	48322	48322,0005	48322,0010
2018-05	3491058	3476648	3476647	43492	46543,4653	46543,4660
2018-06	7236124	3488398	3488397	44400	44764,9302	44764,9309
2018-07	4171245	3500149	3500148	68110	42986,3951	42986,3959
2018-08	3375748	3511900	3511898	123538	41207,8599	41207,8608
2018-09	3512484	3523650	3523649	58998	39429,3248	39429,3258
2018-10	3270112	3535401	3535399	34525	37650,7896	37650,7907
2018-11	3375002	3547152	3547150	59993	35872,2545	35872,2556
2018-12	5683120	3558902	3558900	56063	34093,7194	34093,7206

Terlihat dari hasil peramalan pada metode B-DES dan B-WEMA dimana nilai peramalan yang diperoleh tidak jauh berbeda. Untuk lebih jelasnya, hasil perbandingan peramalan dalam bentuk grafik dapat dilihat pada **Gambar 1** dan **Gambar 2**.

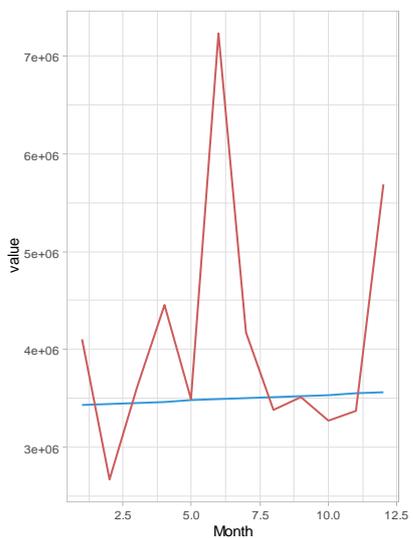


Peramalan B-DES(12) data nusantara

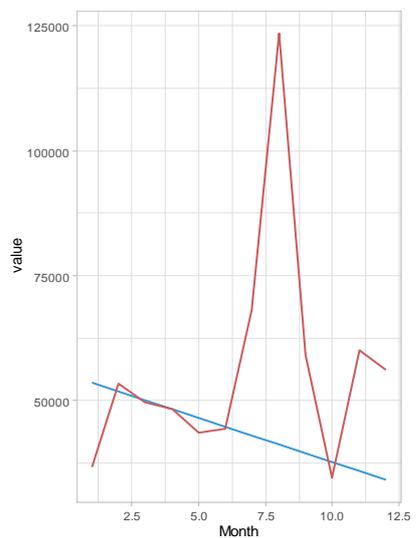


Peramalan B-DES(12) data mancanegara

Gambar 1 Grafik Hasil Peramalan metode B-DES(12)



Peramalan B-WEMA(12) data nusantara



Peramalan B-WEMA(12) data mancanegara

Gambar 2 Grafik Hasil Peramalan metode B-WEMA(12)

Terlihat dari **Gambar 1** dan **Gambar 2** data nusantara terjadi lonjakan pada bulan Juni yang disebabkan oleh libur hari Raya Idul Fitri yang berbarengan dengan libur semester sekolah, sehingga menyebabkan banyak masyarakat yang melakukan perjalanan wisata. Sedangkan untuk data wisatawan mancanegara, pada bulan Agustus terjadi lonjakan jumlah wisatawan karena dampak pelemahan rupiah terhadap dolar AS. Selain itu masa liburan musim panas juga sedang berlangsung di Eropa dimulai dari bulan Juli hingga Agustus. Kurva yang ditampilkan dari kedua metode memiliki pola yang sama antara metode B-DES dan B-WEMA Untuk hasil terbaik, dapat dilihat berdasarkan nilai error terkecil dari MAPE

out sample pada masing-masing metode. Hasil perhitungan MAPE *in sample* dan *out sample* dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3 Hasil Perhitungan MAPE pada Data Wisatawan Nusantara

Metode	MAPE <i>in sample</i>	MAPE <i>out sample</i>
B DES ($\beta = 0,2$)	31,48988%	16,28453%
B DES dengan LM ($\beta = 0,21944386$)	31,94857%	16,26516%
B WEMA ($\beta = 0,2$)	31,64308%	16,28451%
B WEMA dengan LM ($\beta = 0,219441$)	32,09665%	16,26515%

