

Peramalan Produksi Kelapa Sawit Menggunakan Metode *Pegel's Exponential Smoothing**Prediction of Palm Oil Production Using Pegel's Exponential Smoothing Method*Yetty Veronica Lestari Sinaga¹, Sri Wahyuningsih², dan Meiliyani Siringoringo³¹Laboratorium Statistika Ekonomi dan Bisnis, FMIPA, Universitas Mulawarman²Laboratorium Statistika Terapan, FMIPA, Universitas Mulawarman³Laboratorium Statistika Komputasi, FMIPA, Universitas MulawarmanE-mail: yettysinaga211@gmail.com, swahyuningsih@fmipa.unmul.ac.id,
meiliyani.siringoringo@gmail.com**Abstract**

Time series data analysis using Pegel's exponential smoothing method are an analysis of time series that is influenced by trend and seasonal data patterns. The data used in this study was oil palm production in East Kalimantan Province from January 2014 until December 2018. This study aims to predict oil palm production for January, February, March in 2019. Forecasting results were verified based on the MAPE value and monitoring signal tracking method. The results showed that in the Pegel method, the exponential smoothing model without a multiplicative seasonal trend with a MAPE value of 7.84% had better forecasting accuracy than the other methods. The forecast results of the Pegel's exponential smoothing method without a multiplicative seasonal trend can be used to predict the next 3 periods, namely January, February and March 2019. The forecast results for the next 3 periods have increased in succession.

Keywords: Pegel's Exponential Smoothing, Produksi Kelapa Sawit, MAPE.

Pendahuluan

Salah satu metode peramalan model deret berkala adalah peramalan dengan menggunakan metode *Pegel's exponential smoothing*. Metode umum yang dipakai dalam *exponential smoothing* yang didasarkan atas tiga Persamaan *smoothing*, yaitu stasioner, unsur *trend*, dan unsur musiman adalah *Winter's exponential smoothing* dan *Pegel's exponential smoothing*. *Pegel's exponential smoothing* merupakan metode yang mempertimbangkan pemisahan aspek *trend* dan musiman serta modelnya bersifat aditif (linier) atau multiplikatif (nonaditif). Model multiplikatif digunakan apabila *plot* data asli menunjukkan fluktuasi *trend* dan musiman terlihat berubah-ubah. Model aditif dilakukan jika *plot* data asli menunjukkan fluktuasi *trend* dan musiman yang relatif stabil. (Makridakis, dkk., 1999)

Menurut Newbold dan Bos (1990), hal dasar dalam peramalan adalah pengukuran ketepatan suatu metode peramalan tertentu dengan perhitungan kesalahan peramalan. Metode yang dapat digunakan, yaitu *mean absolut percentage error* (MAPE). Dalam hal peramalan semakin kecil nilai MAPE yang diperoleh maka hasil ramalan tersebut semakin baik. Namun pola data masa lalu yang berubah-ubah menyebabkan konstanta *smoothing* yang sudah ada tidak selamanya menjadi nilai konstanta yang terbaik.

Penelitian sebelumnya dengan metode *Pegel's exponential smoothing* banyak menggunakan data tentang perkebunan di Indonesia. Perkebunan di Indonesia sangat berperan penting baik dalam bidang ekonomi maupun sosial. Hal ini karena dapat menghasilkan devisa yang cukup besar untuk membangun

bangsa dan negara ini. Salah satunya yaitu produksi tanaman kelapa sawit yang banyak ditanam oleh perusahaan besar baik pemerintah maupun swasta. Bahkan masyarakat juga banyak bertanam kelapa sawit secara kecil-kecilan. Hal ini menunjukkan tanaman kelapa sawit cocok tumbuh di Indonesia. (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2019)

Menurut Elvani, dkk (2016), dalam pidato utama Menteri Perindustrian Republik Indonesia, Saleh Husin pada *The Business and Investment Forum For Downstream Palm Oil Industry* di Rotterdam, Belanda 4 September 2015 mengatakan kelapa sawit menjadi komoditas bahan baku produk di banyak negara dimana impor minyak sawit dunia telah menunjukkan kecenderungan meningkat setiap tahun, artinya minyak sawit sangat penting sebagai sumber makanan dunia dan bionergi. Indonesia adalah produsen minyak kelapa sawit terbesar di dunia. Pada tahun 2014, Indonesia memproduksi minyak sawit mentah sekitar 35 juta ton dan diperkirakan bahwa lebih dari 45 juta ton akan diproduksi pada tahun 2020.

Kalimantan Timur mempunyai potensi yang besar dalam pertanian dan perkebunan. Pemerintah RI menetapkan Kalimantan Timur sebagai *zona cluster industry* berbasis pertanian dan *oleo chemical* (Dinas Perkebunan Provinsi Kalimantan Timur, 2018). Luas Perkebunan kelapa sawit mengalami kenaikan setiap tahunnya. Pada tahun 2015 hingga 2019, luas perkebunan kelapa sawit di Kalimantan Timur secara berurut yaitu 849.609 ha, 1.021.314 ha, 1.059.990 ha, 1.083.286 ha, dan 1.107.437 ha. (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2019)

Peramalan

Peramalan adalah kegiatan memperkirakan tingkat permintaan produk yang diharapkan untuk suatu produk atau beberapa produk dalam periode waktu tertentu di masa yang akan datang. Dalam menyelesaikan masalah di masa yang akan datang yang tidak dapat dipastikan, dapat berupaya menyelesaikannya dengan model pendekatan yang sesuai dengan perilaku aktual data. Masalah yang diramalkan bervariasi, seperti perkiraan curah hujan, kemungkinan pemenang dalam pemilihan kepala daerah (PILKADA), skor pertandingan atau tingkat inflasi. (Biegel, 1999)

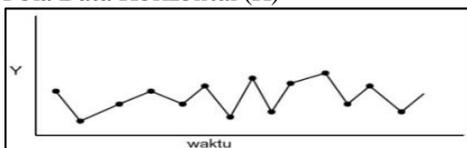
Pada dasarnya ada tiga langkah prosedur penyusunan yang penting dalam peramalan, yaitu menganalisa data masa lalu dilakukan dengan cara membuat tabulasi dari data yang lalu dengan tabulasi tersebut dapat diketahui pola dari data tersebut, menentukan metode yang digunakan, memproyeksikan data yang lalu dengan menggunakan metode yang dipergunakan dan mempertimbangkan adanya beberapa faktor perubahan. (Makridakis, 1993)

Data Deret Waktu

Deret waktu dalam statistika merupakan rangkaian data yang berupa nilai pengamatan yang diukur selama kurun waktu tertentu berdasarkan waktu dengan interval yang sama.

