Journal of Industrial and Mechanical Engineering

Journal of Industrial and Mechanical Engineering Vol.3 issue 2 (2025) 77-93

Analisis *Bullwhip Effect* pada *Supply Chain* Produk Semen Kemasan Kantong Menggunakan Metode Peramalan (Studi Kasus: PT. XYZ)

Rachmat Fadhilah[1*], Amanda Sofiana[2]
[1,2]Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman,
Jl. Raya Mayjen Sungkono KM 5, Dusun 2, Blater, Kalimanah, Purbalingga, Jawa Tengah 53371, Indonesia
*E-mail: rachmat.fadhilah@mhs.unsoed.ac.id

Abstrak
Persaingan industri yang semakin ketat menuntut perusahaan untuk mengelola rantai pasok secara efisien, salah satunya yaitu dengan mengurangi *Bullwhip Effect* yang dapat menyebabkan ketidakseimbangan antara produksi dan permintaan. Penelitian ini dilakukan di PT. XYZ yang memproduksi semen kemasan kantong. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis nilai *Bullwhip Effect* serta menerapkan metode peramalan yang tepat untuk menurunkan nilai tersebut. Metode peramalan yang digunakan yaitu *Single Exponential Smoothing* (SES*), Double Exponential Smoothing* (DES), *Holt-Winters*, dan ARIMA. Hasil penelitian menunjukan bahwa penerapan metode peramalan *Double Exponential Smoothing* (DES) terbukti memiliki hasil paling akurat dibandingkan metode lainnya berdasarkan hasil evaluasi dengan indikator *error* MAD, MSE, dan MAPE. Setelah penerapan metode peramalan, terjadi penurunan nilai *Bullwhip Effect* secara signifikan pada seluruh *brand* semen kemasan kantong, terutama pada *brand* A dengan nilai *Bullwhip Effect* aktual sebesar 1,088 turun menjadi 1,005 atau berkurang sebesar 7,66%. Sehingga secara keseluruhan, penerapan metode peramalan *Double Exponential Smoothing* (DES) terbukti efektif dalam mengurangi nilai *Bullwhip Effect* serta menekan nilainya agar lebih mendekati atau sama dengan niai parameter.

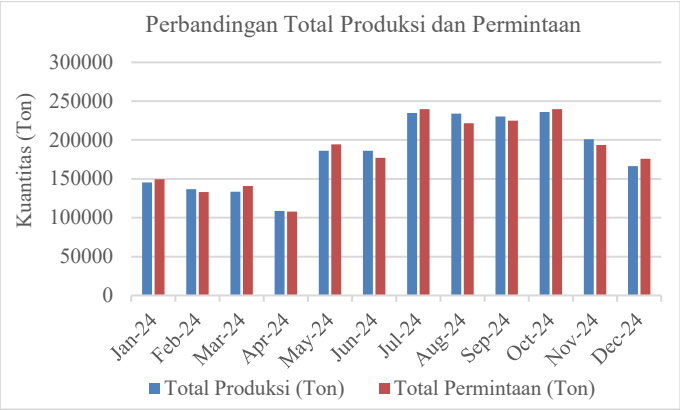
Kata kunci: *Bullwhip Effect, Double Exponential Smoothing*, Peramalan, *Supply Chain*.

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi industri di era globalisasi saat ini berlangsung dengan sangat pesat, sehingga berdampak pada meningkatnya persaingan antar perusahaan. Oleh karena itu, perusahaan perlu merancang strategi serta melakukan perencanaan dan perhitungan yang tepat sebelum memulai proses produksi dan pemasaran, agar mampu bersaing secara efektif di tengah ketatnya persaingan pasar. Salah satu tantangan utama yang sering dihadapi oleh perusahaan dalam mempertahankan efisiensi operasional adalah pengelolaan *Supply Chain Management* (SCM) yang belum optimal. SCM merupakan sistem pengelolaan rantai pasok yang mencakup proses dari pengadaan bahan baku hingga distribusi produk kepada pelanggan akhir [1]. Salah satu aspek dalam SCM yang harus dikelola dengan baik adalah manajemen persediaan, karena menjadi faktor krusial keberhasilan suatu perusahaan [2]. Namun dalam praktiknya, pengelolaan SCM yang kurang efektif seringkali menyebabkan berbagai permasalahan, salah satunya adalah distorsi informasi. Distorsi tersebut dapat menyebabkan ketidakseimbangan antara jumlah produksi dan permintaan, yang dikenal sebagai *Bullwhip Effect*. Fenomena ini menggambarkan fluktuasi permintaan yang tidak terprediksi dengan baik, sehingga mengakibatkan pemborosan sumber daya serta ketidakseimbangan persediaan produk [3].

PT. XYZ merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang industri semen. Secara keseluruhan perusahaan memiliki kapasitas produksi yang besar yaitu sebanyak 14,8 juta ton per tahun di keempat *plant* yang dimiliki perusahaan termasuk di PT. XYZ dengan menerapkan strategi *Make to Stock* (MTS) dalam proses produksinya. Saat ini dalam perencanaan produksi terutama untuk produk semen kemasan kantong PT. XYZ telah menentukan kuantitas produksi bulanan berdasarkan hasil peramalan permintaan, namun kondisi aktualnya belum mendapatkan hasil terbaik. Hal tersebut dapat dilihat bahwa perusahaan terkadang masih mengalami perbedaan yang signifikan antara jumlah produksi dan permintaan yang menyebabkan adanya penumpukan *inventory* pada periode tertentu, tetapi bisa juga mengalami kekurangan di periode lain seperti data yang ditunjukan pada Gambar 1, sehingga permasalahan tersebut berpengaruh terhadap proses *supply chain* di perusahaan. Kondisi yang dialami oleh PT. XYZ menunjukkan adanya *Bullwhip Effect*

dalam rantai pasoknya. *Bullwhip Effect* terjadi akibat adanya ketidakmampuan merespon permintaan konsumen dengan baik, kurangnya koordinasi, dan rendahnya kemampuan dalam memahami dinamika *supply chain* [4]. Ketidaksesuaian metode peramalan yang digunakan selama ini menjadi salah satu penyebab utama ketidakakuratan dalam estimasi permintaan, sehingga memicu fluktuasi produksi yang sulit dikendalikan.



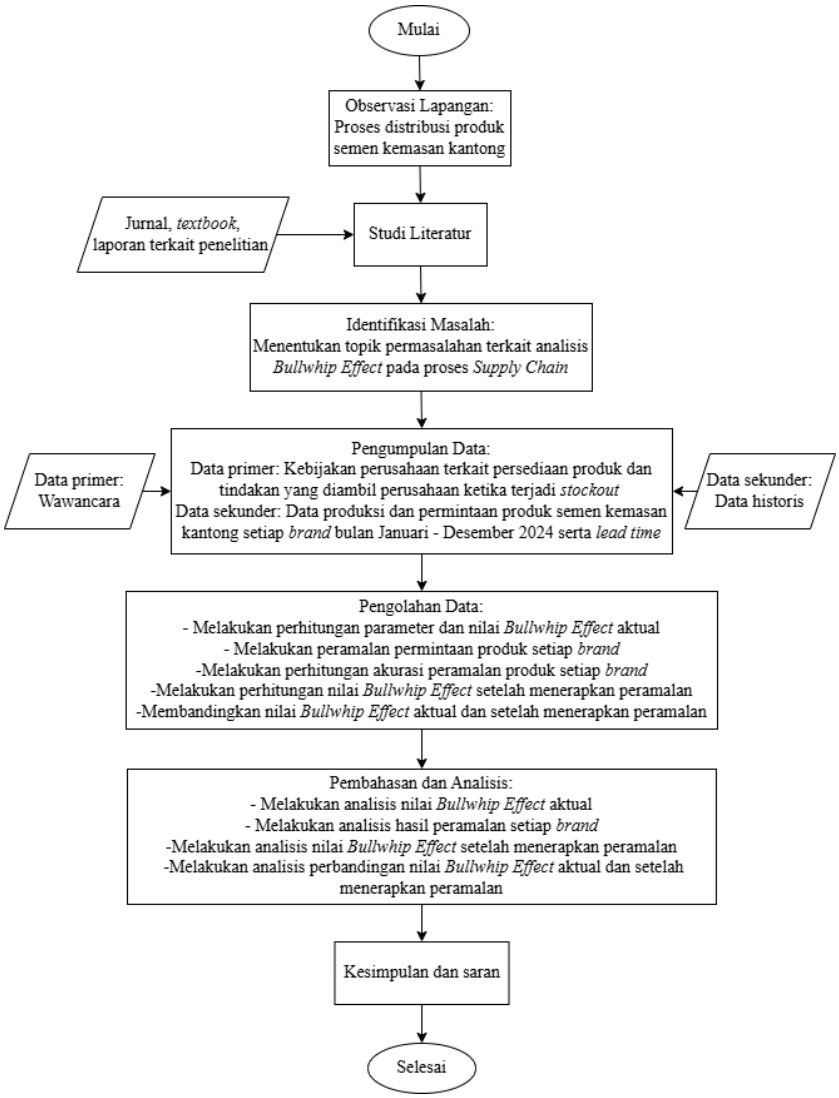
Gambar 1. Perbandingan Total Produksi dan Permintaan

