

OPTIMASI HASIL PERAMALAN *BROWN'S WEIGHTED EXPONENTIAL MOVING AVERAGE* MENGGUNAKAN METODE *LEVENBERG-MARQUARDT* (STUDI KASUS: HARGA BERAS DI KALIMANTAN TIMUR)

Margaretha Stevany Mbu ^{a,1}, Ika Purnamasari ^{b,2*}, Siti Mahmuda ^{c,3}

^{a, b, c} Program Studi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Mulawarman, Samarinda

^b Laboratorium Statistika Ekonomi dan Bisnis, Jurusan Matematika, FMIPA Universitas Mulawarman

^c Laboratorium Statistika Komputasi, Jurusan Matematika, FMIPA Universitas Mulawarman

¹ margarethastevany22@gmail.com; ² ika.purnamasari@fmipa.unmul.ac.id; ³ sitimahmuda@fmipa.unmul.ac.id

* Corresponding author

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Keywords

B-WEMA, Forecasting, Levenberg-Marquardt, MAPE.

Rice is a staple food for Indonesian people whose price often fluctuates. Throughout the period from January 2021 to September 2024, the price of rice in East Kalimantan continued to increase, forming a trend pattern. Data forecasting with a trend pattern can be done using the Brown's Weighted Exponential Moving Average (B-WEMA) method which uses smoothing, weighting, and order parameters in its calculations. In this method, a larger weighting is given to the latest data and the order used is a high order. In addition, determining the smoothing parameters that provide the best accuracy value is usually done by the trial-and-error method. To increase the accuracy value of the B-WEMA method, smoothing parameter optimization can be carried out using the Levenberg-Marquardt method. The purpose of this study was to apply the B-WEMA method with Levenberg-Marquardt optimization to rice price forecasting in East Kalimantan. The results showed that the smoothing parameters obtained by the B-WEMA method before optimization were 0,7 with an accurate value of MAPE is 0,820%. After optimization, the optimal smoothing parameter obtained was 0,652 which resulted in an accurate value of MAPE is 0,818%. This indicates an increase in the accuracy value. Based on the optimization results, the forecast results for the next 3 periods were obtained, namely Rp16.070 for October; Rp16.027 for November; and Rp15.985 for December.

1. Pendahuluan

Peramalan (*forecasting*) adalah suatu seni dan ilmu pengetahuan dalam memprediksi peristiwa pada masa mendatang. Peramalan seringkali melibatkan pengambilan data historis dan memproyeksikannya ke masa yang akan datang dengan model matematika [1]. Berdasarkan sifatnya, peramalan dibagi menjadi dua metode, yaitu metode kualitatif dan metode kuantitatif. Metode kualitatif merupakan metode yang didasarkan pada pendapat sedangkan metode kuantitatif merupakan metode yang didasarkan pada perhitungan matematis. Metode kuantitatif terdiri dari analisis regresi dan analisis runtun waktu (*time series analysis*) [2].

Analisis runtun waktu merupakan analisis yang digunakan untuk meramalkan data runtun waktu. Data runtun waktu adalah suatu rangkaian pengamatan berdasarkan urutan waktu dan dicatat secara berurutan pada periode waktu yang tetap, misalnya jam, hari, minggu, bulan, dan tahun [3]. Metode yang dapat digunakan dalam analisis runtun waktu salah satunya yaitu metode *Weighted Moving Average* (WMA) dan *Brown's Double Exponential Smoothing* (B-DES). Metode WMA merupakan metode MA yang

memberikan suatu faktor bobot untuk tiap data dalam runtun waktu dan dapat digunakan pada data yang memiliki pola tren dan horizontal. Penetapan pemberian bobot pada metode ini bergantung pada subjektifitas dan pengalaman peneliti [4]. Data dengan periode terbaru diberikan bobot yang lebih besar dibandingkan data periode sebelumnya. Rentang normalisasi bobot pada metode WMA adalah antara 0 sampai dengan 1 [5]. Sedangkan metode B-DES merupakan metode pemulusan eksponensial yang dilakukan sebanyak dua kali dan hanya menggunakan satu parameter dalam proses pemulusannya, serta metode ini dikembangkan untuk melakukan peramalan pada data berpola tren [6].

Pada tahun 2016, Hansun mengembangkan metode yang merupakan penggabungan antara metode B-DES dengan metode WMA, yang selanjutnya dinamakan metode *Brown's Weighted Exponential Moving Average* (B-WEMA). Metode ini dapat digunakan untuk memprediksi nilai masa depan dari data runtun waktu dengan pola tren dengan menggunakan satu parameter yang harus ditentukan. Pendekatan dalam penentuan parameter yang optimal biasanya dilakukan dengan metode *trial and error*. Penentuan parameter dengan metode *trial and error* membutuhkan proses yang panjang dan berulang-ulang hingga didapatkan nilai parameter yang optimal. Oleh karena itu, untuk dapat menentukan nilai parameter yang optimal dengan lebih efisien, maka diperlukan optimasi salah satunya yaitu optimasi *Levenberg-Marquardt* (LM) [7].

Data Pusat Informasi Harga Pangan Strategis, menunjukkan bahwa harga beras di Kalimantan Timur menunjukkan tren naik sejak Desember 2021 yaitu sebesar Rp12.150 per kg dan terus meningkat hingga pada September 2024 harga beras telah mencapai Rp16.100 per kg [8]. Harga beras yang tidak stabil dan terus meningkat ini perlu menjadi perhatian pemerintah, mengingat beras merupakan makanan pokok masyarakat Indonesia dan kenaikan harganya dapat berpengaruh terhadap inflasi. Informasi mengenai harga beras di masa yang akan datang sangat diperlukan sebagai bahan pertimbangan dalam pembentukan kebijakan stabilitas harga beras di Kalimantan Timur [9].

