

Strategi Peramalan dan Pengendalian Persediaan Suku Cadang di Industri Pengolahan dan Importir Kayu Lapis

Ikhlasul Amallynda^{1*}, Erwin Wicaksono¹

¹ Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Malang
Jl. Raya Tlogomas No. 246 Kel. Tlogomas Kec. Lowokwaru, Malang 65143

Abstrak

PT XYZ merupakan perusahaan produsen dan pengekspor produk kayu lapis. Saat ini pengelolaan persediaan suku cadang masih dilakukan secara intuitif berdasarkan data kebutuhan suku cadang di periode sebelumnya. Akibatnya, seringkali terjadi kekurangan stok suku cadang saat dibutuhkan. Kekurangan stok suku cadang dapat menyebabkan gangguan operasional yang signifikan, seperti peningkatan waktu henti produksi, penurunan efisiensi, dan biaya tambahan untuk pengadaan darurat. Ini juga dapat mengurangi kepuasan pelanggan jika pesanan tertunda atau tidak dapat dipenuhi tepat waktu, yang akhirnya mempengaruhi reputasi perusahaan dan profitabilitas. Pengelolaan persediaan suku cadang menjadi masalah yang kompleks karena dibutuhkan respon yang cepat untuk menekan waktu kerusakan dan risiko keusangan suku cadang mesin produksi. Selain itu, suku cadang memiliki pola permintaan yang unik, dimana permintaan tidak terjadi setiap periode dan memiliki variansi yang tinggi. Sehingga dapat digolongkan sebagai permintaan yang *intermittent* bahkan *lumpy*. Maka dalam penelitian ini akan dibahas tentang pengendalian persediaan suku cadang yang dimulai dari pengklasifikasian suku cadang menggunakan metode ADI – CV. Perkiraan kebutuhan suku cadang menggunakan metode *simple moving average*, *single exponential smoothing*, *Croston's method*, *Syntetos-Boylan approximation*, dan simulasi Montecarlo. Perbandingan performansi antar metode peramalan dilakukan dengan mempertimbangkan lima ukuran tingkat keakuratan, yakni: *Adjusted Mean Absolute Percentage Error (A-MAPE)*, *Mean Error (ME)*, dan *Mean Square Error (MSE)*. Berdasarkan hasil perkiraan kebutuhan terbaik, akan dilakukan perhitungan *safety stock*, *reorder point* dan jumlah pemesanan optimal dengan metode *periodic review*.

Kata kunci: Pengendalian Persediaan Suku Cadang; *Moving Average*; *Single Exponential Smoothing*; *Croston's method*; *Syntetos-Boylan approximation*; Simulasi Montecarlo.

Abstract

PT. XYZ is a plywood product manufacturer and exporter. Currently, spare parts inventory management is still done intuitively based on data about previous periods' spare parts needs. As a result, when spare components are required, there is sometimes a shortage. Spare parts stock shortages can lead to significant operational disruptions, such as increased production downtime, decreased efficiency, and additional costs for emergency procurement. It can also reduce customer satisfaction if orders are delayed or cannot be fulfilled on time, ultimately affecting the company's reputation and profitability. Spare parts inventory management is a challenging subject because it necessitates a quick response to limit damage time and the risk of production machine part obsolescence. Furthermore, spare parts have a distinct demand pattern in which demand does not arise at the same time every time and has a large variance. As a result, it can be classified as

*Corresponding author

Alamat email: ikhlasulamallynda@umm.ac.id

<https://doi.org/10.35261/gijtsi.v5i01.12005>

Diterima 24 Juli 2024; Disetujui 28 Agustus 2024; Terbit online 02 September 2024

intermittent or lumpy demand. So, in this study, spare parts inventory control will be explored, beginning with the classification of spare parts using the ADI-CV approach. The simple moving average approach, single exponential smoothing, Croston's method, Syntetos-Boylan approximation, and Montecarlo simulation are used to estimate the need for spare components. The performance of forecasting systems is compared by taking five metrics of accuracy into account: Adjusted Mean Absolute Percentage Error (A-MAPE), Mean Error (ME), dan Mean Square Error (MSE). The periodic review approach will be used to calculate a safety stock, reorder point, and optimal order quantity based on the results of the best forecast of demands.