Untuk mengurangi dampak *Bullwhip Effect* di PT. XYZ, salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah dengan menggunakan metode peramalan yang dapat mengakomodasi tren dan pola permintaan fluktuatif untuk memperkirakan permintaan produk, serta strategi berbagi informasi permintaan dan peramalan antar pelaku dalam *supply chain* [5]. Beberapa metode peramalan yang dapat digunakan meliputi *Single Exponential Smoothing* (SES), *Double Exponential Smoothing* (DES), *Holt-Winters Method*, dan *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA). Metode SES digunakan untuk pola data tanpa tren, DES digunakan untuk pola data dengan tren linier, *Holt-Winters* untuk data dengan tren dan musiman, sedangkan ARIMA mempertimbangkan autokorelasi dalam data historis untuk prediksi yang lebih akurat [6]. Beberapa penelitian terdahulu, telah menunjukkan bahwa penerapan metode *Double Exponential Smoothing* (DES) dapat mengurangi nilai *Bullwhip Effect* karena metode tersebut dapat mengakomodasi perubahan tren permintaan secara responsif [7]. Selain itu, penelitian yang menganalisis *Bullwhip Effect* dengan menerapkan metode peramalan *Single Exponential Smoothing* pada rantai pasok distributor di industri semen. Hasilnya menunjukkan bahwa metode peramalan yang tepat dapat menurunkan nilai *Bullwhip Effect* secara signifikan [8].

Namun hingga saat ini masih terbatas adanya penelitian yang membandingkan metode peramalan seperti SES, DES, *Holt-Winters*, dan ARIMA secara langsung dalam konteks pengurangan *Bullwhip Effect* pada industri semen. Sehingga berdasarkan latar belakang dan permasalahan yang terdapat pada perusahaan serta referensi dari penelitian terdahulu maka akan dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengevaluasi dan mengimplementasikan metode peramalan yang tepat untuk menekan nilai *Bullwhip Effect*, sehingga perusahaan dapat mengoptimalkan manajemen persediaannya. Dengan demikian, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap peningkatan efisiensi rantai pasok dan perbaikan strategi produksi PT. XYZ.

2. Metodologi

Penelitian ini dilakukan pada proses distribusi produk semen kemasan kantong di Departemen *Supply Chain* PT. XYZ, yaitu dengan menganalisis nilai *Bullwhip Effect* pada proses distribusi produk semen kemasan kantong, yang kemudian dilakukan pendekatan metode peramalan untuk mengurangi dan menekan nilai *Bullwhip Effect* yang ada. Berikut merupakan tahapan penelitian yang disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Tahapan Penelitian

2.1 *Bullwhip Effect*

Bullwhip Effect ditandai dengan terjadinya distorsi informasi, dimana perubahan kecil dalam permintaan di tingkat konsumen baik semakin banyak atau sedikit, dapat mengakibatkan fluktuasi yang semakin besar saat diteruskan ke pemasok dan produsen di hulu rantai pasok. Distorsi informasi terjadi ketika setiap entitas dalam rantai pasok membuat keputusan berdasarkan permintaan dari pelanggan, tanpa mempertimbangkan permintaan sebenarnya dari konsumen akhir [9]. Akibatnya, variasi kecil dalam permintaan di tingkat pengecer dapat diperbesar secara signifikan saat diteruskan ke pemasok dan produsen, menciptakan ketidakseimbangan antara penawaran dan permintaan.

2.1.1 Penyebab *Bullwhip Effect*

Terdapat beberapa faktor utama yang menyebabkan *Bullwhip Effect*. Pertama, *Demand Forecast Updating*, yaitu ketika setiap pihak dalam rantai pasok memperbarui prediksi permintaannya secara terpisah, yang dapat menyebabkan distorsi informasi dan peningkatan variabilitas. Kedua, *Order Batching*, di mana perusahaan mengelompokkan pesanan untuk memenuhi kuantitas minimal atau menghemat biaya pengiriman, sehingga menciptakan pola pemesanan yang tidak stabil. Ketiga, *Price Fluctuation* atau fluktuasi harga yang menyebabkan perilaku pembelian tidak mencerminkan konsumsi aktual karena konsumen cenderung membeli dalam jumlah besar saat harga turun. Keempat, *Rationing and Shortage Gaming* terjadi saat pasokan terbatas dan konsumen memesan melebihi kebutuhan untuk mengantisipasi

kekurangan. Kelima, *Long Lead Time* atau waktu tunggu yang lama dalam proses pemesanan dan pengiriman, yang memperbesar ketidaksesuaian antara prediksi permintaan dan kebutuhan aktual [10].

2.1.2 Akibat *Bullwhip Effect*

Bullwhip Effect dapat mengakibatkan dampak negatif dan inefisiensi pada proses *supply chain*, diantaranya yaitu ketidakseimbangan persediaan, penurunan efisiensi operasional, fluktuasi kebutuhan modal kerja, dan ketidakseimbangan di dalam organisasi perusahaan.

2.1.3 Cara Mengurangi *Bullwhip Effect*

Pendekatan atau strategi yang dapat digunakan untuk mengurangi *Bullwhip Effect*, yaitu sebagai berikut:

1. *Information Sharing*

Membangun sistem berbagi informasi (*information sharing*) antara setiap entitas dalam proses *supply chain* menjadi strategi yang penting untuk dilakukan. Dengan adanya transparansi informasi, setiap pihak, mulai dari pemasok bahan baku hingga distributor akhir, dapat mengakses data yang akurat secara *real time* mengenai permintaan pelanggan.

2. *Channel Alignment*

Kompleksitas dalam proses *supply chain* dapat memperparah *Bullwhip Effect* karena semakin banyak pihak atau perantara yang terlibat dalam proses distribusi. Oleh karena itu, salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah menyelaraskan saluran distribusi (*channel alignment*) dengan cara mengurangi jumlah perantara atau mengoptimalkan hubungan antar pihak.

3. *Operational Efficiency*

Salah satu penyebab utama *Bullwhip Effect* adalah panjangnya *lead time*. Ketika *lead time* terlalu lama, konsumen cenderung melakukan pemesanan dalam jumlah besar untuk menghindari kekurangan stok, yang pada akhirnya memperburuk fluktuasi permintaan di sepanjang rantai pasok. Oleh karena itu, memperpendek *lead time* menjadi salah satu strategi dalam mengurangi *Bullwhip Effect*. Selain itu metode peramalan juga berperan dalam peningkatan *operational efficiency*. Dengan melakukan prediksi permintaan yang lebih baik, perusahaan dapat menyesuaikan tingkat produksi agar tidak mengalami *overproduction* (kelebihan produksi) atau *underproduction* (kekurangan produksi).