Sebagaimana penelitian yang telah dilakukan oleh Putri, Prasetyo, dan Rochim untuk membandingkan hasil prediksi harga saham menggunakan B-WEMA sebelum dan sesudah optimasi LM. Berdasarkan penelitian tersebut, diperoleh hasil yang menunjukkan bahwa optimasi LM yang dilakukan pada metode B-WEMA menghasilkan nilai akurasi MAPE yang lebih kecil yaitu sebesar 2% [10]. Auliana, Mukhlashin, dan Nugraha juga membandingkan hasil peramalan harga saham menggunakan metode WMA, B-DES, dan B-WEMA dengan optimasi LM yang menunjukkan bahwa metode B-WEMA dengan optimasi LM menghasilkan nilai akurasi MAPE yang paling kecil yaitu sebesar 1,50% dibandingkan nilai akurasi MAPE pada metode lainnya [11]. Abdullah, Junaidi, dan Handayani juga melakukan penelitian untuk membandingkan hasil peramalan menggunakan WEMA dan B-WEMA dengan optimasi LM yang menunjukkan bahwa metode B-WEMA dengan optimasi LM menghasilkan nilai akurasi MAPE yang lebih kecil yaitu sebesar 1,83% dibandingkan nilai akurasi MAPE untuk metode WEMA sebesar 1,99% [12]. Selain itu, Deswita, Hoyyi, dan Widiharsih juga melakukan penelitian untuk membandingkan hasil peramalan B-DES dan B-WEMA menggunakan optimasi LM yang menunjukkan bahwa metode B-WEMA dengan optimasi LM menghasilkan nilai akurasi MAPE yang lebih kecil pada peramalan data *out sample* wisatawan nusantara dan mancanegara yaitu sebesar 16,27% dan 23,61% [13]. Yulia juga melakukan penelitian yang membandingkan hasil prediksi harga emas menggunakan B-DES dan B-WEMA menggunakan optimasi LM yang menunjukkan bahwa metode B-WEMA dengan optimasi LM menghasilkan nilai akurasi MSE dan MAPE yang lebih kecil yaitu sebesar 99,72 dan 0,78% dibandingkan dengan nilai akurasi MSE dan MAPE B-DES dengan optimasi LM yaitu sebesar 99,75 dan 0,79% [14].

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan optimasi *Levenberg-Marquardt* pada hasil peramalan harga beras di Kalimantan Timur dengan metode *Brown's Weighted Exponential Moving Average*. Hasil peramalan harga beras tersebut dapat digunakan sebagai masukan bagi pemerintah Provinsi Kalimantan Timur dalam mempersiapkan program dan kebijakan untuk mengantisipasi kenaikan harga beras di masa yang akan datang.



2. Metodologi Penelitian

Data yang dimanfaatkan yaitu data sekunder yang berasal dari Pusat Informasi Harga Pangan Strategi Nasional (PIHPS), yaitu <https://www.bi.go.id/hargapangan>. Variabel yang digunakan adalah rata-rata harga beras bulanan di Provinsi Kalimantan Timur. Periode data pengamatan dalam penelitian ini adalah Bulan Januari 2021 sampai September 2024. Pengolahan data dilakukan dengan menggunakan *software R* dan *Microsoft Excel* dengan proses sebagai berikut.

1. Analisis Statistika Deskriptif

Melakukan analisis statistika deskriptif dengan menyajikan grafik runtun waktu untuk melihat pola data dari data bulanan harga beras di Kalimantan Timur pada periode Januari 2021 sampai dengan September 2024.

2. Melakukan prediksi dengan menggunakan metode B-WEMA untuk orde 2 dengan langkah-langkah sebagai berikut.

a. Menentukan kombinasi pembobot (w_p) dengan nilai masing-masing bobot yang berkisar antara 0 sampai dengan 1 dan jumlah bobot pada setiap orde sama dengan 1.

b. Menghitung nilai dasar (\hat{B}_{t+m}^*) menggunakan persamaan (1) dengan menggunakan kombinasi pembobot (w_p). Pada proses perhitungan selanjutnya digunakan metode *trial and error* untuk parameter pemulusan (α) dengan $0,1 \geq \alpha \leq 0,9$.

$$\hat{B}_{t+m}^* = \sum_{p=1}^m w_p Z_{t+p-1} \quad (1)$$

dimana \hat{Z}_{t+m} adalah nilai peramalan untuk periode $t + m$, p merupakan orde yang digunakan dengan $p = 1, 2, \dots, m$, dan Z_{t+p-1} adalah data aktual pada periode ke- $t + p - 1$ dimana $t = 1, 2, \dots, n$, dan n adalah jumlah periode waktu [15].

c. Berdasarkan nilai dasar (\hat{B}_{t+m}^*) yang telah diperoleh, selanjutnya menghitung nilai pemulusan pertama (S'_{t+m}) dan nilai pemulusan kedua (S''_{t+m}) menggunakan persamaan (2) dan (3) sebagai berikut.

$$S'_{t+m} = \alpha Z_{t+m} + (1 - \alpha) \hat{B}_{t+m}^* \quad (2)$$

$$S''_{t+m} = \alpha S'_{t+m} + (1 - \alpha) \hat{B}_{t+m}^* \quad (3)$$

d. Menghitung nilai komponen level (a_{t+m}) dan komponen tren (b_{t+m}) dengan menggunakan persamaan (4) dan (5) sebagai berikut.