Keywords: *Spare Parts Inventory Control; Moving Average; Single Exponential Smoothing; Croston's method; Syntetos-Boylan approximation; Simulasi Montecarlo.*

Pendahuluan

Permintaan memiliki peranan sangat penting dalam perencanaan produksi dan manajemen persediaan, sehingga diperlukan metode atau teknik peramalan yang cukup akurat. Ketersediaan (*availability*) dan keandalan (*reliability*) merupakan hal yang sangat krusial bagi perusahaan yang menggunakan mesin dalam melakukan proses bisnisnya. Tingkat ketersediaan dan keandalan mesin produksi sangat erat kaitannya dengan efektivitas kegiatan perawatan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan agar eksekusi kegiatan perawatan sesuai dengan perencanaan adalah dengan menjaga ketersediaan suku cadang. Persediaan suku cadang harus terjaga dalam jumlah tertentu agar dapat memenuhi permintaan ketika dibutuhkan. Tingginya variasi suku cadang yang dikelola, dan adanya pola permintaan yang bersifat *intermittent* atau bahkan *lumpy* menyebabkan manajemen persediaan suku cadang menjadi masalah yang kompleks [1]. *Intermittent demand* adalah pola permintaan yang bersifat *random, sporadis*, yang mana terjadi periode-periode bernilai nol dan juga periode-periode dengan kuantitas permintaan yang tidak konstan [2]. Pola *intermittent demand* dapat terjadi di lingkungan manufaktur maupun jasa, termasuk barang-barang seperti alat berat maupun suku cadang [3]. Dimana permintaannya tidak selalu ada atau tidak pasti baik dari segi waktu maupun kuantitas. Sebagai contoh kasus *intermittent demand* pada industri otomotif [2], pada suku cadang tahan lama [4], di bagian layanan perawatan pesawat [5], dan di bidang telekomunikasi sistem, kompresor besar, dan tekstil mesin [6], dan lainnya. Selanjutnya pola permintaan yang bersifat *intermittent* dapat diklasifikasikan lagi menjadi: *intermittent demand, erratic demand, lumpy demand*, dan *slow moving* berdasarkan nilai nilai ADI (*Average Demand Interval*) dan CV (*coefficient of Variations*).

PT XYZ adalah produsen dan pengeksport produk kayu lapis berkualitas tinggi yang tersusun dari berbagai macam instalasi pabrik yang saling terintegrasi. Pada perusahaan ini, departemen mekanik bertugas mengelola kegiatan perawatan mesin produksi dan persediaan suku cadang. Selama ini, pengelolaan persediaan suku cadang masih dilakukan secara intuitif berdasarkan jumlah kebutuhan suku cadang pada periode sebelumnya. Sehingga, seringkali terjadi *stock out* di gudang. Hal ini mengakibatkan tingginya waktu *breakdown* yang berdampak pada tingkat efektivitas mesin dan peralatan produksi yang semakin rendah. Padahal, sistem produksi yang kompleks dan *asset-insentive industry* mengakibatkan perusahaan ini sangat bergantung pada ketersediaan peralatan teknis, agar perusahaan dapat memastikan keberlangsungan aliran proses produksi.

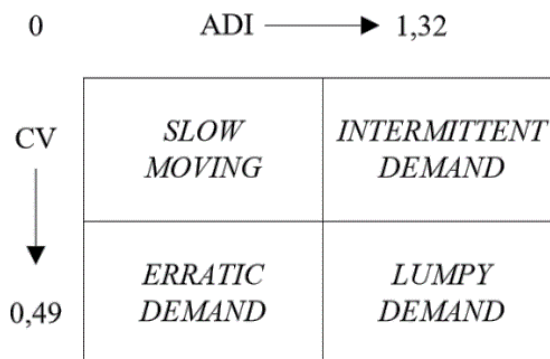
Sektor manufaktur telah berusaha untuk mengelola ketidakpastian permintaan selama bertahun-tahun dan banyak mengembangkan metode dan teknik peramalan [7]. Metode statistik, seperti *exponential smoothing* dan *regression analysis*, telah digunakan oleh pembuat keputusan selama beberapa dekade dalam peramalan permintaan. Selain ‘*uncertainty reduction methods*’ seperti peramalan, ‘*uncertainty management methods*’ seperti dengan menambahkan sumber daya yang dimiliki juga telah dirancang untuk mengatasi ketidakpastian permintaan dalam perencanaan manufaktur dan sistem kontrol [6]. Namun, banyak di antaranya yang memiliki performansi yang buruk ketika pola permintaan terhadap sebuah item bersifat *intermittent*.

Berdasarkan uraian singkat diatas, maka pada penelitian ini akan berfokus mengenai pengendalian persediaan suku cadang yang diawali dengan pengklasifikasian suku cadang menggunakan metode ADI – CV. Perkiraan kebutuhan suku cadang menggunakan metode *simple moving average*, *single exponential smoothing*, Croston’s *method*, Syntetos-Boylan *approximation* (SBA), dan simulasi Montecarlo. Perbandingan performansi antar metode peramalan dilakukan dengan mempertimbangkan tiga ukuran tingkat keakuratan, yakni: MAPE yang dimodifikasi, ME, dan MSE. Berdasarkan hasil perkiraan kebutuhan terbaik, akan dilakukan perhitungan *safety stock*, *reorder point* dan jumlah pemesanan optimal dengan metode *periodic review*.