2.1.4 Perhitungan Nilai dan Parameter *Bullwhip Effect*

Bullwhip Effect dapat diukur menggunakan perbandingan antara koefisien variansi produksi (CV Produksi) dengan koefisien variansi permintaan (CV Permintaan). Rumus perhitungannya dinyatakan pada persamaan 1 sampai 3.

$$BE = \frac{CV\ (produksi)}{CV\ (permintaan)} \tag{1}$$

$$CV\ (produksi) = \frac{SD\ (produksi)}{\mu\ (produksi)} \tag{2}$$

$$CV\ (permintaan) = \frac{SD\ (permintaan)}{\mu\ (permintaan)} \tag{3}$$

Keterangan:

BE = Nilai *Bullwhip Effect*

CV = Koefisien variansi

SD = Stander deviasi

μ = Rata-rata

Apabila nilai *Bullwhip Effect* (BE) > 1 menunjukkan bahwa variansi produksi lebih besar dibandingkan variansi permintaan konsumen [11]. Selain itu, untuk mengidentifikasi apakah nilai *Bullwhip Effect* (BE) dapat dikatakan baik

atau tidaknya dalam suatu sistem rantai pasok maka diperlukan parameter untuk mengetahuinya [12]. Model parameter mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Maharani & Momon tahun 2023 yang dinyatakan dalam persamaan 4.

$$Parameter\ BE = 1 + \frac{2L}{P} + \frac{2L^2}{P^2} \quad (4)$$

Keterangan:

$L =$ *Lead time*

$P =$ Periode pengamatan

2.2 Peramalan

Peramalan atau *forecasting* adalah suatu proses yang dilakukan untuk memprediksi kejadian yang akan terjadi di masa depan dengan memperhatikan serta menganalisis data-data yang telah tersedia dari periode sebelumnya [13]. Peramalan dapat membantu perusahaan dalam menyusun strategi yang tepat guna memenuhi permintaan pasar dan mengoptimalkan sumber daya yang dimiliki [14]. Selain menjadi bagian penting dalam pengambilan keputusan bisnis, kualitas suatu peramalan sangat dipengaruhi oleh metode yang digunakan serta keakuratan data historis yang dianalisis [15]. Jenis peramalan kuantitatif dengan metode *time series* dapat digunakan untuk mengidentifikasi pola dalam data untuk peramalan jangka pendek maupun panjang [16].

2.2.1 *Single Exponential Smoothing* (SES)

Single Exponential Smoothing merupakan metode peramalan yang digunakan untuk data tanpa tren dan musiman. Metode ini bekerja dengan memberikan pembobotan eksponensial pada data historis, di mana data terbaru memiliki bobot lebih besar dibandingkan data sebelumnya [17]. Model matematis metode ini dinyatakan pada persamaan 5.

$$F_{t+1} = \alpha Xt + (1 - \alpha)Ft \quad (5)$$

Keterangan:

$F_{t+1} =$ Peramalan untuk periode berikutnya

$X_t =$ Data aktual pada periode saat ini

$F_t =$ Peramalan pada periode sebelumnya

$\alpha =$ Konstanta pemulusan ($0 < \alpha < 1$)

2.2.2 *Double Exponential Smoothing* (DES)

Metode *Double Exponential Smoothing* merupakan metode peramalan yang dikembangkan untuk menangani data dengan tren linier [18]. Metode ini menggunakan dua parameter pemulusan, yaitu pemulusan level (α) dan pemulusan tren (β) [19]. Model matematis metode ini dinyatakan pada persamaan 6 sampai 8.

$$S_t = \alpha Xt + (1 - \alpha)(S_{t-1} + T_{t-1}) \quad (6)$$

$$T_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1 - \beta)T_{t-1} \quad (7)$$

$$F_{t+m} = S_t + mT_t \quad (8)$$

Keterangan:

$S_t =$ Nilai pemulusan level

$T_t =$ Komponen tren

$F_{t+m} =$ Peramalan untuk m periode ke depan

$\alpha =$ Konstanta pemulusan ($0 < \alpha < 1$)

$\beta =$ Pemulusan tren ($0 < \alpha < 1$)

2.2.3 *Holt-Winters Exponential Smoothing*

Metode *Holt-Winters Exponential Smoothing* memiliki tiga komponen utama yaitu pemulusan level (α), tren (β), dan musiman (γ) [20]. Modelnya terdiri dari dua variasi, yaitu multiplikatif dan aditif. Model matematis metode ini dinyatakan pada persamaan 9 sampai 12.

$$S_t = \alpha(X_t/I_{t-L}) + (1-\alpha)(S_{t-1} + T_{t-1}) \quad (9)$$

$$T_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1} \quad (10)$$

$$I_t = \gamma(X_t/S_t) + (1-\gamma)I_{t-L} \quad (11)$$

$$F_{t+m} = (S_t + mT_t)I_{t-L+m} \quad (12)$$

Keterangan:

S_t = Nilai pemulusan level

T_t = Komponen tren

F_{t+m} = Peramalan untuk m periode ke depan

I_t = Indeks musiman

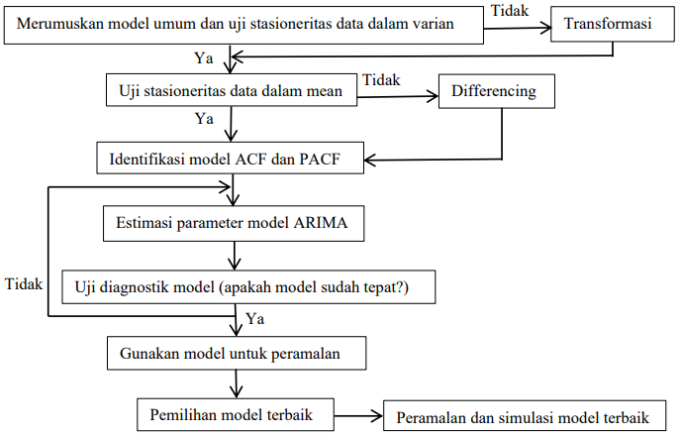
L = Panjang musiman

α = Konstanta pemulusan (0 < α< 1)

β = Pemulusan tren (0 < β < 1)

2.2.4 *Autoregressive Integrated Moving Average* (ARIMA)

Metode ARIMA sering digunakan untuk data dengan pola yang lebih kompleks karena mampu menangkap hubungan antar waktu dan memperhitungkan autokorelasi dalam data historis. ARIMA menggabungkan tiga komponen utama, yaitu *autoregressive* (AR), *differencing* (I), dan *moving average* (MA) [21]. Gambar 3 merupakan tahap-tahap dalam metode peramalan ARIMA [22]:



Gambar 3. Tahap-Tahap Metode Peramalan ARIMA

2.3 Akurasi Peramalan

2.3.1 *Mean Absolute Deviation* (MAD)

Mean *Absolute Deviation* (MAD) adalah ukuran rata-rata dari kesalahan absolut antara nilai aktual dan nilai peramalan. MAD digunakan untuk mengukur sejauh mana hasil peramalan menyimpang dari data aktual. Model matematis MAD dinyatakan pada persamaan 13.

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^{n} |A_t - F_t|}{n} \quad (13)$$

Keterangan:

A_t = Nilai aktual pada periode ke-t

F_t = Nilai peramalan pada periode ke-t

n = Jumlah periode

2.3.2 *Mean Squared Error* (MSE)

Mean Squared Error (MSE) mengukur rata-rata kuadrat dari kesalahan peramalan. MSE lebih sensitif terhadap kesalahan besar karena kesalahan yang lebih besar akan dikuadratkan, sehingga sangat berguna jika ingin menghindari kesalahan yang besar dalam peramalan. Model matematis MSE dinyatakan pada persamaan 14.