$$a_{t+m} = S'_{t+m} + (S'_{t+m} - S''_{t+m}) = 2S'_{t+m} - S''_{t+m} \quad (4)$$

$$b_{t+m} = \frac{\alpha}{1 - \alpha} (S'_{t+m} - S''_{t+m}) \quad (5)$$

e. Menghitung nilai prediksi (\hat{Z}_{t+k}), k merupakan banyaknya periode ke depan yang akan diramalkan, dengan $k = 1$ menggunakan persamaan (6) sebagai berikut [10].

$$\hat{Z}_{t+k} = a_{t+m} + b_{t+m}k \quad (6)$$

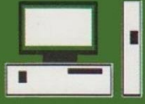
f. Menghitung nilai MAPE dengan menggunakan persamaan (7) sebagai berikut.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Z_t - \hat{Z}_{t+k}}{Z_t} \right| \times 100\% \quad (7)$$

Kriteria peramalan berdasarkan nilai MAPE dapat dilihat pada Tabel 1 berikut [2].

Tabel 1. Interpretasi Nilai MAPE

Nilai MAPE	Kriteria Peramalan
------------	--------------------



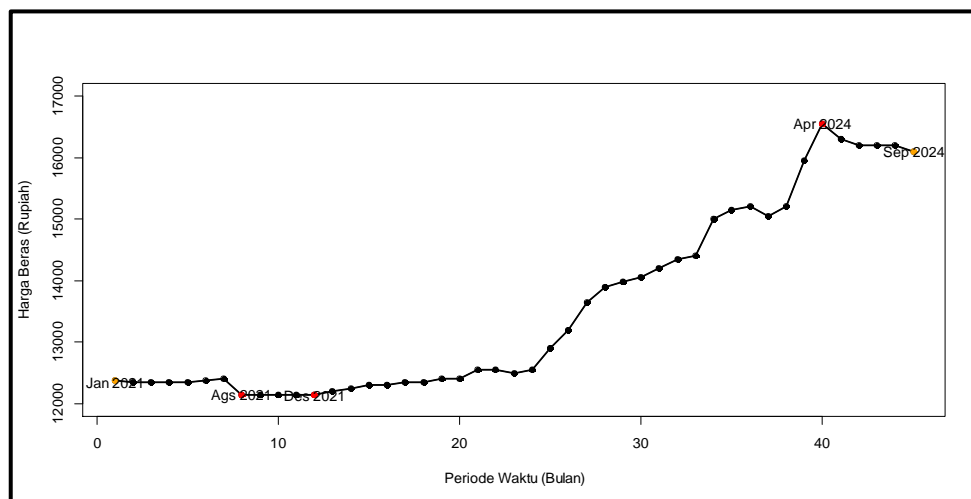
$MAPE < 10\%$	Sangat Akurat
$10\% \leq MAPE < 20\%$	Akurat
$20\% \leq MAPE < 50\%$	Cukup Akurat
$MAPE > 50\%$	Tidak Akurat

- Mengulangi perhitungan pada langkah pada 2 untuk orde 3.
- Membandingkan nilai MAPE orde 2 dan 3.
- Melakukan peramalan untuk 3 periode ke depan ($k = 1, 2, \text{ dan } 3$) dengan orde, kombinasi bobot, nilai dasar, dan parameter α dari langkah 4 menggunakan persamaan (6).
- Melakukan optimasi parameter α dengan algoritma *Levenberg-Marquardt* (LM) menggunakan *software R* (*package library* (*minpack.lm*)). Parameter α yang digunakan pada awal proses optimasi diperoleh dari langkah 4.
- Melakukan prediksi menggunakan parameter α hasil optimasi LM dengan metode B-WEMA seperti pada langkah 2.
- Melakukan peramalan untuk 3 periode ke depan ($k = 1, 2, \text{ dan } 3$) dengan orde, kombinasi bobot, nilai dasar, dan parameter α hasil optimasi LM menggunakan persamaan (6).
- Membandingkan hasil peramalan B-WEMA sebelum dan sesudah dioptimasi dengan algoritma LM.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Statistika Deskriptif

Statistika deskriptif dilakukan untuk memberikan gambaran secara umum karakteristik data yang digunakan berdasarkan grafik runtun waktu sebagaimana Gambar 1.



Gambar 1. *Time series plot* data harga beras di Kalimantan Timur periode Januari 2021 sampai September 2024

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat bahwa *time series plot* data harga beras di Kalimantan Timur pada periode Januari 2021 hingga September 2024 menunjukkan pola tren naik. Pada rentang Bulan Agustus 2021 sampai dengan Desember 2021 harga beras di Kalimantan Timur mengalami penurunan terendah yaitu sebesar Rp12.150. Namun, mulai Bulan Januari 2022 hingga April 2024, harga beras di Kalimantan Timur menunjukkan kenaikan dengan puncak kenaikan harga beras tertinggi terjadi pada Bulan April 2024 yaitu sebesar Rp16.550. Kenaikan ini terutama disebabkan oleh meningkatnya permintaan beras menjelang Hari Raya Idul Fitri yang jatuh pada Bulan April 2024, sehingga menyebabkan lonjakan harga yang cukup signifikan. Berdasarkan pola data yang terbentuk maka dapat dilakukan peramalan harga beras di

Kalimantan Timur dengan menggunakan metode *Brown's Weighted Exponential Moving Average* (B-WEMA).