Metode Penelitian

A. Klasifikasi Material ADI-CV

Berdasarkan interval kemunculan permintaan, material dapat dikategorikan menjadi dua, yakni: *continuous* dan *intermittent*. *Continuous material* seringkali disebut sebagai *fast moving material*, yakni material yang permintaannya muncul pada selang waktu yang kecil. Jenis material ini cocok dikendalikan dengan menggunakan kebijakan *continuous review*. Sedangkan jika kemunculan permintaan material terjadi pada selang waktu yang cukup besar, maka jenis material ini disebut sebagai *intermittent material* atau *slow moving material*. Dalam hal ini kebijakan *periodic review* menjadi pilihan tepat dalam mengendalikan persediaan material jenis ini. *Intermittent material*, selanjutnya dapat diklasifikasikan menjadi empat, yakni: *intermittent demand*, *erratic demand*, *lumpy demand* dan *slow moving*. Analisis ADI-CV mengklasifikasikan material berdasarkan interval antar kemunculan permintaan (*Average Demand Interval*) dan keberagaman tingkat permintaan yang muncul (*Coefficient of Variations*) [5].



Gambar 1. Item demand patterns [5]

Gambar 1. menunjukkan bahwa karakteristik material berpola *slow moving* mempunyai nilai $ADI \leq 1,32$ dan $CV \leq 0,49$, karakteristik material berpola *erratic demand* mempunyai

nilai $ADI \leq 1,32$ dan $CV \geq 0,49$, karakteristik material berpola *intermittent demand* mempunyai nilai $ADI \geq 1,32$ dan $CV \leq 0,49$, sedangkan karakter material *lumpy demand* mempunyai nilai $ADI \geq 1,32$ dan $CV \geq 0,49$. Nilai ADI dapat diperoleh dengan melakukan perhitungan berdasarkan formula berikut:

$$ADI = \frac{\sum_i^N t_i}{N} \quad (1)$$

Penghitungan nilai CV dapat diperoleh dengan menggunakan formula berikut.

$$CV = \frac{\frac{\sqrt{\sum_i^N (\varepsilon_i - \varepsilon)^2}}{N}}{\varepsilon} \quad (2)$$

Nilai rata-rata penjualan ε dapat diperoleh dengan formula sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\sum_i^N \varepsilon_i}{N} \quad (3)$$

Dimana, N untuk ADI adalah jumlah periode tanpa NOL dan N untuk CV adalah keseluruhan jumlah periode. Dengan diketahuinya nilai ADI dan CV, pemilihan kebijakan persediaan yang tepat untuk material suku cadang dapat dilakukan dengan makin mudah.

B. Peramalan (Forecasting)

Peramalan dapat didefinisikan sebagai kegiatan memperkirakan atau memprediksikan kondisi perusahaan pada masa yang akan datang [8]. Peramalan dilakukan dengan mekanisme perhitungan yang objektif berdasarkan data-data masa lalu [9]. Peramalan seringkali digunakan untuk memperkirakan kebutuhan dalam ukuran kuantitas, kualitas, waktu, dan lokasi dalam rangka memenuhi permintaan barang maupun jasa [10]. Peramalan memiliki peranan yang sangat penting bagi perusahaan, karena dengan prediksi kondisi masa depan, perusahaan akan dapat menentukan langkah-langkah apa saja yang dapat diambil untuk memenuhi permintaan konsumen [11]. Dengan kata lain, kemungkinan terjadinya peristiwa-peristiwa yang tidak sesuai dengan tujuan yang diharapkan dapat diminimalisir dengan kesiapan untuk mengantisipasi.

Peramalan biasanya dilakukan untuk meminimalisir unsur ketidakpastian akan sesuatu yang terjadi di masa yang akan datang. Metode peramalan dapat dikategorikan menjadi dua, yakni metode kualitatif dan metode kuantitatif [7]. Jika data masa lalu tidak tersedia, maka peramalan hanya bisa dilakukan dengan metode kualitatif. Dalam metode kualitatif, pengambilan keputusan terkait hasil ramalan dilakukan berdasarkan pendapat-pendapat para ahli. Namun, jika data masa lalu tersedia, peramalan dengan metode kuantitatif akan jauh lebih efektif daripada metode kualitatif.