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^{n} |A_t - F_t|^2}{n} \quad (14)$$

Keterangan:

A_t = Nilai aktual pada periode ke-t

F_t = Nilai peramalan pada periode ke-t

n = Jumlah periode

2.3.3 *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE)

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) mengukur kesalahan peramalan dalam bentuk persentase terhadap nilai aktual. MAPE sangat berguna ketika membandingkan tingkat kesalahan dalam berbagai skala data atau antar produk yang berbeda. Model matematis MAPE dinyatakan pada persamaan 15.

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum_{t=1}^{n} \left| \frac{|A_t - F_t|}{A_t} \right| \quad (15)$$

Keterangan:

A_t = Nilai aktual pada periode ke-t

F_t = Nilai peramalan pada periode ke-t

n = Jumlah periode

3. Hasil dan pembahasan

Melalui tahap wawancara dan studi dokumen di dapatkan data yang digunakan untuk menunjang penelitian. Adapun data yang diperoleh adalah data penjualan dan permintaan produk semen kemasan kantong setiap *brand* periode Januari 2024 – Desember 2024, serta *lead time* distribusi produk seperti yang ditunjukan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Data Produksi Dan Permintaan Setiap *Brand* Periode Januari 2024-Desember 2024

Periode	*Brand* A		*Brand* B		*Brand* C		*Brand* D		Total Produksi (Ton)	Total Permintaan (Ton)
	Produksi (Ton)	Permintaan (Ton)	Produksi (Ton)	Permintaan (Ton)	Produksi (Ton)	Permintaan (Ton)	Produksi (Ton)	Permintaan (Ton)		
Jan-24	74094	76120	28649	29432	2064	2120	40703	41816	145510	149488
Feb-24	65932	65552	32886	32696	5818	5784	32268	29120	136904	133152
Mar-24	64467	72256	33604	33264	10870	10760	24633	24384	133574	140664
Apr-24	50809	49304	21837	22024	17681	17832	18419	18576	108746	107736
May-24	81411	88448	39964	40552	47044	47736	17621	17880	186040	194616
Jun-24	88317	77888	33168	33240	53452	53568	11226	12312	186163	177008
Jul-24	98599	97848	46042	46810	72659	73872	17497	21144	234797	239674
Aug-24	98440	94656	46009	44240	73123	65880	16353	16832	233925	221608
Sep-24	108516	103992	45386	45376	63722	63408	12511	12208	230135	224984
Oct-24	104137	105720	48700	49440	72522	73624	10639	10800	235998	239584
Nov-24	89450	83750	44470	43754	60020	59054	7221	7105	201161	193663
Dec-24	68346	74704	46710	46248	48063	51632	3305	3272	166424	175856
Total	992518	990238	467425	467076	527038	525270	212396	215449	2199377	2198033

Tabel 2. *Lead Time* Distribusi Produk Semen Kemasan Kantong

Jenis Produk	*Lead Time* Distribusi (Hari)
Semen Kemasan Kantong *All Brand*	2

3.1. Perhitungan Parameter dan Nilai *Bullwhip Effect* Aktual

Setelah mendapatkan data historis produksi dan permintaan semen kemasan kantong serta informasi mengenai *lead time* distribusi, kemudian dilakukan perhitungan parameter *Bullwhip Effect*, yaitu sebagai berikut:

Lead time = 2 hari

Periode pengamatan = 12 bulan = 360 hari

$$Parameter\ BE = 1 + \frac{2 \times L}{P} + \frac{2 \times L^2}{P^2} = 1 + \frac{2 \times 2}{360} + \frac{2 \times 2^2}{360^2} = 1{,}01$$

Kemudian setelah didapatkan parameter maka dilakukan perhitungan nilai *Bullwhip Effect* aktual produk semen kemasan kantong setiap *brand* untuk mengidentifikasi tingkat distorsi informasi yang terjadi. Perhitungan ini didasarkan pada analisis variansi produksi dan permintaan selama periode bulan Januari 2024 - Desember 2024. Berikut merupakan hasil perhitungan nilai *Bullwhip Effect* aktual yang ditunjukan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Nilai *Bullwhip Effect* Aktual

Periode	*Brand* A		*Brand B*		*Brand* C		*Brand* D	
	Produksi (Ton)	Permintaan (Ton)	Produksi (Ton)	Permintaan (Ton)	Produksi (Ton)	Permintaan (Ton)	Produksi (Ton)	Permintaan (Ton)
Jan-24	74094	76120	28649	29432	2064	2120	40703	41816
Feb-24	65932	65552	32886	32696	5818	5784	32268	29120
Mar-24	64467	72256	33604	33264	10870	10760	24633	24384
Apr-24	50809	49304	21837	22024	17681	17832	18419	18576
May-24	81411	88448	39964	40552	47044	47736	17621	17880
Jun-24	88317	77888	33168	33240	53452	53568	11226	12312
Jul-24	98599	97848	46042	46810	72659	73872	17497	21144
Aug-24	98440	94656	46009	44240	73123	65880	16353	16832
Sep-24	108516	103992	45386	45376	63722	63408	12511	12208
Oct-24	104137	105720	48700	49440	72522	73624	10639	10800
Nov-24	89450	83750	44470	43754	60020	59054	7221	7105
Dec-24	68346	74704	46710	46248	48063	51632	3305	3272
Total	992518	990238	467425	467076	527038	525270	212396	215449
Rata-Rata	82710	82520	38952	38923	43920	43773	17700	17954
Standar Deviasi	17359,087	15911,861	8296,964	8170,680	26220,867	25850,751	10114,064	9985,579
Koefisien Variansi	0,2099	0,1928	0,2130	0,2099	0,5970	0,5906	0,5714	0,5562
Bullwhip Effect	**1,088**		**1,015**		**1,011**		**1,027**	

Berdasarkan hasil perhitungan, dapat diketahui bahwa nilai *Bullwhip Effect* aktual pada seluruh *brand* melebihi nilai parameter yang ada yaitu sebesar 1,01. Berikut merupakan contoh perhitungan nilai *Bullwhip Effect* pada *brand* A:

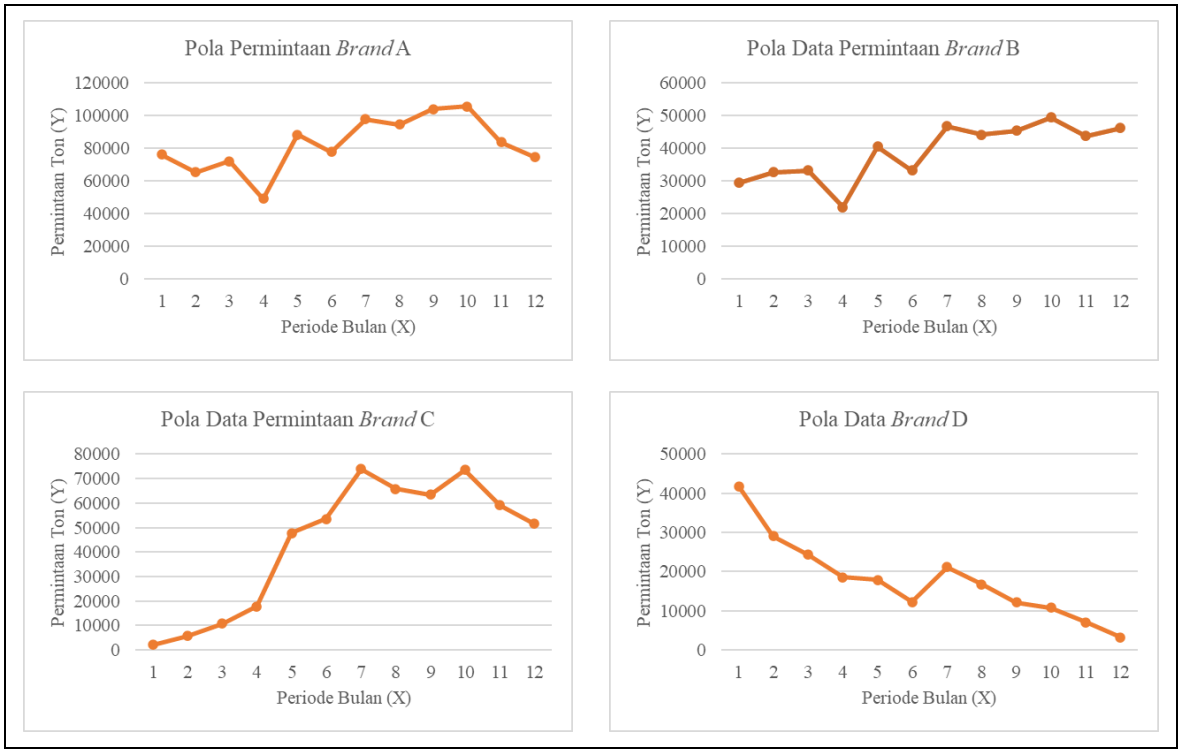
$$CV\ (produksi) = \frac{17359{,}087}{82710} = 0{,}2099$$

$$CV\ (permintaan) = \frac{15911{,}861}{82520} = 0{,}1928$$

$$BE = \frac{CV\ (produksi)}{CV\ (permintaan)} = \frac{0{,}2099}{0{,}1928} = 1{,}088$$