3.2 Peramalan *Brown's Weighted Exponential Moving Average* (B-WEMA) Sebelum Dioptimasi

Peramalan dengan menggunakan metode B-WEMA menggabungkan perhitungan pada metode WMA dengan B-DES. Tahap awal proses peramalan pada metode ini yaitu menghitung nilai dasar dan menentukan parameter pemulusan α , yang selanjutnya akan dioptimalkan dengan menggunakan algoritma *Levenberg-Marquardt*. Perhitungan nilai dasar dan penentuan parameter pemulusan α menggunakan orde 2 dan 3. Pembobot (w_p) digunakan dalam perhitungan nilai dasar dengan metode WMA pada persamaan (1), yang mana pada perhitungannya digunakan orde 2 sehingga melibatkan 2 bobot yaitu w_1 dan w_2 dan orde 3 yang melibatkan 3 bobot yaitu w_1 , w_2 , dan w_3 dengan kombinasinya dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Kombinasi Bobot Orde 2 dan 3

Orde	Kombinasi Bobot (w_p)		
	w_1	w_2	w_3
2	0,1	0,9	
	0,2	0,8	
	0,3	0,7	
	0,4	0,6	
3	0,1	0,2	0,7
	0,1	0,3	0,6
	0,1	0,4	0,5
	0,2	0,3	0,5

Dengan menggunakan kombinasi bobot pada tabel 2, maka contoh perhitungan untuk kombinasi pertama orde 2 yaitu $w_1 = 0,1$ dan $w_2 = 0,9$, untuk orde 3 yaitu $w_1 = 0,1$, $w_2 = 0,2$ dan $w_3 = 0,7$ pada $t = 1$ adalah sebagai berikut.

Orde 2

$$\hat{B}_{1+2}^* = \sum_{p=1}^2 w_p Z_{t+p-1}$$

$$\hat{B}_{1+2}^* = w_1(Z_1) + w_2(Z_2)$$

$$\hat{B}_3^* = 0,1(12.375) + 0,9(12.350) = 12.352,500$$

Orde 3

$$\hat{B}_{1+3}^* = \sum_{p=1}^3 w_p Z_{t+p-1}$$

$$\hat{B}_{1+3}^* = w_1(Z_1) + w_2(Z_2) + w_3(Z_3)$$

$$\hat{B}_4^* = 0,1(12.375) + 0,2(12.350) + 0,7(12.350) = 12.352,500$$

Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan untuk $t = 2, 3, \dots, 43$ untuk orde 2 dan $t = 2, 3, \dots, 42$ untuk orde 3 dengan kombinasi bobot lainnya sebagaimana pada tabel 2. Setelah diperoleh nilai dasar selanjutnya dihitung nilai pemulusan pertama (S'_{t+m}) dan pemulusan kedua (S''_{t+m}) menggunakan persamaan 2 dan 3 dengan parameter α yang telah ditentukan. Berikut perhitungan nilai pemulusan pertama (S'_{t+m}) dan pemulusan kedua (S''_{t+m}) untuk orde 2 dengan kombinasi bobot yaitu $w_1 = 0,1$ dan $w_2 = 0,9$ dan untuk orde 3 dengan kombinasi bobot yaitu $w_1 = 0,1$, $w_2 = 0,2$ dan $w_3 = 0,7$ serta $\alpha = 0,1$ pada $t = 1$ adalah sebagai berikut.

Perhitungan Nilai Pemulusan Pertama (S'_{t+m})

Orde 2

$$S'_{1+2} = \alpha Z_{1+2} + (1 - \alpha) \hat{B}_{1+2}^*$$

$$S'_3 = \alpha Z_3 + (1 - \alpha) \hat{B}_3^*$$

$$S'_3 = 0,1(12.350) + (1 - 0,1)12.352,500 = 12.352,250$$

Orde 3

$$S'_{1+3} = \alpha Z_{1+3} + (1 - \alpha) \hat{B}_{1+3}^*$$

$$S'_4 = \alpha Z_4 + (1 - \alpha) \hat{B}_4^*$$

$$S'_4 = 0,1(12.350) + (1 - 0,1)12.352,500 = 12.352,250$$



Perhitungan Nilai Pemulusan Kedua (S''_{t+m})

Orde 2

$$S''_{1+2} = \alpha S'_{1+2} + (1 - \alpha) \hat{B}^*_{1+2}$$

$$S''_3 = \alpha S'_3 + (1 - \alpha) \hat{B}^*_3$$

$$S''_3 = 0,1(12.352,250) + (1 - 0,1)12.352,500 = 12.352,475$$

Orde 3

$$S''_{1+3} = \alpha S'_{1+3} + (1 - \alpha) \hat{B}^*_{1+3}$$

$$S''_4 = \alpha S'_4 + (1 - \alpha) \hat{B}^*_4$$

$$S''_4 = 0,1(12.352,250) + (1 - 0,1)12.352,500 = 12.352,475$$

Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan untuk $t = 2, 3, \dots, 43$ untuk orde 2 dan $t = 2, 3, \dots, 42$ untuk orde 3 dengan parameter $\alpha = 0,2$ sampai dengan $\alpha = 0,9$ dan nilai dasar dengan kombinasi bobot lainnya sebagaimana pada tabel 2. Hasil perhitungan nilai dasar (\hat{B}^*_{t+m}), pemulusan pertama (S'_{t+m}), dan pemulusan kedua (S''_{t+m}) secara ringkas dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Nilai Dasar, Nilai Pemulusan Pertama, dan Nilai Pemulusan Kedua untuk Orde 2 dan 3