Tabel 4 Hasil Perhitungan MAPE pada Data Wisatawan Mancanegara

Metode	MAPE <i>in sample</i>	MAPE <i>out sampel</i>
B-DES ($\beta = 0,2$)	27,03343%	27,19141%
B-DES dengan LM ($\beta = 0,26213368$)	27,28474%	23,61278%
B-WEMA ($\beta = 0,2$)	27,26220%	27,19132%
B-WEMA dengan LM ($\beta = 0,26213367$)	27,52981%	23,61278%

Seperti yang dapat terlihat pada Tabel 3, dengan menggunakan $\beta = 0,2$ metode B-WEMA memiliki nilai MAPE *out sample* yang lebih kecil yaitu 16,28451% dibandingkan dengan metode B-DES yaitu 16,28453%. Sedangkan dengan menggunakan parameter optimasi LM metode B-WEMA memperoleh nilai MAPE *out sample* yang lebih kecil pula, yaitu sebesar 16,26515% dibandingkan dengan metode B-DES. Metode B-DES dengan optimasi LM memiliki nilai MAPE *out sample* sebesar 16,26516%.

Pada Tabel 4, dengan menggunakan $\beta = 0,2$ metode B-WEMA memiliki nilai MAPE *out sample* yang lebih kecil yaitu 27,19132% dibandingkan dengan metode B-DES yaitu 27,19141%. Sedangkan menggunakan optimasi LM, metode B-DES dan metode B-WEMA memiliki nilai MAPE *out sample* yang sama yaitu sebesar 23,61278%.

5. KESIMPULAN

Penerapan *Levenberg-Marquardt* (LM) pada metode B-DES dan B-WEMA menghasilkan parameter optimal untuk data jumlah wisatawan nusantara metode B-DES adalah 0,21944386 dan metode B-WEMA adalah 0,219441. Sedangkan untuk data jumlah wisatawan mancanegara diperoleh nilai parameter optimal metode B-DES adalah 0,26213368 dan metode B-WEMA adalah 0,26213367. Perbandingan nilai MAPE *out sample* pada metode B-DES dan B-WEMA dilakukan untuk melihat metode terbaik dengan nilai *error* terkecil. Untuk data jumlah wisatawan nusantara, B-WEMA dengan optimasi LM memiliki nilai MAPE *out sample* terkecil yaitu 16,26515% dimana nilai ini memiliki selisih yang sedikit dengan metode B-DES menggunakan optimasi LM yang memiliki nilai MAPE *out sample* 16,2516%. Sedangkan untuk data jumlah wisatawan mancanegara metode B-DES dengan optimasi LM dan B-WEMA dengan optimasi LM memiliki nilai MAPE *out sample* yang sama yaitu 23,61278%. Hal ini berarti bahwa kedua metode tersebut memiliki tingkat akurasi peramalan yang baik pada data jumlah wisatawan nusantara dan tingkat akurasi yang cukup pada data jumlah wisatawan mancanegara.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiasih. 2009. Metode *Levenberg-Marquardt Untuk Masalah Kuadrat Terkecil Nonlinear*. Seminar Nasional Matematika dan Pendidikan Matematika. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Gavin, H.P. 2019. *The Levenberg-Marquardt Method for Nonlinear Least Square Curve-Fitting Problems*. Department of Civil and Environmental Engineering Duke University.
- Hansun, S. 2013. *A New Approach of Moving Average Method in Time Series Analysis*. *International Conference on New Media (CoNMedia)* (hal. 1-4). Indonesia: Proc. of the 2013 IEEE International Conference on New Media
- Hansun, S. 2016. *A New Approach of Brown's Double Exponential Smoothing Method in Time Series Analysis*. *Balkan Journal of Electrical & Computer Engineering (BAJECE)*, 75-78.
- Makridakis, S., McGee, V.E., & Wheelwright, S.C. 1999. *Metode dan Aplikasi Peramalan*. Edisi 2 Jilid 1. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Primandari, A. H. 2016. *Grey Double Exponential Smoothing dengan Optimasi Levenberg-Marquardt untuk Peramalan Volume Penumpang di Bandara Soekarno-Hatta*. *Jurnal Derivt Volume 3 No. 2* , 25-39.