3.2. Peramalan Permintaan Produk Semen Kemasan Kantong

Sebelum melakukan peramalan permintaan, langkah awal yang harus dilakukan adalah mengidentifikasi pola data historis permintaan. Identifikasi ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik data yang dapat mempengaruhi metode peramalan yang akan digunakan. Berikut merupakan pola data permintaan setiap *brand* semen kemasan kantong yang disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Pola Permintaan Setiap *Brand*

Berdasarkan pola data permintaan tersebut, dapat diketahui bahwa pola data permintaan sangat bervariasi sehingga diperlukan metode yang dapat mengakomodasi semua jenis pola data permintaan. Metode peramalan yang digunakan meliputi *Single Exponential Smoothing* (SES) untuk data yang stabil, *Double Exponential Smoothing* (DES) untuk data dengan tren naik atau turun, *Holt-Winters Method* untuk pola tren dengan kecenderungan musiman, dan ARIMA untuk pola yang memiliki autokorelasi atau fluktuasi besar. Proses peramalan dilakukan dengan percobaan *Trial and Error* menggunakan parameter dan model yang berbeda dari setiap metode dengan rentang interval parameter yang telah disesuaikan. Selain itu pada metode peramalan ARIMA dilakukan dengan penggunaan *software* Minitab.

3.2.1 Peramalan Permintaan *Brand* A

Hasil *Trial and Error* menunjukkan bahwa metode *Double Exponential Smoothing* (DES) dengan parameter $\alpha = 0{,}98$ dan $\beta = 0{,}01$ memberikan hasil terbaik karena memiliki nilai *error* terkecil dibandingkan metode lainnya. Berikut merupakan penentuan metode peramalan terbaik, dan hasil peramalan dengan metode terpilih yaitu *Double Exponential Smoothing* (DES) pada *brand* A yang ditunjukan pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Tabel 4. Penentuan Metode Peramalan Terbaik *Brand* A

***Brand* A**			
Metode	**MAD**	**MSE**	**MAPE**
Single Exponential Smoothing	12952,56	258246218,11	16,86%
Double Exponential Smoothing	**256,47**	**93540,75**	**0,31%**
Holt-Winters Method	20252,11	812346677,19	22,42%
ARIMA	11728,33	208740103,85	15,13%
Min	**256,47**	**93540,75**	**0,31%**

Tabel 5. Hasil Peramalan Metode DES *Brand* A

Periode	Permintaan (Ton)	S(t)	T(t)	F(t)	|Error|	Error^2	|Pct Error|
Jan-24	76120	76120	0	-	-	-	-
Feb-24	65552	65763,36	-103,57	65660	108	11664	0,0016
Mar-24	72256	72124,08	-38,92	72086	170	28900	0,0024
Apr-24	49304	49759,62	-262,18	49498	194	37636	0,0039
May-24	88448	87668,99	119,54	87789	659	434281	0,0075
Jun-24	77888	78086,01	22,51	78109	221	48841	0,0028
Jul-24	97848	97453,41	215,96	97670	178,20	31755,24	0,0018
Aug-24	94656	94716,27	186,43	94903	247	61009	0,0026
Sep-24	103992	103810,21	275,50	104086	94	8836	0,0009
Oct-24	105720	105687,31	291,52	105979	259	67081	0,0024
Nov-24	83750	84194,58	73,68	84269	519	269361	0,0062
Dec-24	74704	74895,29	-20,05	74876	172	29584	0,0023
Jan-25				74876			
Feb-25				74856			
Mar-25				74836			
Apr-25				74816			
May-25				74796			
Jun-25				74775			
Jul-25				74755			
Aug-25				74735			
Sep-25				74715			
Oct-25				74695			
Nov-25				74675			
Dec-25				74655			

Berikut merupakan contoh perhitungan manual peramalan *brand* A periode Oktober 2024, dan perhitungan nilai *error* peramalannya:

$$S_t = \alpha Xt + (1-\alpha)(S_{t-1} + T_{t-1}) \quad (16)$$

$S_t = (0{,}98)(105720) + (1 - 0{,}98)(103810{,}21 + 275{,}50)$

$S_t = 105687{,}31$

$T_t = \beta(S_t - S_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1}$

$T_t = (0{,}01)(105687{,}31 - 103810{,}21) + (1 - 0{,}01)(275{,}50)$

$T_t = 291{,}52$

$$F_{t+m} = S_t + mT_t \quad (17)$$

$F_{t+m} = 105687{,}31 + (1)(291{,}52) = 105979$ Ton

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^{n}|A_t - F_t|}{n} = \frac{2821{,}20}{11} = 256{,}47$$

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^{n}|A_t - F_t|^2}{n} = \frac{1028948{,}24}{11} = 93540{,}75$$

$$MAPE = \frac{100\%}{n}\sum_{t=1}^{n}\left|\frac{|A_t - F_t|}{A_t}\right| = 100\% \ \frac{0{,}0345}{11} = 0{,}31\%$$

3.2.2 Peramalan Permintaan *Brand* B

Hasil *Trial and Error* menunjukkan bahwa metode *Double Exponential Smoothing* (DES) dengan parameter α = 0,98 dan β = 0,01 memberikan hasil terbaik karena memiliki nilai *error* terkecil dibandingkan metode lainnya. Berikut merupakan penentuan metode peramalan terbaik, dan hasil peramalan dengan metode terpilih yaitu *Double Exponential Smoothing* (DES) pada *brand* B yang ditunjukan pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Penentuan Metode Peramalan Terbaik *Brand B*

***Brand* B**			
Metode	**MAD**	**MSE**	**MAPE**
Single Exponential Smoothing	5356,02	50015566,98	14,76%
Double Exponential Smoothing	**142,02**	**25547,81**	**0,37%**
Holt-Winters Method	9008,72	149534108,35	19,47%
ARIMA	5122,95	38853453,46	14,48%
Min	**142,02**	**25547,81**	**0,37%**

Tabel 7. Hasil peramalan metode DES *brand B brand B*

Periode	Permintaan (Ton)	S(t)	T(t)	F(t)	|Error|	Error^2	|Pct Error|
Jan-24	29432	29432	0	-	-	-	-
Feb-24	32696	32630,96	31,99	32663	33,24	1104,90	0,0010
Mar-24	33264	33251,98	37,88	33290	26	676	0,0008
Apr-24	22024	22249,32	-72,53	22177	153	23409	0,0069
May-24	40552	40184,50	107,55	40293	259	67081	0,0064
Jun-24	33240	33381,04	38,44	33420	180	32400	0,0054
Jul-24	46810	46542,19	169,67	46712	98	9604	0,0021
Aug-24	44240	44289,44	145,44	44435	195	38025	0,0044
Sep-24	45376	45357,18	154,67	45512	136	18496	0,0030
Oct-24	49440	49361,44	193,16	49555	115	13225	0,0023
Nov-24	43754	43870,01	136,32	44007	253	64009	0,0058
Dec-24	46248	46203,17	158,29	46362	114	12996	0,0025
Jan-25				46362			
Feb-25				46520			
Mar-25				46679			
Apr-25				46837			
May-25				46995			
Jun-25				47153			
Jul-25				47312			
Aug-25				47470			
Sep-25				47628			
Oct-25				47787			
Nov-25				47945			
Dec-25				48103			

3.2.3 Peramalan Permintaan *Brand* C

Hasil *Trial and Error* menunjukkan bahwa metode *Double Exponential Smoothing* (DES) dengan parameter α = 0,91 dan β = 0,01 memberikan hasil terbaik karena memiliki nilai *error* terkecil dibandingkan metode lainnya. Berikut merupakan penentuan metode peramalan terbaik, dan hasil peramalan dengan metode terpilih yaitu *Double Exponential Smoothing* (DES) pada *brand* C yang ditunjukan pada Tabel 8 dan Tabel 9.