Menurut Makridakis, dkk (1999) terdapat beberapa pola atau kecenderungan yang ada yaitu:

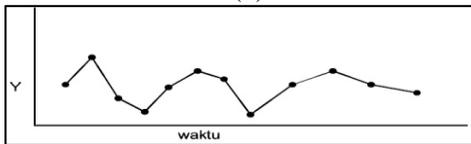
1. Pola Data Horizontal (H)



Gambar 1 Pola data horizontal

Pola data horizontal terjadi apabila nilai data berfluktuasi di sekitar nilai rata-rata yang konstan. Deret seperti itu stasioner terhadap nilai rata-ratanya.

2. Pola Data Musiman (S)

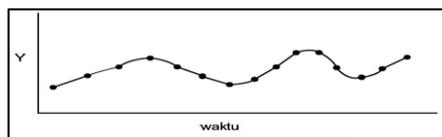


Gambar 2 Pola data musiman

Pola data musiman terjadi bilamana suatu deret dipengaruhi oleh faktor musiman (misalnya kuartal tahun tertentu, bulanan, atau hari-hari pada minggu tertentu).

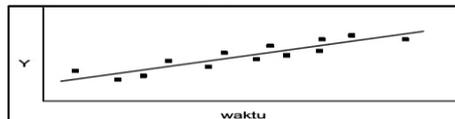
3. Pola Data Siklus (C)

Pola data siklus terjadi bilamana datanya dipengaruhi oleh fluktuasi ekonomi jangka panjang seperti yang berhubungan dengan siklus bisnis.



Gambar 3 Pola data siklus

4. Pola Data Trend (T)



Gambar 4 Pola data trend

Pola data trend terjadi bilamana terdapat kenaikan atau penurunan sekuler jangka panjang dalam data.

Selain keempat pola dasar data yang telah disajikan, terdapat juga klasifikasi pola data dua arah berdasarkan klasifikasi *Pegel's* (Gambar 5).

	Tidak musiman	Musiman aditif	Musiman multiplikatif
Tidak trend			
Trend aditif			
Trend multiplikatif			

Gambar 5 Pola data berdasarkan klasifikasi *Pegel's*

Hal ini menunjukkan sekumpulan pola data yang telah digunakan secara ekstensif dalam mengevaluasi performansi dari berbagai metode peramalan. Identifikasi pola data harus tepat karena model peramalan yang tidak sesuai akan kurang baik jika dibandingkan dengan model yang tepat. Pembagian pola data berdasarkan *Pegel's* ini, dimana terjadi pemisahan yang lebih detail mengenai aspek trend dan musiman yang masing-masing dibagi ke dalam kategori aditif dan multiplikatif. Pola aditif menandakan bahwa data bersifat aditif dan pola multiplikatif menandakan data multiplikatif.

Pegel's Exponential Smoothing

Metode *Pegel's exponential smoothing* membantu dalam menyelesaikan berbagai kemungkinan model yang akan ditemui dalam kasus-kasus peramalan. Terdapat sembilan kemungkinan model peramalan yang semuanya mempunyai Persamaan *exponential smoothing* yang berbeda-beda untuk tiap model. Metode ini terdiri atas dua model yaitu model aditif dan model multiplikatif. Model multiplikatif digunakan apabila *plot* data asli menunjukkan fluktuasi trend dan musiman terlihat berubah-ubah. Sedangkan model aditif dilakukan jika *plot* data asli menunjukkan fluktuasi trend dan

musiman yang relatif stabil. (Rahmadhany, dkk., 2018)

Persamaan yang digunakan dalam implementasi *Pegel's exponential smoothing* ditunjukkan pada Persamaan berikut:

$$S_t = \alpha P + (1 - \alpha)Q, \tag{1}$$

Nilai P dan Q berubah-ubah menurut sel tempat di mana nilai *smoothing* S_t ini berada. Tabel 1 menunjukkan nilai P dan Q yang sesuai, dengan komponen *trend* aditif B_t , komponen *trend* multiplikatif B_t , komponen musiman aditif D_t , dan komponen musiman multiplikatif D_t . Dalam menginisialisasi metode *Pegel's exponential smoothing* dibutuhkan nilai awal *smoothing*, *smoothing* faktor *trend* dan *smoothing* faktor musiman. Untuk mendapatkan estimasi nilai awal dari indeks musiman, diperlukan setidaknya data lengkap selama satu musim. Nilai awal konstanta *smoothing* didapatkan dengan menggunakan nilai rata-rata musimpertama seperti pada Persamaan (2)

$$S_L = \frac{1}{L}(Z_1 + Z_2 + \dots + Z_n), \tag{2}$$

kemudian didapatkan nilai inisialisasi indeks musiman dengan menggunakan rasio dari data tahun pertama dengan rata-rata data tahun kedua untuk model aditif seperti pada Persamaan (3)

$$I_1 = Z_1 - S_L, I_2 = Z_2 - S_L, \dots, I_n = Z_n - S_L(3)$$

untuk model multiplikatif seperti pada Persamaan (4)

$$I_1 = \frac{Z_1}{S_L}, I_2 = \frac{Z_2}{S_L}, \dots, I_n = \frac{Z_n}{S_L}, \tag{4}$$

Nilai inisialisasi faktor *trend* aditif ditunjukkan oleh Persamaan (5)

$$B_L = \frac{1}{L} \left(\frac{Z_{L+1} - Z_1}{L} + \frac{Z_{L+2} - Z_2}{L} + \dots + \frac{Z_{L+n} - Z_L}{L} \right), \tag{5}$$

dan untuk inisialisasi faktor *trend* multiplikatif menggunakan data lengkap selama dua musim (dua periode) sebagai berikut:

$$B_L = \frac{1}{L} \left(\frac{Z_{L+1} + Z_{L+2} + \dots + Z_{L+n}}{Z_1 + Z_2 + \dots + Z_L} \right) \tag{6}$$