Orde	w_p	t	Z_t	\hat{B}^*_{t+m}	S'_{t+m}			S''_{t+m}							
					$\alpha = 0,1$	$\alpha = 0,7$	$\alpha = 0,9$	$\alpha = 0,1$	$\alpha = 0,7$	$\alpha = 0,9$					
2	0,1 ; 0,9	1	12.375	12.352,500	12.352,300	12.350,750	12.350,300	12.352,500	12.351,275	12.350,500					
		2	12.350								12.350	12.350	12.350	12.350	12.350
		3	12.350								12.350	12.350	12.350	12.350	12.350
		4	12.350								12.350	12.350	12.350	12.350	12.350
		5	12.350								12.350	12.350	12.350	12.350	12.350
	44	16.200	16.200	16.200	16.200	16.200	16.200	16.200	16.200	16.200	16.200				
	45	16.100	16.200	16.190	16.130	16.110	16.199	16.151	16.119				
	0,4 ; 0,6	1	12.375	12.360	12.360	12.353	12.351	12.359,900	12.355,100	12.351,900					
		2	12.350								12.350	12.350	12.350	12.350	12.350
		3	12.350								12.350	12.350	12.350	12.350	12.350
4		12.350	12.350								12.350	12.350	12.350	12.350	
5		12.350	12.350								12.350	12.350	12.350	12.350	
44	16.200	16.200	16.200	16.200	16.200	16.200	16.200	16.200	16.200	16.200					
45	16.100	16.200	16.200	16.130	16.110	16.199	16.151	16.119					

Orde	w_p	t	Z_t	\hat{B}^*_{t+m}	S'_{t+m}			S''_{t+m}							
					$\alpha = 0,1$	$\alpha = 0,6$	$\alpha = 0,9$	$\alpha = 0,1$	$\alpha = 0,6$	$\alpha = 0,9$					
3	0,1 ; 0,2 ; 0,7	1	12.375	12.352,500	12.352,300	12.351	12.350,300	12.352,500	12.351,600	12.350,500					
		2	12.350								12.350	12.350	12.350	12.350	12.350
		3	12.350								12.350	12.350	12.350	12.350	12.350
		4	12.350								12.350	12.350	12.350	12.350	12.350
		5	12.350								12.350	12.350	12.350	12.350	12.350
	44	16.200	16.210	16.209	16.204	16.201	16.209,900	16.206,400	16.201,900						
	45	16.100	16.200	16.190	16.140	16.110	16.199	16.164	16.119				
	0,2 ; 0,3 ; 0,5	1	12.375	12.355	12.354,500	12.352	12.350,500	12.355	12.353,200	12.351					
		2	12.350								12.350	12.350	12.350	12.350	12.350
		3	12.350								12.350	12.350	12.350	12.350	12.350
4		12.350	12.350								12.350	12.350	12.350	12.350	
5		12.350	12.350								12.350	12.350	12.350	12.350	
44	16.200	16.200	16.200	16.200	16.200	16.200	16.200	16.200	16.200	16.200					
45	16.100	16.200	16.200	16.130	16.110	16.199	16.151	16.119					

		44	16.200	16.220	16.218	16.208	16.202	16.219, 800	16.212, 800	16.203, 800
		45	16.100	16.200	16.200	16.140	16.180	16.199	16.164	16.119

Setelah diperoleh nilai pemulusan pertama (S'_{t+m}) dan nilai pemulusan kedua (S''_{t+m}), selanjutnya dihitung nilai komponen level (a_{t+m}) dan komponen tren (b_{t+m}) menggunakan persamaan 4 dan 5 dengan parameter α yang telah ditentukan. Berikut perhitungan nilai komponen level (a_{t+m}) dan komponen tren (b_{t+m}) untuk orde 2 dengan kombinasi bobot yaitu $w_1 = 0,1$ dan $w_2 = 0,9$ dan untuk orde 3 dengan kombinasi bobot yaitu $w_1 = 0,1, w_2 = 0,2$ dan $w_3 = 0,7$ serta $\alpha = 0,1$ pada $t = 1$ adalah sebagai berikut.

Perhitungan Nilai Komponen Level (a_{t+m})

Orde 2

$$a_{1+2} = 2S'_{1+2} - S''_{1+2}$$

$$a_3 = 2S'_3 - S''_3$$

$$a_3 = (2 \times 12.352,250) - 12.352,475$$

$$= 12.352,025$$

Orde 3

$$a_{1+3} = 2S'_{1+3} - S''_{1+3}$$

$$a_4 = 2S'_4 - S''_4$$

$$a_4 = (2 \times 12.352,250) - 12.352,475$$

$$= 12.352,025$$

Perhitungan Nilai Komponen Tren (b_{t+m})

Orde 2

$$b_{1+2} = \frac{\alpha}{1-\alpha} (S'_{1+2} - S''_{1+2})$$

$$b_3 = \frac{\alpha}{1-\alpha} (S'_3 - S''_3)$$

$$b_3 = \frac{0,1}{1-0,1} (12.352,250 - 12.352,475)$$

$$= -0,025$$

Orde 3

$$b_{1+3} = \frac{\alpha}{1-\alpha} (S'_{1+3} - S''_{1+3})$$

$$b_4 = \frac{\alpha}{1-\alpha} (S'_4 - S''_4)$$

$$b_4 = \frac{0,1}{1-0,1} (12.352,250 - 12.352,475)$$

$$= -0,025$$

Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan untuk $t = 2, 3, \dots, 43$ untuk orde 2 dan $t = 2, 3, \dots, 42$ untuk orde 3 dengan parameter $\alpha = 0,2$ sampai dengan $\alpha = 0,9$ dan nilai dasar dengan kombinasi bobot lainnya sebagaimana pada Tabel 2. Hasil perhitungan nilai komponen level (a_{t+m}) dan komponen tren (b_{t+m}) secara lengkap dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Nilai Komponen Level dan Komponen Tren untuk Orde 2 dan 3