Tabel 8. Penentuan Metode Peramalan Terbaik *Brand C*

***Brand* C**			
Metode	**MAD**	**MSE**	**MAPE**
Single Exponential Smoothing	10779,00	179268545,89	30,22%
Double Exponential Smoothing	**943,55**	**1341120,56**	**2,52%**
Holt-Winters Method	25663,77	1336269521,90	40,05%
ARIMA	9822,68	154088743,15	24,66%
Min	**943,55**	**1341120,56**	**2,52%**

Tabel 9. Hasil peramalan metode DES *brand C*

Periode	Permintaan (Ton)	S(t)	G(t)	F(t)	|Error|	Error^2	|Pct Error|
Jan-24	2120	2120	0	-	-	-	-
Feb-24	5784	5454,24	33,34	5488	296	87616	0,0512
Mar-24	10760	10285,48	81,32	10367	393	154449	0,0365
Periode	**Permintaan (Ton)**	**S(t)**	**G(t)**	**F(t)**	**|Error|**	**Error^2**	**|Pct Error|**
Apr-24	17832	17160,13	149,25	17310	522	272484	0,0293

May-24	47736	44997,60	426,14	45424	2312	5345344	0,0484
Jun-24	53568	52835,06	500,25	53336	232,05	53847	0,0043
Jul-24	73872	72023,70	687,13	72711	1161	1347921	0,0157
Aug-24	65880	66494,77	624,97	67120	1240	1537600	0,0188
Sep-24	63408	63742,06	591,20	64334	926	857476	0,0146
Oct-24	73624	72787,83	675,74	73464	160	25600	0,0022
Nov-24	59054	60350,86	544,62	60896	1842	3392964	0,0312
Dec-24	51632	52465,71	460,32	52927	1295	1677025	0,0251
Jan-25				52927			
Feb-25				53387			
Mar-25				53847			
Apr-25				54307			
May-25				54768			
Jun-25				55228			
Jul-25				55688			
Aug-25				56149			
Sep-25				56609			
Oct-25				57069			
Nov-25				57530			
Dec-25				57990			

3.2.4 Peramalan Permintaan *Brand* D

Hasil *Trial and Error* menunjukkan bahwa metode *Double Exponential Smoothing* (DES) dengan parameter α = 0,95 dan β = 0,01 memberikan hasil terbaik karena memiliki nilai *error* terkecil dibandingkan metode lainnya. Berikut merupakan penentuan metode peramalan terbaik, dan hasil peramalan dengan metode terpilih yaitu *Double Exponential Smoothing* (DES) pada *brand* D yang ditunjukan pada Tabel 10 dan Tabel 11.

Tabel 10. Penentuan Metode Peramalan Terbaik *Brand D*

***Brand* D**			
Metode	**MAD**	**MSE**	**MAPE**
Single Exponential Smoothing	5353,11	37665802,04	41,67%
Double Exponential Smoothing	**198,44**	**76282,79**	**1,55%**
Holt-Winters Method	4884,77	76360771,60	36,42%
ARIMA	4648,91	34079307,68	34,17%
Min	**198,44**	**76282,79**	**1,55%**

Tabel 11. Hasil Peramalan Metode DES *Brand D*

Periode	**Permintaan (Ton)**	**S(t)**	**G(t)**	**F(t)**	**|Error|**	**Error^2**	**|Pct Error|**
Jan-24	41816	41816,00	0	-	-	-	-
Feb-24	29120	29754,80	-120,61	29635	515	265225	0,0177
Mar-24	24384	24646,51	-170,49	24477	93	8649	0,0038
Apr-24	18576	18871,00	-226,54	18645	69	4761	0,0037
May-24	17880	17918,22	-233,80	17685	195	38025	0,0109
Jun-24	12312	12580,62	-284,84	12296	16	256	0,0013
Jul-24	21144	20701,59	-200,78	20501	643	413449	0,0304
Aug-24	16832	17015,44	-235,63	16780	52	2704	0,0031
Sep-24	12208	12436,59	-279,07	12158	50	2500	0,0041
Oct-24	10800	10867,88	-291,96	10576	224	50176	0,0207
Nov-24	7104,8	7278,36	-324,94	6954	150,8	22740,64	0,0212
Dec-24	3272	3456,07	-359,91	3097	175	30625	0,0535
Jan-25				3097			
Feb-25				2737			
Mar-25				2377			
Apr-25				2017			
May-25				1657			
Jun-25				1297			
Periode	**Permintaan (Ton)**	**S(t)**	**G(t)**	**F(t)**	**|Error|**	**Error^2**	**|Pct Error|**
Jul-25				937			

Aug-25	577
Sep-25	217
Oct-25	-144
Nov-25	-503
Dec-25	-863

3.3. Perhitungan Nilai *Bullwhip Effect* Setelah Menerapkan Metode Peramalan

Setelah mendapatkan hasil peramalan berdasarkan metode terpilih, kemudian hasil peramalan pada periode Februari 2024 - Desember 2024 digunakan untuk mengganti data produksi aktual yang selanjutnya akan dijadikan perhitungan nilai *Bullwhip Effect* kembali. Hal tersebut dimaksudkan sebagai bentuk pengendalian kuantitas produksi, untuk meminimalkan nilai *Bullwhip Effect* yang tinggi. Selain itu data produksi bulan Januari 2024 diasumsikan untuk tetap menggunakan data produksi aktual. Berikut merupakan perhitungan nilai *Bullwhip Effect* setelah dilakukan pendekatan peramalan yang ditunjukan pada Tabel 12.

Tabel 12. Perhitungan Nilai *Bullwhip Effect* Setelah Menerapkan Metode Peramalan

Periode	***Brand* A**		***Brand* B**		***Brand* C**		***Brand* D**	
	Produksi (Ton)	**Permintaan (Ton)**	**Produksi (Ton)**	**Permintaan (Ton)**	**Produksi (Ton)**	**Permintaan (Ton)**	**Produksi (Ton)**	**Permintaan (Ton)**
Jan-24	74094	76120	28649	29432	2064	2120	40703	41816
Feb-24	65660	65552	32663	32696	5488	5784	29635	29120
Mar-24	72086	72256	33290	33264	10367	10760	24477	24384
Apr-24	49498	49304	22177	22024	17310	17832	18645	18576
May-24	87789	88448	40293	40552	45424	47736	17685	17880
Jun-24	78109	77888	33420	33240	53336	53568	12296	12312
Jul-24	97670	97848	46712	46810	72711	73872	20501	21144
Aug-24	94903	94656	44435	44240	67120	65880	16780	16832
Sep-24	104086	103992	45512	45376	64334	63408	12158	12208
Oct-24	105979	105720	49555	49440	73464	73624	10576	10800
Nov-24	84269	83750	44007	43754	60896	59054	6954	7105
Dec-24	74876	74704	46362	46248	52927	51632	3097	3272
Total	989019	990238	467075	467076	525441	525270	213507	215449
Rata-Rata	82418	82520	38923	38923	43787	43773	17792	17954
Standar Deviasi	15972,479	15911,861	8255,062	8170,680	26108,110	25850,751	9858,945	9985,579
Koefisien Variansi	0,1938	0,1928	0,2121	0,2099	0,5963	0,5906	0,5541	0,5562
Bullwhip Effect	**1,005**		**1,010**		**1,010**		**0,996**	