Tabel 1 menunjukkan simbol-simbol yang Digunakan pada *Pegel's Exponential Smoothing* di mana

$B_t = \gamma(S_t - S_{t-1}) + (1 - \gamma)B_{t-1}$ adalah rumus untuk mencari *trend* aditif,

$B_t = \gamma \left(\frac{S_t}{S_{t-1}} \right) + (1 - \gamma)B_{t-1}$ adalah rumus untuk mencari *trend* multiplikatif,

$I_t = \beta (Z_t - S_t) + (1 - \beta) I_{t-L}$ adalah rumus untuk mencari musiman aditif,

$I_t = \beta \left(\frac{Z_t}{S_t} \right) + (1 - \beta)I_{t-L}$ adalah rumus untuk mencari musiman multiplikatif,

L = panjang musiman,

α, β, γ adalah parameter dengan nilai antara 0 dan 1.

Tabel 1 Simbol yang Digunakan pada *Pegel's Exponential Smoothing*

Komponen <i>Trend</i>	Komponen Musiman		
	Tanpa	Aditif	Multiplikatif
Tanpa	$P = Z_t$	$P = Z_t - I_{t-L}$	$P = Z_t/I_{t-L}$
Aditif	$Q = S_{t-1}$	$Q = S_{t-1}$	$Q = S_{t-1}$
	$P = Z_t$	$P = Z_t - I_{t-L}$	$P = Z_t/I_{t-L}$
Multiplikatif	$Q = S_{t-1} + B_{t-1}$	$Q = S_{t-1} + B_{t-1}$	$Q = S_{t-1} + B_{t-1}$
	$P = Z_t$	$P = Z_t - I_{t-L}$	$P = Z_t/I_{t-L}$
	$Q = S_{t-1}B_{t-1}$	$Q = S_{t-1}B_{t-1}$	$Q = S_{t-1}B_{t-1}$

Rumus untuk membuat ramalan m periode ke depan dengan menggunakan *Pegel's exponential smoothing* ditunjukkan pada Tabel 2 sebagai berikut:

Tabel 2 Peramalan Periode ke Depan dengan Menggunakan *Pegel's Exponential Smoothing*

Komponen <i>Trend</i>	Komponen Musiman		
	Tanpa	Aditif	Multiplikatif
Tanpa	S_t	$S_t + I_{t-L+m}$	$S_t I_{t-L+m}$
Aditif	$S_t + mB_t$	$S_t + mB_t + I_{t-L+m}$	$(S_t + mB_t)I_{t-L+m}$
Multiplikatif	$S_t B_t^m$	$S_t B_t^m + I_{t-L+m}$	$S_t I_{t-L+m} B_t^m$

Untuk memberikan contoh penggunaan dari salah satu sel, pada model *exponential smoothing* dengan *trend* multiplikatif dan musiman multiplikatif:

$$P = Z_t/I_{t-L}, \tag{7}$$

$$Q = S_{t-1}B_{t-1}, \tag{8}$$

$$I_t = \beta(Z_t/S_{t-1}) + (1 - \beta)I_{t-L}, \tag{9}$$

$$B_t = \gamma(S_t/S_{t-1}) + (1 - \gamma)B_{t-1}, \tag{10}$$

dengan menggunakan Persamaan (1), maka

$$S_t = \alpha \left(\frac{Z_t}{I_{t-L}} \right) + (1 - \alpha)S_{t-1}B_{t-1}, \tag{11}$$

nilai peramalan m periode ke depan

$$F_{t+m} = S_t I_{t-L+m} B_t^m \tag{12}$$

di mana

F_{t+m} : nilai peramalan untuk m periode kedepan,
 S_t : nilai *exponential smoothing* pada waktu ke- t ,
 I_t : nilai *smoothing* musiman multiplikatif,
 m : jumlah periode ke depan yang akan diramalkan,
 n : 1, 2, ..., L sepanjang musiman. (Makridakis, dkk., 1999)

Ukuran Akurasi Peramalan

Ukuran akurasi hasil peramalan merupakan ukuran tentang tingkat perbedaan atau kesalahan hasil peramalan dengan permintaan yang sebenarnya terjadi. Menurut Heizer dan Render (2009), ada beberapa perhitungan yang biasa digunakan untuk menghitung kesalahan peramalan total. Salah satu ukuran akurasi peramalan yang paling umum digunakan seperti *Mean Absolute Percentage Error (MAPE)*. MAPE menyatakan persentase kesalahan hasil peramalan terhadap permintaan aktual selama periode tertentu yang akan memberikan informasi persentase kesalahan terlalu tinggi atau rendah.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{Z_t - F_t}{Z_t} \right| \times 100\% \quad (13)$$

di mana Z_t adalah data aktual pada waktu ke- t ,

F_t adalah data peramalan pada waktu ke- t , n adalah jumlah data.

Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan bahan baku untuk industri sabun, industri lilin, industri pembuatan lembaran-lembaran timah dan industri kosmetik. Produktivitas dari perkebunan kelapa sawit menghasilkan keuntungan besar sehingga banyak hutan dari perkebunan yang sudah lama terbengkalai dikonversi menjadi perkebunan kelapa sawit (Lubis dan Widanarko, 2011).

Minyak nabati kelapa sawit dihasilkan dari proses pengolahan buah kelapa sawit. Minyak nabati kelapa sawit terbagi menjadi dua yaitu minyak kelapa sawit mentah CPO (*Crude Palm Oil*) yang diekstraksi dari mesokarp buah kelapa sawit dan minyak inti sawit PKO (*Palm Kernel Oil*) yang diekstraksi dari biji atau inti kelapa sawit. Minyak CPO adalah minyak kelapa sawit yang diperoleh dari mesokarp buah kelapa sawit, melalui ekstraksi dan mengandung sedikit air serta serat halus yang berwarna kuning sampai merah dan berbentuk semi solid pada suhu ruang yang disebabkan oleh kandungan asam lemak jenuh yang tinggi. Dengan adanya air dan serat halus tersebut menyebabkan minyak kelapa sawit mentah ini tidak dapat langsung digunakan sebagai bahan pangan maupun nonpangan (Suriانا, 2019).