Orde	w_p	t	Z_t	a_{t+m}			b_{t+m}		
				$\alpha = 0,1$	$\alpha = 0,7$	$\alpha = 0,9$	$\alpha = 0,1$	$\alpha = 0,7$	$\alpha = 0,9$
2	0,1 ; 0,9	1	12.375						
		2	12.350						
		3	12.350	12.352,025	12.350,225	12.350,025	-0,025	-1,225	-2,025
		4	12.350	12.350	12.350	12.350	0	0	0
		5	12.350	12.350	12.350	12.350	0	0	0
	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
	44	16.200	16.200	16.200	16.200	0	0	0	
	45	16.100	16.181	16.109	16.101	-1	-49	-81	
	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
	2	0,4 ; 0,6	1	12.375					
2			12.350						
3			12.350	12.358,100	12.350,900	12.350,100	-0,100	-4,900	-8,100
4			12.350	12.350	12.350	12.350	0	0	0
5			12.350	12.350	12.350	12.350	0	0	0
∴		∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴
44		16.200	16.200	16.200	16.200	0	0	0	
45		16.100	16.181	16.109	16.101	-1	-49	-81	
∴		∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴	∴



Orde	w_p	t	Z_t	a_{t+m}					b_{t+m}							
				$\alpha = 0,1$...	$\alpha = 0,6$...	$\alpha = 0,9$	$\alpha = 0,1$...	$\alpha = 0,6$...	$\alpha = 0,9$			
3	0,1 ; 0,2 ; 0,7	1	12.375													
		2	12.350													
		3	12.350													
		4	12.350	12.352,025	12.351,600	12.350,025	-0,025	-0,900	-2,025							
		5	12.350	12.350	12.350	12.350	0	0	0							
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
	44	16.200	16.208,100	16.201,600	16.200,100	-0,100	-3,600	-8,100								
	45	16.100	16.181	16.116	16.101	-1	-36	-81								
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮								
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮								
0,2 ; 0,3 ; 0,5	1	12.375														
	2	12.350														
	3	12.350														
	4	12.350	12.354,050	12.350,800	12.350,050	-0,050	-1,800	-4,050								
	5	12.350	12.350	12.350	12.350	0	0	0								
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
	44	16.200	16.216,200	16.203,200	16.200,200	-0,200	-7,200	-16,200								
	45	16.100	16.181	16.116	16.101	-1	-36	-81								
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮								
	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮								

Setelah diperoleh nilai komponen level (a_{t+m}) dan komponen tren (b_{t+m}), selanjutnya dihitung nilai prediksi (\hat{Z}_{t+k}) untuk 1 periode ke depan menggunakan persamaan 6, sehingga digunakan $k = 1$. Perhitungan nilai prediksi (\hat{Z}_{t+k}) untuk orde 2 dengan kombinasi bobot yaitu $w_1 = 0,1$ dan $w_2 = 0,9$ dimulai pada $t = 3$ dan untuk orde 3 dengan kombinasi bobot yaitu $w_1 = 0,1, w_2 = 0,2$ dan $w_3 = 0,7$ serta $\alpha = 0,1$ dimulai pada $t = 4$ adalah sebagai berikut.

Orde 2

$$\hat{Z}_{3+1} = a_{3+1} + b_{3+1}k$$

$$\hat{Z}_4 = a_4 + b_4k$$

$$\begin{aligned} \hat{Z}_4 &= 12.352,025 + (-0,025 \times 1) \\ &= 12.352 \end{aligned}$$

Orde 3

$$\hat{Z}_{4+1} = a_{4+1} + b_{4+1}k$$

$$\hat{Z}_5 = a_5 + b_5k$$

$$\begin{aligned} \hat{Z}_5 &= 12.352,025 + (-0,025 \times 1) \\ &= 12.352 \end{aligned}$$

Dengan cara yang sama dilakukan perhitungan untuk $t = 2, 3, \dots, 43$ untuk orde 2 dan $t = 2, 3, \dots, 42$ untuk orde 3 dengan parameter $\alpha = 0,2$ sampai dengan $\alpha = 0,9$ dan nilai dasar dengan kombinasi bobot lainnya sebagaimana pada tabel 2.

Setelah memperoleh nilai prediksi (\hat{Z}_{t+k}), dapat dihitung nilai akurasi prediksinya. Hasil perhitungan nilai MAPE untuk orde 2 dan 3 dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Nilai MAPE untuk Orde 2 dan 3

α	Orde							
	2				3			
	w_p							
	0,1 ; 0,9	0,2 ; 0,8	0,3 ; 0,7	0,4 ; 0,6	0,1 ; 0,2 ; 0,7	0,1 ; 0,3 ; 0,6	0,1 ; 0,4 ; 0,5	0,2 ; 0,3 ; 0,5
0,1	1,525	1,567	1,609	1,651	1,665	1,708	1,754	1,805
0,2	1,355	1,386	1,418	1,449	1,465	1,497	1,529	1,548
0,3	1,184	1,205	1,226	1,247	1,265	1,286	1,307	1,316
0,4	1,047	1,054	1,060	1,066	1,089	1,095	1,101	1,105
0,5	0,916	0,916	0,916	0,916	0,939	0,939	0,939	0,939
0,6	0,838	0,838	0,841	0,846	0,861	0,866	0,871	0,871