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa setelah menerapkan metode peramalan, seluruh *brand* mengalami penurunan nilai *Bullwhip Effect* dan nilainya tidak melebihi parameter yang telah dihitung sebelumnya yaitu sebesar 1,01. Berikut merupakan contoh perhitungan nilai *Bullwhip Effect* untuk *brand* A setelah dilakukan peramalan:

$$CV\ (produksi) = \frac{15972{,}479}{82418} = 0{,}1938$$

$$CV\ (permintaan) = \frac{15911{,}861}{82520} = 0{,}1928$$

$$BE = \frac{CV\ (produksi)}{CV\ (permintaan)} = \frac{0{,}1938}{0{,}1928} = 1{,}005$$

3.4. Perbandingan Nilai *Bullwhip Effect* Aktual dan Setelah Penerapan Metode Peramalan

Setelah mendapatkan perhitungan nilai parameter *Bullwhip Effect*, nilai *Bullwhip Effect* aktual, dan nilai *Bullwhip Effect* setelah menerapkan meode peramalan tahap selanjutnya adalah membandingkan nilai-nilai tersebut. Berikut merupakan perbandingan nilainya yang ditunjukan pada Tabel 13.

Tabel 13. Perbandingan Nilai *Bullwhip Effect* Aktual Dan Setelah Penerapan Metode Peramalan

Produk	Parameter	Persentase Penurunan

		***Bullwhip Effect* Aktual**	***Bullwhip Effect* Setelah Peramalan**		**Selisih *Bullwhip Effect* Aktual terhadap Parameter**	**Selisih *Bullwhip Effect* Peramalan terhadap Parameter**
Brand A	1,01	1,088	1,005	7,66%	0,078	0,005
Brand B	1,01	1,015	1,010	0,43%	0,005	0,000
Brand C	1,01	1,011	1,010	0,13%	0,001	0,000
Brand D	1,01	1,027	0,996	3,03%	0,017	0,014

Tabel 13 menunjukkan bahwa setelah menerapkan metode peramalan *Double Exponential Smoothing* (DES) terjadi penurunan nilai *Bullwhip Effect* untuk keempat *brand* semen kemasan kantong yang ada. Selain penurunan nilai *Bullwhip Effect* (BE), dapat diketahui juga selisih antara nilai *Bullwhip Effect* aktual dan *Bullwhip Effect* peramalan terhadap parameter yang ditetapkan. Berikut merupakan contoh perhitungan manual persentase penurunan nilai *Bullwhip Effect* aktual dan setelah menerapkan metode peramalan pada *brand* A:

$$Persentase\ penurunan = \left(\frac{BE\ Aktual - BE\ Peramalan}{BE\ Aktual}\right) \times 100\% \qquad (18)$$

$$Persentase\ penurunan = \left(\frac{1{,}088 - 1{,}005}{1{,}088}\right) \times 100\%$$

$$Persentase\ penurunan = 7{,}66\%$$

Berikut merupakan contoh dari perhitungan manual selisih antara nilai *Bullwhip Effect* aktual terhadap parameter *brand* A:

$$Selisih\ =\ |Parameter\ -\ Bullwhip\ Effect\ Peramalan| \qquad (19)$$

$$Selisih\ =\ |1{,}01\ -\ 1{,}088|$$

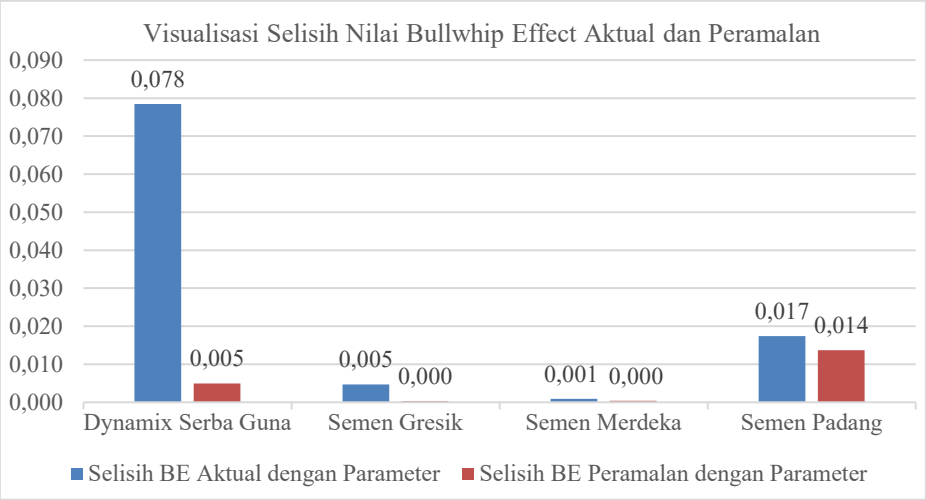
$$Selisih\ =\ 0{,}078$$

Berikut merupakan contoh dari perhitungan manual selisih nilai *Bullwhip Effect* peramalan terhadap parameter pada *brand* A:

$$Selisih\ =\ |Parameter\ -\ Bullwhip\ Effect\ Peramalan|$$

$$Selisih\ =\ |1{,}01\ -\ 1{,}005|$$

$$Selisih\ =\ 0{,}005$$



Gambar 5. Visualisasi Selisih Nilai *Bullwhip Effect* Aktual dan Peramalan Terhadap Parameter

Grafik visualisasi selisih nilai *Bullwhip Effect* aktual dan peramalan terhadap nilai parameter dapat dilihat pada Gambar 5. Dalam konteks ini, ketika nilai selisih semakin rendah atau dengan kata lain ketika nilai *Bullwhip Effect* semakin mendekati nilai parameter yang ada, maka hasilnya dapat dikatakan semakin baik dan stabil. Berdasarkan hasil pengolahan data dapat diketahui bahwa pada seluruh *brand* selisih nilai *Bullwhip Effect* peramalan terhadap parameter lebih rendah dibandingkan selisih nilai *Bullwhip Effect* aktual terhadap parameter, dengan hasil yang paling signifikan

ada pada *brand* A, dimana selisih nilai *Bullwhip Effect* aktual terhadap parameter yaitu sebesar 0,078, dan setelah dilakukan peramalan selisihnya menjadi 0,005. Sementara itu pada *brand* B, memiliki selisih nilai *Bullwhip Effect* aktual terhadap parameter sebesar 0,005, kemudian setelah menerapkan metode peramalan nilai selisihnya menjadi 0,000. Selanjutnya *brand* C menunjukkan selisih *Bullwhip Effect* aktual terhadap parameter yaitu sebesar 0,001, dan hasil setelah menerapkan metode peramalan selisih terhadap parameternya menjadi 0,000. Hal tersebut menunjukan bahwa pada *brand* B dan *brand* C nilai *Bullwhip Effect* setelah menerapkan metode peramalan hasilnya sama dengan nilai parameter yang ada yaitu sebesar 1,01, sehingga nilai selisihnya bernilai 0. Kemudian pada *brand brand* D menunjukkan selisih nilai *Bullwhip Effect* aktual terhadap parameter sebesar 0,017, dan nilai selisihnya menjadi 0,014 setelah menerapkan metode peramalan.