Metode Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah jumlah produksi kelapa sawit di Provinsi Kalimantan Timur bulan Januari tahun 2014 hingga Desember tahun 2018 yang dinotasikan dengan Z_t . Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam analisis data adalah sebagai berikut:

1. Melakukan analisis statistika deskriptif dengan menghitung nilai minimum, nilai maksimum, rata-rata dan deviasi standar dari data jumlah produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur.
2. Membuat *time series plot* data jumlah produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur.
3. Memisahkan data menjadi pertahun dan membuat *time series plot* untuk mengetahui pola lain dari data produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur lalu mengidentifikasi pola data per tahun dalam dua jalur yaitu komponen *trend* dan komponen musiman.
4. Melakukan peramalan dengan metode *Pegel's exponential smoothing* dengan langkah sebagai berikut:
 - a. Mengidentifikasi model aditif/multiplikatif berdasarkan *time series plot* data produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur berdasarkan Gambar 5. Setiap komponen memiliki tiga model yang berbeda sehingga menghasilkan sembilan model (Tabel 1)
 - b. Melakukan perhitungan *Pegel's exponential smoothing* ketiga model.
 - 1) Mengetahui nilai parameter *smoothing* terbaik untuk memuluskan nilai *smoothing* awal (Persamaan 2), faktor *trend* (Persamaan 5) dan (Persamaan 6) dan faktor musiman (Persamaan 3) dan (Persamaan 1) menggunakan nilai P dan Q pada Tabel 1. Nilai tersebut dipilih secara *trial* dan *error* untuk menentukan kombinasi α , β , dan γ yang paling optimum dengan membandingkan nilai MAPE terkecil. Nilai α untuk *smoothing* S_t dicoba dari $0,1 \leq \alpha \leq 0,9$ dengan interval 0,1 begitu juga nilai β untuk *smoothing* D_t dan untuk γ *smoothing* B_t .
 - 2) Menginisialisasi nilai *smoothing* awal (Persamaan 2), faktor *trend* (Persamaan 5) atau (Persamaan 6) dan faktor musiman (Persamaan 3).
 - 3) Menghitung *smoothing* S_t , I_t dan B_t (Persamaan 1) menggunakan nilai P dan Q pada Tabel 1.
 - 4) Menghitung peramalan dengan cara nilai hasil *smoothing* S_t , B_t , I_{t-L} periode terakhir digunakan menghitung peramalan periode selanjutnya.

5. Membuat grafik dari hasil peramalan untuk melihat pola data yang dihasilkan
6. Memilih metode terbaik

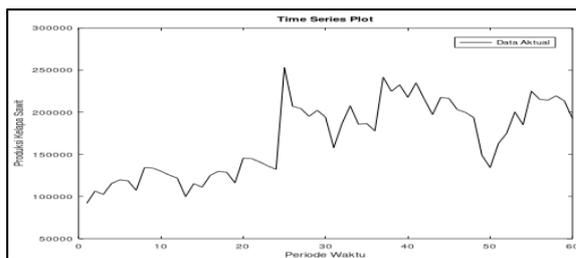
Hasil dan Pembahasan

Statistika deskriptif data jumlah produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur periode Januari 2014 hingga Desember 2018 disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3 Statistika Deskripif

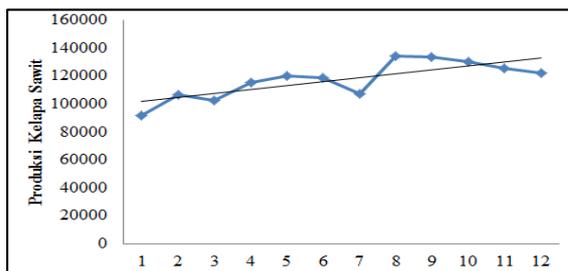
Ukuran Statistik	Nilai (Ton)
Minimum	91.945
Maksimum	253.139
Rata-rata	169.555,86
Deviasi standar	44.489,77

Selanjutnya peneliti menyajikan *time series plot* untuk melihat kecenderungan pergerakan pola data yang disajikan pada Gambar 6.



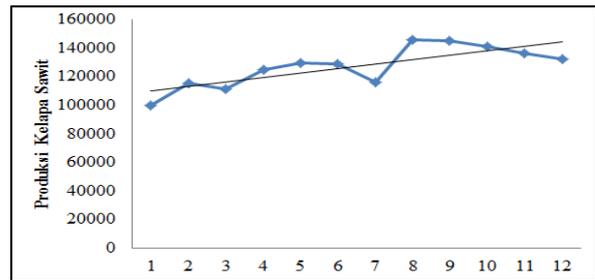
Gambar 6 Grafik *time series* data produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur

Gambar 6 menunjukkan bahwa data produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur berpola *trend* naik. Peneliti kemudian menyajikan pola lain dari data produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur dengan memisahkan data menjadi per tahun (Gambar 7-11), menunjukkan data produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur berpola musiman multiplikatif karena bentuk pola musiman yang relatif tidak stabil. Berikut grafik data produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur menjadi per tahun sebagai berikut:



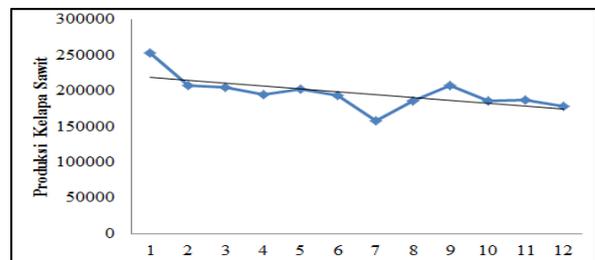
Gambar 7 Grafik produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur periode Januari hingga Desember tahun 2014

Gambar 7 Grafik produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur periode Januari hingga Desember tahun 2014 mengalami *trend* naik.