0,7	0,820	0,833	0,845	0,858	0,869	0,886	0,904	0,918
0,8	0,841	0,862	0,893	0,923	0,935	0,966	0,997	1,018
0,9	0,894	0,924	0,968	1,013	1,015	1,062	1,110	1,137

Berdasarkan hasil perhitungan nilai MAPE orde 2 dan orde 3 pada tabel 5 dapat disimpulkan bahwa nilai MAPE terbaik diperoleh pada orde 2 dengan kombinasi bobot $w_1 = 0,1$ dan $w_2 = 0,9$ serta $\alpha = 0,7$. Setelah diperoleh orde, nilai dasar, dan parameter pemulusan α maka proses perhitungan dapat dilanjutkan dengan melakukan optimasi parameter pemulusan α dengan algoritma *Levenberg-Marquardt* untuk memperoleh parameter pemulusan α optimal.

3.3 Optimasi Parameter Pemulusan α dengan Menggunakan Algoritma *Levenberg-Marquardt*

Pada optimasi *Levenberg-Marquardt* nilai parameter pemulusan α terbaik yang telah diperoleh menggunakan metode B-WEMA dengan 2, yaitu sebesar 0,7 akan digunakan sebagai nilai parameter awal yang akan dimasukkan dalam perhitungan algoritma *Levenberg-Marquardt*. Algoritma *Levenberg-Marquardt* memiliki fungsi-fungsi implisit dan iterasi pada algoritmanya menjadikan perhitungannya sulit dilakukan secara manual sehingga memerlukan bantuan komputasi. Oleh karena itu, pada penelitian ini untuk memperoleh parameter pemulusan α yang optimal dengan optimasi *Levenberg-Marquardt* maka digunakan *Software R* dengan bantuan *package library (minpack.lm)*. Dari hasil komputasi tersebut maka diperoleh parameter pemulusan α sebesar 0,652 dengan jumlah iterasinya yaitu sebanyak 10.

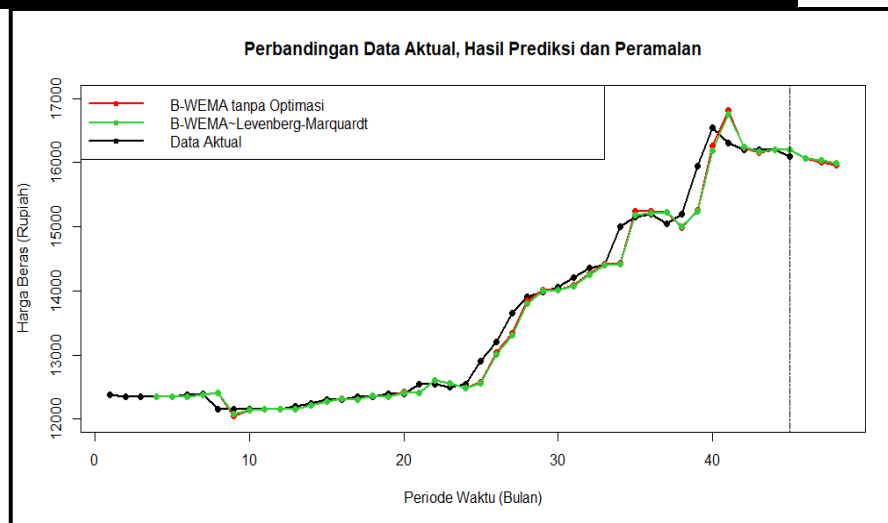
Proses perhitungan dilanjutkan dengan melakukan peramalan dengan metode B-WEMA menggunakan parameter pemulusan α optimal dimana langkah-langkah perhitungannya sama seperti langkah perhitungan peramalan B-WEMA dengan parameter pemulusan α yang belum dioptimasi sebelumnya hingga diperoleh nilai MAPE dengan metode B-WEMA dengan parameter pemulusan α yang dioptimasi menggunakan algoritma *Levenberg-Marquardt* adalah sebesar 0,818% yang bernilai kurang dari 10% sehingga dapat disimpulkan hasil prediksi menggunakan metode tersebut sangat akurat.

Selanjutnya dapat dilakukan peramalan menggunakan orde 2 dengan kombinasi bobot $w_1 = 0,1$ dan $w_2 = 0,9$ serta $\alpha = 0,7$ yang merupakan nilai parameter pemulusan sebelum dioptimasi dan $\alpha = 0,652$ yang merupakan nilai parameter pemulusan setelah dioptimasi hingga diperoleh hasil peramalan harga beras di Kalimantan Timur untuk 3 periode ke depan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 6. Hasil Peramalan Harga Beras 3 Periode ke Depan

$t + k$	Periode	Harga Beras (Rp)	
		Sebelum Dioptimasi	Setelah Dioptimasi
46	Oktober 2024	16.060	16.070
47	November 2024	16.011	16.027
48	Desember 2024	15.962	15.985

Berdasarkan Tabel 6, nilai MAPE yang diperoleh dengan metode B-WEMA sebelum dioptimasi yaitu sebesar 0,820%, sedangkan setelah dioptimasi dengan algoritma *Levenberg-Marquardt* sebesar 0,818%. Hal ini menunjukkan bahwa metode B-WEMA dengan optimasi *Levenberg-Marquardt* menghasilkan nilai prediksi yang lebih akurat. Visualisasi perbandingan antara data aktual, hasil prediksi serta peramalan harga beras dengan metode B-WEMA sebelum dioptimasi dan setelah dioptimasi dengan algoritma *Levenberg-Marquardt* disajikan sebagai berikut.