Dengan demikian, dapat diketahui bahwa metode peramalan yang diterapkan yaitu *Double Exponential Smoothing* (DES), terbukti secara efektif dapat mengurangi nilai *Bullwhip Effect* sekaligus menekan nilainya agar lebih mendekati atau sama dengan nilai parameter. Keunggulan metode peramalan tersebut dalam kasus di PT.XYZ sebagai industri semen, salah satunya yaitu karena adanya pola data permintaan semen yang cenderung mengalami perubahan tren secara bertahap tanpa fluktuasi musiman yang kuat, dan metode DES mampu mengakomodasi dinamika tren tersebut melalui parameter level dan tren yang ada di dalamnya. Sehingga perusahaan dapat mengatur tingkat produksi dan stok secara akurat terhadap permintaan pelanggan berdasarkan hasil peramalan yang telah dilakukan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat diketahui bahwa seluruh *brand* semen kemasan kantong memiliki nilai *Bullwhip Effect* aktual yang melebihi parameter yaitu sebesar 1,01, dengan nilai tertinggi terdapat pada *brand* A sebesar 1,088, diikuti oleh *brand* D sebesar 1,027, *brand* B sebesar 1,015, dan *brand* C sebesar 1,011. Untuk mengatasi hal tersebut, dilakukan penerapan metode peramalan *Double Exponential Smoothing* (DES) yang terbukti memiliki hasil paling akurat dibandingkan metode lainnya berdasarkan hasil evaluasi dengan indikator *error* MAD, MSE, dan MAPE. Setelah penerapan metode peramalan, terjadi penurunan nilai *Bullwhip Effect* secara signifikan pada seluruh *brand*, terutama pada *brand* A dengan nilai *Bullwhip Effect* aktual sebesar 1,088 turun menjadi 1,005 atau berkurang sebesar 7,66%. Sehingga secara keseluruhan, penerapan metode peramalan *Double Exponential Smoothing* (DES) terbukti efektif dalam mengurangi nilai *Bullwhip Effect* serta menekan nilainya agar lebih mendekati atau sama dengan nilai parameter. Oleh karena itu perusahaan disarankan melakukan evaluasi berkala terhadap peramalan yang digunakan serta membangun integrasi data dalam *supply chain* secara *real-time*, dan bagi penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengeksplorasi metode peramalan berbasis *machine learning* yang memiliki kemampuan lebih tinggi dalam mengakomodasi kompleksitas pada data permintaan untuk menekan nilai *Bullwhip Effec*t dengan lebih optimal.

Daftar Pustaka

[1] S. Chopra and P. Meindl, *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*, 6th ed. Englad: Pearson Education Limited, 2016.

[2] J. Heizer, B. Render, and C. Munson, *Operation Management Sustainability and Supply Chain Management*, 13th ed. United Kingdom: Pearson Education Limited, 2020.

[3] F. H. Saleh, "Fenomena Bullwhip Effect pada Supply Chain dan Struktur Tata Kelola Perguruan Tinggi," *Unisia*, vol. 31, no. 69, pp. 240–247, 2008, doi: 10.20885/unisia.vol31.iss69.art3.

[4] C. A. Agustinus and Supriyadi, "Analisis Bullwhip Effect Pada Supply Chain Product High Purity Acrylic Acid

Dengan Menggunakan Metode Peramalan," *Pros. Semin. Nas. Tek. Ind. 2024*, pp. 1–6, 2024.

[5] Y. Barlas and B. Gunduz, "Demand forecasting and sharing strategies to reduce fluctuations and the bullwhip effect in supply chains," *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 62, no. 3, pp. 458–473, 2011, doi: 10.1057/jors.2010.188.

[6] R. H. Shumway and D. S. Stoffer, *Time Series Analysis and Its Applications With R Examples*, 3rd ed. Springer, 2011. doi: 10.1016/S0304-0208(08)70413-4.

[7] D. S. Darmawan, A. T. Nugraha, and R. Wahyudi, "Peramalan Deret Berkala dalam Mengurangi Bullwhip Effect pada Sistem Rantai Pasok Komoditas Sawit pada PTPN VII, Lampung, Indonesia," *Agro Bali Agric. J.*, vol. 5, no. 2, pp. 331–341, 2022, doi: 10.37637/ab.v5i2.956.

[8] W. Latuny and W. M. S. Picauly, "Analisis Bullwhip Effect Dengan Menggunakan Metode Peramalan Pada Supply Chain di Distributor PT. Semen Tonasa (Studi Kasus: Distributor PT. Semen Tonasa)," *J. Arika*, vol. 13, no. 2, pp. 113–126, 2019, doi: 10.30598/arika.2019.13.2.113.

[9] H. L. Lee, V. Padmanabhan, and S. Whang, "The Bullwhip Effect in Supply Chains," *Sloan Manag. Rev.*, pp. 93–102, 1997.

[10] I. N. Pujawan and Mahendrawathi, *Supply Chain Management*, 4th ed. Yogyakarta: Lautan Pustaka Grup Andi, 2024.

[11] A. E. F. Arina and Lukmandono, "Penerapan Metode Model Autoregressive Integrated Moving Average Guna Mengurangi Terjadinya Bullwhip Effect Pada Supply Chain," *Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap.*, pp. 161–166, 2017.

[12] E. Maharani and A. Momon, "Analisis Pengaruh Nilai Bullwhip Effect dengan Metode Single Exponential Smoothing pada PT. XYZ," *J. Serambi Eng.*, vol. VIII, no. 2, pp. 5503–5509, 2023.

[13] M. Rizal, D. R. Indah, and R. Meutia, "Analisis Peramalan Produksi Menggunakan Trend Moment Pada Kilang Padi Do'a Ibu Diperlak Kecamatan Pereulak," *J. Samudra Ekon.*, vol. 5, no. 2, pp. 161–168, 2021, doi: 10.33059/jse.v5i2.4274.

[14] E. Heriansyah and S. Hasibuan, "Implementasi Metode Peramalan pada Permintaan Bracket Side Stand K59A," *J. PASTI*, vol. 12, no. 2, pp. 209–223, 2018.

[15] Suradi, *Sistem Produksi*, 1st ed. Tohar Media, 2019.

[16] S. Hansun, "Peramalan Data IHSG Menggunakan Fuzzy Time Series," *IJCCS (Indonesian J. Comput. Cybern. Syst.*, vol. 7, no. 1, pp. 79–88, 2013, doi: 10.22146/ijccs.2155.

[17] A. Hartono, D. Dwijana, and W. Handiwidjojo, "Perbandingan Metode single Exponential Smoothing Dan Metode Exponential Smoothing Adjusted For Trend (Holt's Method) Untuk Meramalkan Penjualan. Studi Kasus: Toko Onderdil Mobil 'Prodi, Purwodadi,'" *J. EKSIS*, vol. 5, no. 1, pp. 8–18, 2015.

[18] J. Bidangan, I. Purnamasari, and M. N. Hayati, "Perbandingan Peramalan Metode Double Exponential Smoothing Satu Parameter Brown Dan Metode Double Exponential Smoothing Dua Parameter Holt," *Stat. FMIPA Univ. Mulawarman*, vol. 4, no. 1, pp. 14–19, 2016, [Online]. Available: https://jurnal.unimus.ac.id/index.php/statistik/article/view/2003

[19] R. J. Hyndman and G. Athanasopoulos, *Forecasting: Principles and Practice*. Australia: Monash University, 2018. doi: 10.2307/1054108.

[20] I. R. Amalia, T. Widiharih, and Tarno, "Holt Winters Exponential Smoothing Untuk Meramalkan Produk Produk Domestik Bruto di Indonesia," *J. Gaussian*, vol. 13, no. 1, pp. 219–229, 2024, doi: 10.14710/j.gauss.13.1.219-229.

[21] R. C. Putri and L. Junaedi, "Penerapan Metode Peramalan Autoregressive Integrated Moving Average Pada Sistem

Informasi Pengendalian Persedian Bahan Baku (Studi Kasus : Toko Kue Onde-Onde Surabaya),” *J. Ilmu Komput. dan Bisnis*, vol. XIII, no. 1, pp. 164–173, 2022.

[22] A. R. Dona and Sugiman, “Peramalan Metode ARIMA Data Saham PT. Telekomunikasi Indonesia,” *Prism. Pros. Semin. Nas. Mat.*, vol. 4, pp. 611–620, 2021, [Online]. Available: https://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/prisma/