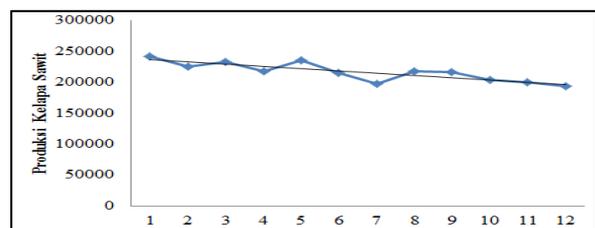
Gambar 8 Grafik produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur periode Januari hingga Desember tahun 2015

Gambar 8 Grafik produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur periode Januari hingga Desember tahun 2015 mengalami *trend* naik.



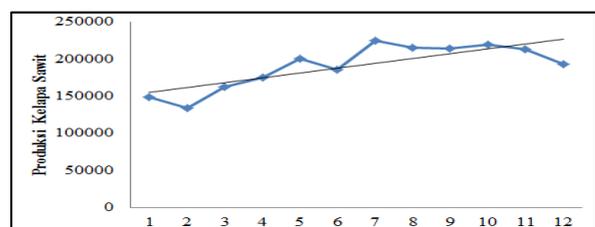
Gambar 9 Grafik produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur periode Januari hingga Desember tahun 2016

Gambar 9 Grafik data produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur periode Januari hingga Desember tahun 2016 mengalami *trend* turun.



Gambar 10 Grafik produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur periode Januari hingga Desember tahun 2017

Gambar 10 Grafik data produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur periode Januari hingga Desember tahun 2017 mengalami *trend* turun.



Gambar 11 Grafik produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur periode Januari hingga Desember tahun 2018

Gambar 11 Grafik produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur periode Januari hingga Desember tahun 2018 mengalami *trend* naik.

Pegel's Exponential Smoothing

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bahwa jumlah produksi kelapa sawit periode Januari 2014 hingga Desember 2018 bersifat musiman multiplikatif karena pola musiman relatif tidak stabil atau berubah-ubah. Berdasarkan Gambar 7 diketahui bahwa panjang musiman data produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur adalah 12 bulan. Hal ini menunjukkan bahwa metode yang dapat digunakan untuk meramalkan data jumlah produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur periode Januari 2014 hingga Desember 2018 adalah model tanpa *trend* musiman multiplikatif, model *trend* aditif musiman multiplikatif dan model *trend* multiplikatif musiman multiplikatif.

Pegel's Exponential Smoothing Model Tanpa Trend Musiman Multiplikatif

Pegel's exponential smoothing model tanpa *trend* musiman multiplikatif membutuhkan nilai parameter *smoothing* untuk memuluskan nilai *smoothing* awal dan faktor musiman. Nilai α dan β dicoba mulai dari 0,1; 0,2; 0,3; hingga 0,9. Berdasarkan *trial and error* yang telah dilakukan, diperoleh nilai parameter *smoothing* yang paling optimum adalah $\alpha = 0,6$ dan $\beta = 0,1$ dengan nilai MAPE sebesar 7,84%.

Berikut contoh perhitungan manual MAPE metode *Pegel's exponential smoothing* model tanpa *trend* musiman multiplikatif dengan parameter *smoothing* $\alpha = 0,6$ dan $\beta = 0,1$ yaitu:

$$MAPE = \frac{1}{60} \sum_{t=1}^{60} \left| \frac{Z_t - F_t}{Z_t} \right| \times 100\%$$

$$MAPE = 7,84\%$$

Berikut merupakan langkah-langkah perhitungan nilai inisialisasi *smoothing* awal dan faktor musiman.

1. Menghitung inisialisasi *smoothing* awal

$$S_{12} = \frac{1}{2} (Z_1 + Z_2 + \dots + Z_{12}) = 117.278,08$$

2. Menghitung inisialisasi faktor musiman untuk $t=1$

$$I_1 = \frac{Z_1}{S_{12}} = 0,78$$

untuk $t=2$

$$I_2 = \frac{Z_2}{S_{12}} = 0,91$$

dan seterusnya dengan cara yang sama sampai perhitungan $t=12$

$$I_{12} = \frac{Z_{12}}{S_{12}} = 1,04$$

Tabel 4 Inisialisasi Peramalan Produksi Kelapa Sawit Provinsi Kalimantan Timur

t	Z_t	S_t	I_t
1	91.945		0,78
2	106.463		0,91
3	102.439		0,87
4	115.377		0,98
5	119.823		1,02
6	118.728		1,01
7	107.275		0,91
8	134.155		1,14
9	133.787		1,14
10	130.025		1,11
11	125.496		1,07
12	121.824	117.278,08	1,04

Nilai inisialisasi I_1 sampai dengan I_{12} digunakan untuk memperoleh nilai *smoothing* I_{13} sampai dengan I_{24} .

Tahap Smoothing

Berikut ini langkah-langkah perhitungan *smoothing* nilai awal dan faktor musiman menggunakan metode *Pegel's exponential smoothing* model tanpa *trend* musiman multiplikatif: untuk $t=13$

$$S_{13} = \alpha \left(\frac{Z_{13}}{I_{13-12}} \right) + (1 - \alpha) S_{13-1} = 123.318,60$$

$$I_{13} = \beta \left(\frac{Z_{13}}{S_{13}} \right) + (1 - \beta) I_{13-12} = 0,79$$

Untuk $t=14$

$$S_{14} = \alpha \left(\frac{Z_{14}}{I_{14-12}} \right) + (1 - \alpha) S_{14-1} = 125.534,71$$

$$I_{14} = \beta \left(\frac{Z_{14}}{S_{14}} \right) + (1 - \beta) I_{14-12} = 0,91$$

sampai seterusnya dengan cara yang sama sampai perhitungan untuk $t=60$

$$S_{60} = \alpha \left(\frac{Z_{60}}{I_{60-12}} \right) + (1 - \alpha) S_{60-1} = 190.653,84$$

$$I_{60} = \beta \left(\frac{Z_{60}}{S_{60}} \right) + (1 - \beta) I_{60-12} = 1,04$$