1. Single exponential smoothing (SES)

Metode exponential smoothing adalah suatu prosedur yang mengulang perhitungan secara terus menerus yang menggunakan data terbaru. Setiap data diberi bobot, dimana bobot yang digunakan disimbolkan dengan α . Simbol α bisa ditentukan secara bebas, yang mengurangi forecast error. Nilai konstanta pemulusan, α , dapat dipilih diantara nilai 0

dan, karena berlaku: $0 < \alpha < 1$ [12]. Secara matematis, persamaan penulisan eksponensial sebagai berikut [13]:

$$F_{t+1} = \alpha X_t + (1 - \alpha)F_t \quad (4)$$

Dimana:

- t = periode saat ini
- α = konstanta *exponential smoothing*
- X_t = data aktual permintaan pada periode ke- t
- F_t = ramalan permintaan untuk periode t
- F_{t+1} = ramalan permintaan untuk periode $t + 1$

Nilai α yang menghasilkan tingkat kesalahannya yang paling kecil adalah yang dipilih dalam peramalan [14]. Metode ini lebih cocok digunakan untuk meramal hal-hal yang fluktuasinya secara random atau tidak teratur [13]. Menurut Render & Hizer [15], permasalahan umum yang dihadapi dalam metode ini adalah bagaimana memilih α yang tepat untuk meminimalkan kesalahan peramalan. Karena berlaku $0 < \alpha < 1$ maka dapat menggunakan panduan berikut [15]:

- a. Apabila pola historis dari data aktual sangat bergejolak neuatau tidak stabil dari waktu ke waktu maka pilih nilai α yang mendekati satu.
- b. Apabila pola historis dari data aktual permintaan tidak berfluktuasi atau relative stabil maka pilih α yang mendekati nol.

2. Cronston's method

Metode ini pertama kali muncul pada tahun 1972 yang dikembangkan oleh Croston. Metode ini perhitungannya menggunakan jumlah permintaan dan waktu inter-arrival antara permintaan. Croston mengusulkan metode yang bisa menangani kesulitan untuk permintaan intermitten. Metode ini dikenal dengan metode Croston (CR) [16]. Perubahan utama dari metode peramalan sebelumnya adalah peramalan diperbaharui hanya ketika adanya permintaan (pengambilan kembali dari inventori) dan tidak diperbaharui ketika interval waktu peramalan telah lewat seperti exponential smoothing biasa. Metode CR tidak hanya fokus pada besarnya permintaan, metode ini juga mempertimbangkan waktu antar permintaan ke dalam perhitungan, sehingga model ini sesuai untuk peramalan suku cadang yang memiliki pola permintaan intermitten. Metode CR memisahkan besar permintaan yang diperbarui (z_t) dan interval permintaan (p_t). Pada peninjauan periode t , jika tidak ada permintaan dalam periode tersebut maka estimasi besarnya permintaan dan waktu inter-arrival pada akhir waktu t , z_t dan p_t , masing-masing tetap tidak berubah. Jika terjadi permintaan maka $X_t > 0$, sehingga estimasi diperbarui dengan:

$$z_t = \begin{cases} z_{t-1}, & \text{if } X_t = 0 \\ \alpha X_t + (1 - \alpha).z_{t-1}, & \text{if } X_t > 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$q_t = \begin{cases} q_{t-1} + 1, & \text{if } X_t = 0 \\ 1, & \text{if } X_t > 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$p_t = \begin{cases} p_{t-1}, & \text{if } X_t = 0 \\ \alpha.q_{t-1} + (1 - \alpha).p_{t-1}, & \text{if } X_t > 0 \end{cases} \quad (7)$$

Dengan,

X_t = data aktual permintaan pada periode ke- t ,

z_t = ramalan permintaan rata-rata pada periode ke- t , permintaan bernilai positif

p_t = rata-rata interval antara permintaan non-zero yang diobservasi pada periode t

α = konstanta *smoothing* antara satu dan nol

Secara keseluruhan, peramalan permintaan per periode pada saat t adalah

$$F_{t-1} = \frac{Z_t}{p_t} \quad (8)$$

3. Syntetos – Boylan approximation

Metode Syntetos-Boylan Approximation (SBA), yang dikembangkan oleh Syntetos dan Boylan (2001), merupakan koreksi terhadap metode Croston (CR) setelah mereka mengidentifikasi bahwa metode CR yang asli cenderung menghasilkan estimasi yang bias dalam permintaan intermiten [2]. Untuk memperbaiki bias tersebut maka Syntetos dan Boylan mengusulkan mengurangi metode peramalan CR dengan sebuah factor $1 - \alpha/2$, maka peramalan metode SBA, dimana α merupakan konstanta *smoothing* yang bernilai antara satu dan nol.