Gambar 2. *Time series plot* perbandingan data aktual dan hasil peramalan harga beras di Kalimantan Timur dengan B-WEMA sebelum dan sesudah dioptimasi

Gambar 2 merupakan *time series plot* dari hasil peramalan data bulanan harga beras Provinsi Kalimantan Timur periode Januari 2021 sampai dengan September 2024 menggunakan metode B-WEMA sebelum dioptimasi dan setelah dioptimasi dengan algoritma *Levenberg-Marquardt*. Berdasarkan gambar 2 dapat dilihat bahwa pada grafik hasil peramalan harga beras Provinsi Kalimantan Timur hampir mengikuti pola data aktualnya dan terjadi penurunan pada hasil peramalan periode Oktober, November, dan Desember 2024.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa optimasi *Levenberg-Marquardt* dapat memberikan hasil akurasi yang lebih baik. Selain itu orde perhitungan yang lebih tinggi tidak menjamin dapat memberikan hasil akurasi peramalan yang lebih baik.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, saran untuk penelitian selanjutnya yaitu dapat menggunakan metode optimasi non linier lainnya seperti optimasi *Golden Section*, pencarian dikotomis, dan kuadratik.

Daftar Pustaka

- [1] Heizer, J., & Render, B. *Dasar-Dasar Manajemen Produksi dan Operasi*. Jakarta: Salemba Empat, 2015.
- [2] V. E. Makridakis, S., Wheelwright, S.C., & McGee, *Metode dan Aplikasi Peramalan Jilid 1 Edisi Kedua*. Jakarta: Erlangga, 1995.
- [3] K. Walpole, R.E., Myers, R. H., Myers, S. L., dan Ye, *Probability dan Statistics for Engineers and Scientists 9th Edition*. New York: Prentice Hall, 2011.
- [4] M. Rizqi, A. Cahya, and N. El Maida, "Implementasi Metode Weighted Moving Average Untuk Sistem Peramalan Penjualan Markas Coffee," *INFORMAL Informatics J.*, vol. 6, no. 3, p. 154, 2021, doi: 10.19184/isj.v6i3.28467.
- [5] P. N. Eris, D. A. Nohe, and S. Wahyuningsih, "Peramalan dengan Metode Smoothing dan Verifikasi Metode Peramalan dengan Grafik Pengendali Moving Range (MR) (Studi Kasus : Produksi Air Bersih di PDAM Tirta Kencana Samarinda)," *J. EKSPONENSIAL*, vol. 5, no. 2, pp. 203–210, 2023.



- [6] H. D. P. Habsari, I. Purnamasari, and D. Yuniarti, "Forecasting Uses Double Exponential Smoothing Method and Forecasting Verification Uses Tracking Signal Control Chart (Case Study: Ihk Data of East Kalimantan Province)," *BAREKENG J. Ilmu Mat. dan Terap.*, vol. 14, no. 1, pp. 013–022, 2020, doi: 10.30598/barekengvol14iss1pp013-022.
- [7] S. Hansun and Subanar, "Brown's weighted exponential moving average implementation in forex forecasting," *Telkonnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 15, no. 3, pp. 1425–1432, 2017, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.v15i3.5410.
- [8] Pusat Informasi Harga Pangan Strategis (PIHPS). (2023). Tabel Harga Berdasarkan Komoditas. [Online]. Available: <https://www.bi.go.id/hargapangan/TabelHarga/PasarTradisionalKomoditas>
- [9] E. Lastinawati, A. Mulyana, I. Zahri, and S. Sriati, "Model ARIMA untuk Peramalan Harga Beras di Kabupaten Ogan Komering Ilir Provinsi Sumatera Selatan," *Semin. Nas. Lahan Suboptimal*, no. 1, pp. 192–200, 2019.
- [10] D. Indriyani Putri, P. Harga Saham Menggunakan, A. Budi Prasetyo, and A. Fatchur Rochim, "Prediksi Harga Saham Menggunakan Metode Brown's Weighted Exponential Moving Average dengan Optimasi Levenberg-Marquardt (Stock Price Prediction Using Brown's Weighted Exponential Moving Average with Levenberg-Marquardt Optimization)," 2021.
- [11] P. Auliana, R. Mukhlashin, and J. Nugraha, "BROWN'S WEIGHTED EXPONENTIAL MOVING AVERAGE (B-WEMA) WITH LEVENBERG-MARQUARDT OPTIMIZATION TO FORECASTING RATE OF RETURN," *Turkish Online J. Des. Art Commun.*, pp. 1744–1749, 2018, doi: 10.7456/1080SSE/232.
- [12] N. Hasanah Abdullah and dan Lilies Handayani, "Peramalan Rate of Return Saham Menggunakan Metode Brown's Weighted Exponential Moving Average dengan Optimasi Levenberg-Marquardt (Forecasting the Stock Rate of Return using the Brown's Weighted Exponential Moving Average Method with Optimization of Levenberg Marquardt)."
- [13] T. Deswita, D. R., Hoyyi, A., Widiarsih, "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," *J. Gaussian*, vol. 9, no. 3, pp. 316–325, 2020.
- [14] O.: Yulia and N. Kumala, "Prediksi Harga Emas Menggunakan Pemodelan Brown's Double Exponential Smoothing (B-DES) dan Brown's Weighted Exponential Moving Average (B-WEMA) dengan Optimasi Levenberg Marquardt."
- [15] E. Herjanto, *Sains Manajemen Analisis Kuantitatif Untuk Pengambilan Keputusan*. Jakarta: Grasindo, 2009.