Hasil peramalan *Pegel's exponential smoothing* model tanpa *trend* musiman multiplikatif menggunakan Persamaan (1) dalam Tabel 2.1 sel A3 adalah sebagai berikut:

untuk $t=12$ dan $m=1$

$$F_{12+1} = S_{12} I_1 = 91.945$$

untuk $t = 13$ dan $m = 1$
 $F_{13+1} = S_{13}I_2 = 111.947,27$
 dan seterusnya dengan cara yang sama sampai
 perhitungan untuk $t = 59$ dan $m = 1$

$$F_{59+1} = S_{59}I_{48} = 206.044,33$$

Tahap Peramalan

Nilai hasil *smoothing* S_{60} dan I_{60} merupakan *smoothing* periode terakhir dalam perhitungan menggunakan metode *Pegel's exponential smoothing* model tanpa *trend* musiman multiplikatif. Selanjutnya dilakukan peramalan periode Januari, Februari, Maret tahun 2019 yakni $t = 60$ dengan periode $m = 1$; $m = 2$; dan $m = 3$.
 untuk $t = 60$ dan $m = 1$

$$F_{60+1} = S_{60}I_{49} = 157.647,66$$

untuk $t = 60$ dan $m = 2$

$$F_{60+2} = S_{60}I_{50} = 171.345,64$$

untuk $t = 60$ dan $m = 3$

$$F_{60+3} = S_{60}I_{51} = 167.986,31$$

Tabel 5 Peramalan Produksi Kelapa Sawit Provinsi Kalimantan Timur Menggunakan Metode *Pegel's Exponential Smoothing Model* Tanpa *Trend* Musiman Multiplikatif

t	Z_t	I_t	S_t	F_{t+m}
13	99.839	0,79	123.320	91.945
14	115.327	0,91	125.550	111.947,27
15	111.012	0,87	126.480	109.667,17
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
60	192.527	1,04	190.660	206.044,33
61				157.647,65
62				171.345,64
63				167.986,31

Berdasarkan Tabel 5, dapat diketahui bahwa hasil peramalan jumlah produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur pada $t = 60$ dengan periode $m = 1$, $m = 2$ dan $m = 3$ atau periode Januari, Februari, Maret tahun 2019 secara berturut-turut yaitu 157.647,65; 171.345,64; dan 167.986,31 dalam satuan ton.

***Pegel's Exponential Smoothing Model Trend* Aditif Musiman Multiplikatif**

Pegel's exponential smoothing model trend aditif musiman multiplikatif membutuhkan nilai parameter *smoothing* untuk memuluskan nilai *smoothing* awal, faktor *trend* dan faktor musiman. Nilai α , β dan γ dicoba mulai dari 0,1; 0,2;

0,3; hingga 0,9. Berdasarkan *trial and error* yang telah dilakukan, diperoleh nilai parameter *smoothing* yang paling optimum adalah $\alpha = 0,8$; $\beta = 0,9$; dan $\gamma = 0,1$ dengan nilai MAPE sebesar 8,87% (Lampiran 7).

Tahap Inisialisasi

Tahap inisialisasi pada *Pegel's exponential smoothing model trend* aditif musiman multiplikatif untuk *smoothing* awal dan faktor musiman sama dengan *Pegel's exponential smoothing model tanpa trend* musiman multiplikatif tetapi memiliki perbedaan pada tahap inisialisasi faktor *trend*. Nilai inisialisasi *smoothing* awal dan faktor musiman dapat dilihat pada Tabel 4.4. Berikut merupakan langkah-langkah perhitungan nilai inisialisasi faktor *trend* menggunakan Persamaan (5):

$$B_{12} = \frac{1}{12} \left(\frac{Z_{12+1} - Z_1}{12} + \dots + \frac{Z_{12+12} - Z_{12}}{12} \right)$$

$$= 825,62$$

Tahap Smoothing

Berikut ini langkah-langkah perhitungan *smoothing* nilai awal, faktor *trend* dan faktor musiman menggunakan metode *Pegel's exponential smoothing model trend* aditif musiman multiplikatif:

untuk $t = 12$ dan $m = 1$

$$S_{13} = \alpha \left(\frac{Z_{13}}{I_1} \right) + (1 - \alpha)(S_{12} + B_{12}) = 125.500$$

$$I_{13} = \beta \left(\frac{Z_{13}}{S_{13}} \right) + (1 - \beta)I_1 = 0,79$$

$$B_{13} = \gamma(S_{13} - S_{12}) + (1 - \gamma)B_{12} = 1.565,10$$

untuk $t = 14$

$$S_{14} = \alpha \left(\frac{Z_{14}}{I_2} \right) + (1 - \alpha)(S_{13} + B_{13}) = 127.050$$

$$I_{14} = \beta \left(\frac{Z_{14}}{S_{14}} \right) + (1 - \beta)I_2 = 0,91$$

$$B_{14} = \gamma(S_{14} - S_{13}) + (1 - \gamma)B_{13} = 1.563,40$$

dan seterusnya dengan cara yang sama sampai perhitungan untuk $t = 60$

$$S_{60} = \alpha \left(\frac{Z_{60}}{I_{48}} \right) + (1 - \alpha)(S_{59} + B_{59}) = 188.170$$

$$I_{60} = \beta \left(\frac{Z_{60}}{S_{60}} \right) + (1 - \beta)I_{48} = 1,02$$

$$B_{60} = \gamma(S_{60} - S_{59}) + (1 - \gamma)B_{59} = -907,86$$

Hasil peramalan *Pegel's exponential smoothing* model *trend* aditif musiman multiplikatif dalam Tabel 1 sel A3 sebagai berikut:

untuk $t=12$ dan $m=1$
 $F_{13} = (S_{12} + (1)B_{12})I_1 = 92.592$

untuk $t=13$ dan $m=1$
 $F_{14} = (S_{13} + (1)B_{13})I_2 = 115.350$
 dan seterusnya dengan cara yang sama sampai perhitungan untuk $t=59$ dan $m=1$
 $F_{60} = (S_{59} + (1)B_{59})I_{48} = 206.420$

Tahap Peramalan

Nilai hasil *smoothing* S_{60} , B_{60} dan I_{60} merupakan *smoothing* periode terakhir dalam perhitungan menggunakan metode *Pegel's exponential smoothing* model *trend* aditif musiman multiplikatif. Selanjutnya dilakukan peramalan periode Januari, Februari, Maret tahun 2019 yakni $t=61$, $t=62$ dan $t=63$. Berikut langkah-langkah perhitungannya:

untuk $t=60$ dan $m=1$

$$F_{61} = (S_{60} + (1)B_{60})I_{49} = 172.990$$

untuk $t=60$ dan $m=2$

$$F_{62} = (S_{60} + (2)B_{60})I_{50} = 160.310$$

untuk $t=60$ dan $m=3$

$$F_{63} = (S_{60} + (3)B_{60})I_{51} = 165.520$$

Tabel 6 Peramalan Produksi Kelapa Sawit Provinsi Kalimantan Timur Menggunakan Metode *Pegel's Exponential Smoothing* Model *Trend* Aditif Musiman Multiplikatif

Z_t	I_t	S_t	b_t	F_{t+m}
1	0,7	125.50	1565,1	
3	99.839	9	0	92.592
1	115.32	0,9	127.05	1563,4
4	7	1	0	0
1	111.01	0,8	127.40	1442,0
5	2	7	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
6	192.52	1,0	188.17	-
0	7	2	0	907,86
6				172.99
1				0
6				160.31
2				0
6				165.52
3				0

Berdasarkan Tabel 6, diketahui bahwa hasil peramalan jumlah produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur pada $t=60$ dengan periode $m=1$, $m=2$ dan $m=3$ atau periode Januari,

Februari, Maret tahun 2019 secara berturut-turut yaitu 172.990, 160.310 dan 165.520 dalam satuan ton.

***Pegel's Exponential Smoothing* Model *Trend* Multiplikatif Musiman Multiplikatif**

Pegel's exponential smoothing model *trend* multiplikatif musiman multiplikatif membutuhkan nilai parameter *smoothing* untuk memuluskan nilai *smoothing* awal, faktor *trend* dan faktor musiman. Nilai α , β , dan γ dicoba mulai dari 0,1;0,2;0,3; hingga 0,9. Berdasarkan *trial and error* yang telah dilakukan, diperoleh nilai parameter *smoothing* yang paling optimum adalah $\alpha = 0,8$; $\beta = 0,9$; $\gamma = 0,1$ dengan nilai MAPE sebesar 11,96% (Lampiran 10).

Tahap Inisialisasi

Nilai inisialisasi *smoothing* awal dan faktor musiman dapat dilihat pada Tabel 4.9. Berikut merupakan langkah-langkah perhitungan nilai inisialisasi faktor *trend* menggunakan Persamaan (6):

$$B_{12} = \frac{1}{12} \left(\frac{99.839}{91.945} + \dots + \frac{132.233}{121.824} \right) = 1,08$$

Tahap Smoothing

Berikut ini langkah-langkah perhitungan *smoothing* nilai awal, faktor *trend* dan faktor musiman menggunakan metode *Pegel's exponential smoothing* model *trend* multiplikatif musiman multiplikatif:

untuk $t=13$

$$S_{13} = \alpha \left(\frac{Z_{13}}{I_1} \right) + (1 - \alpha)(S_{12} \times B_{12}) = 127.310$$

$$I_{13} = \beta \left(\frac{Z_{13}}{S_{13}} \right) + (1 - \beta)I_1 = 0,78$$

$$B_{13} = \gamma \left(\frac{S_{13}}{S_{12}} \right) + (1 - \gamma)B_{12} = 1,08$$

untuk $t=14$

$$S_{14} = \alpha \left(\frac{Z_{14}}{I_2} \right) + (1 - \alpha)(S_{13} \times B_{13}) = 129.250$$

$$I_{14} = \beta \left(\frac{Z_{14}}{S_{14}} \right) + (1 - \beta)I_2 = 0,89$$

$$B_{14} = \gamma \left(\frac{S_{14}}{S_{13}} \right) + (1 - \gamma)B_{13} = 1,08$$

sampai seterusnya dengan cara yang sama sampai perhitungan untuk $t=60$

$$S_{60} = \alpha \left(\frac{Z_{60}}{I_{48}} \right) + (1 - \alpha)(S_{59} \times B_{59}) = 191.510$$

$$I_{60} = \beta \left(\frac{Z_{60}}{S_{60}} \right) + (1 - \beta)I_{48} = 1,01$$

$$B_{60} = \gamma \left(\frac{S_{60}}{S_{59}} \right) + (1 - \gamma)B_{59} = 1,00$$

Hasil peramalan *Pegel's exponential smoothing* model *trend* multiplikatif musiman multiplikatif menggunakan Persamaan (1) dalam Tabel 2.3 sel A3 adalah sebagai berikut:
untuk $t=12$ dan $m=1$

$$F_{13} = S_{12}I_1B_{12}^1 = 99.711$$

untuk $t =13$ dan $m=1$

$$F_{14} = S_{13}I_2B_{13}^1 = 125.350$$

·
·
·

untuk $t =59$ dan $m=1$

$$F_{60} = S_{59}I_{48}B_{59}^1 = 208.820$$

Tahap Peramalan

Nilai hasil *smoothing* S_{60} , B_{60} dan I_{60} merupakan *smoothing* periode terakhir dalam perhitungan sehingga S_{60} , B_{60} dan I_{60} yang digunakan untuk perhitungan peramalan periode m ke depan. Selanjutnya dilakukan peramalan periode Januari, Februari, Maret tahun 2019 yakni $t =60$ dengan periode $m=1$, $m=2$, dan $m=3$. Berikut langkah-langkah perhitungannya.
untuk $t =60$ dan $m=1$

$$F_{61} = S_{60}I_{49}B_{60}^1=173.900$$

untuk $t =60$ dan $m=2$

$$F_{62} = S_{60}I_{50}B_{60}^2=159.430$$

untuk $t =63$

$$F_{63} = S_{60}I_{51}B_{60}^3=164.770$$

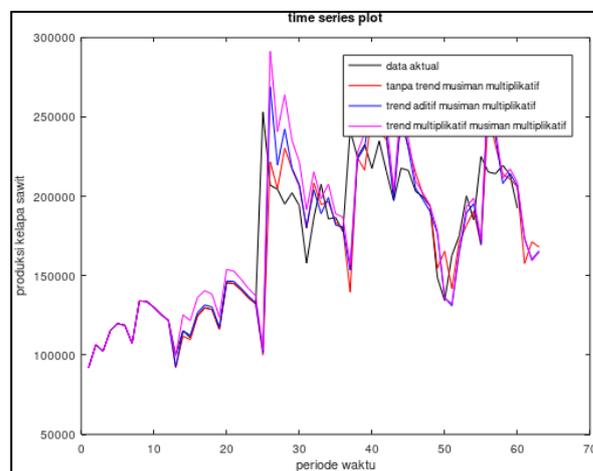
Tabel 7 Peramalan Produksi Kelapa Sawit Provinsi Kalimantan Timur Menggunakan Metode *Pegel's Exponential Smoothing Model Trend* Multiplikatif Musiman Multiplikatif

t	Z_t	I_t	S_t	B_t	F_{t+m}
13	99.839	0,78	127.310	1,08	99.711
14	115.327	0,89	129.250	1,08	125.350
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
60	192.527	1,01	191.510	1,00	208.820
61					173.900
62					159.430
63					164.770

Berdasarkan Tabel 7, diketahui bahwa hasil peramalan jumlah produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur pada periode 61,62 dan 63 atau periode Januari, Februari, Maret tahun 2019 secara berturut-turut yaitu 173.900, 159.430 dan 164.770 dalam satuan ton.

Grafik Peramalan

Hasil peramalan menggunakan metode *Pegel's exponential smoothing* model tanpa *trend* musiman multiplikatif, *Pegel's exponential smoothing* model *trend* aditif musiman multiplikatif, dan *Pegel's exponential smoothing* model *trend* multiplikatif musiman multiplikatif kemudian dibentuk dalam bentuk grafik untuk melihat pola data yang telah dihasilkan.



Gambar 8 Grafik hasil peramalan dan data aktual

Gambar 8 menunjukkan bahwa grafik hasil peramalan menggunakan metode *Pegel's exponential smoothing* model tanpa *trend* musiman multiplikatif, *Pegel's exponential smoothing* model *trend* aditif musiman multiplikatif, dan *Pegel's exponential smoothing* model *trend* multiplikatif musiman multiplikatif secara visual mendekati grafik data aktual, hal ini juga didukung oleh nilai MAPE yang rendah oleh ketiga metode tersebut. Metode *Pegel's exponential smoothing* model tanpa *trend* musiman multiplikatif dengan parameter *smoothing* $\alpha =0,6$ dan $\beta=0,1$ menghasilkan nilai MAPE sebesar 7,84% menyatakan hasil peramalan sangat baik. Metode *Pegel's exponential smoothing* model *trend* aditif musiman multiplikatif dengan parameter *smoothing* $\alpha =0,8$; $\beta=0,9$; $\gamma=0,1$ menghasilkan nilai MAPE sebesar 8,87% menyatakan hasil peramalan sangat baik. Metode *Pegel's exponential smoothing* model *trend* multiplikatif musiman multiplikatif dengan parameter *smoothing* $\alpha = 0,8$; $\beta = 0,9$; dan $\gamma = 0,1$ menghasilkan nilai MAPE sebesar 11,96% menyatakan hasil peramalan sangat baik. Hasil

peramalan ketiga model tersebut kemudian diidentifikasi untuk mengetahui konsistensi teknik peramalan yang digunakan pada data produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur.

Kesimpulan

Metode yang paling cocok untuk meramalkan jumlah produksi kelapa sawit Provinsi Kalimantan Timur periode Januari, Februari, dan Maret Tahun 2019 jika dilihat dari nilai MAPE adalah *Pegel's exponential smoothing* model tanpa *trend* musiman multiplikatif menggunakan parameter *smoothing* $\alpha=0,6$ dan $\beta=0,1$ dengan nilai MAPE sebesar 7,84%. Hasil peramalan yang diperoleh periode Januari, Februari, dan Maret tahun 2019 secara berturut-turut sebesar 157.648, 171.346 dan 167.986 dalam satuan ton.

Daftar Pustaka

- Badan Pusat Statistik Indonesia. (2019). Statistik Kelapa Sawit. Jakarta: Badan Pusat Statistik Indonesia.
- Biegel, J.E. (1999). *Pengendalian Produksi Suatu Pendekatan Kuantitatif*. Jakarta: Akademika Presindo.
- Elvani, S. P., Utary, A.R., & Yudaruddin, R. (2016). Peramalan Jumlah Produksi Tanaman Kelapa Sawit Dengan Menggunakan Metode Arima (Autoregressive Integrated Moving Average). *Jurnal Management*, 8(1), 95-112.
- Heizer, J & Render, B. (2009). *Manajemen Operasi*. Jakarta: Selemba
- Lubis, R. E. & Widanarko, A. (2011). *Buku Pintar Kelapa Sawit*. Jakarta: PT Agro Media Pustaka.
- Makridakis, S. (1993). *Metode Dan Aplikasi Peramalan Jilid 1 (Edisi Pertama)*. (Terjemahan : Untung S, Andrianto). Jakarta : Erlangga.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & McGee, V.E. (1999). *Metode Dan Aplikasi Peramalan. (Jilid 1, Edisi Revisi)*. Jakarta: Binapura Aksara.
- Newbold, P. & Bos, T. (1990). *Introductory Business Forecasting*. United States of America: South-Western Publishing Co.
- Rahmadhani, M. N., Sulistianingsih, E., & Perdana, H. (2018). Peramalan Produksi Kelapa Sawit dengan Metode Winter's Exponential Smoothing dan *Pegel's Exponential Smoothing*. *Buletin Ilmiah*, 7(2), 111-118.
- Suriana, N. (2019). *Budi Daya Tanaman Kelapa Sawit*. Jakarta: Bhuana Ilmu Komputer (Kelompok Gramedia).