$$F_{t-1} = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \cdot \frac{Z_t}{p_t} \quad (9)$$

4. Moving average

Metode *moving average* (MA) menggunakan sejumlah data aktual permintaan yang baru untuk membangkitkan nilai ramalan untuk permintaan dimasa yang akan datang. Metode ini mempunyai dua sifat khusus yaitu memerlukan data historis dalam jangka waktu tertentu, dan semakin panjang *moving average* akan menghasilkan ramalan yang semakin halus, secara sistematis *moving average* dirumuskan sebagai berikut:

$$F_{t+1} = \frac{X_t + X_{t-1} + \dots + X_{t-n+1}}{n} \quad (10)$$

Dimana:

- F_{t+1} = ramalan permintaan untuk periode $t + 1$
- X_t = data aktual permintaan pada periode ke- t
- n = banyaknya periode dalam *moving average*.

5. Weighted moving average

Weighted moving average (WMA) adalah teknik MA yang memiliki faktor bobot pengali yang berbeda pada setiap titik data. Dengan asumsi bahwa data yang paling akhir atau terbaru memiliki bobot yang lebih besar dibandingkan dengan data yang lama, karena data yang paling terakhir merupakan data yang parig relevan untuk peramalan. Dalam WMA periode- n , periode terakhir memiliki bobot n , terakhir kedua $n - 1$, dan seterusnya hingga bobot bernilai 0.

$$F_{t+1} = \frac{n \cdot X_t + (n - 1) \cdot X_{t-1} + \dots + X_{t-n+1}}{n} \quad (11)$$

- F_{t+1} = ramalan permintaan untuk periode $t + 1$
- X_t = data aktual permintaan pada periode ke- t
- n = banyaknya periode dalam *moving average*

6. Holt-Winters Methods

Additive winter dan *multiplicative winter* adalah dua metode yang diusulkan oleh Winters dan Holt untuk meramalkan permintaan yang dipengaruhi oleh faktor tren dan musiman. Operasi metode winter didasarkan pada tiga persamaan dan tiga pembobotan parameter pemulusan, yakni: persamaan pemulusan (α), stasioneritas (β), trend dan musiman (γ). Parameter-parameter tersebut bernilai 0 sampai dengan 1. Penentuan parameter α , β , dan γ dilakukan untuk meminimumkan nilai eror. Untuk mendapatkan nilai parameter yang optimal, bisa menggunakan algoritma optimasi non-linier.

a) Holt-Winter's aditif

Persamaan dasar metode *Holt-Winter's* Aditif adalah sebagai berikut:

$$L_t = \alpha(Y_t - S_{t-s}) + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (12)$$

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (13)$$

$$S_t = \gamma(Y_t - L_t) + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (14)$$

$$F_{t+m} = L_t + b_t m + S_{t-s+m} \quad (15)$$

Inisialisasi:

$$L_s = \frac{1}{s}(Y_1 + Y_2 + \dots + Y_s) \quad (16)$$

$$b_s = \frac{1}{s} \left(\frac{Y_{s+1} - Y_1}{s} + \frac{Y_{s+2} - Y_2}{s} + \dots + \frac{Y_{s+s} - Y_s}{s} \right) \quad (17)$$

$$S_1 = Y_1 - L_s; \quad S_2 = Y_2 - L_s; \dots; S_s = Y_s - L_s \quad (18)$$

b) Holt-Winter's multiplikatif

Persamaan dasar metode *Holt-Winter's* Aditif adalah sebagai berikut:

$$L_t = \alpha \frac{Y_t}{S_{t-s}} + (1 - \alpha)(L_{t-1} + b_{t-1}) \quad (19)$$

$$b_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1 - \beta)b_{t-1} \quad (20)$$

$$S_t = \gamma \frac{Y_t}{L_t} + (1 - \gamma)S_{t-s} \quad (21)$$

$$F_{t+m} = (L_t + b_t m)S_{t-s+m} \quad (22)$$

Inisialisasi:

$$L_s = \frac{1}{s}(Y_1 + Y_2 + \dots + Y_s) \quad (23)$$

$$b_s = \frac{1}{s} \left(\frac{Y_{s+1} - Y_1}{s} + \frac{Y_{s+2} - Y_2}{s} + \dots + \frac{Y_{s+s} - Y_s}{s} \right) \quad (24)$$

$$S_1 = \frac{Y_1}{L_s}; S_2 = \frac{Y_2}{L_s}; \dots; S_s = \frac{Y_s}{L_s} \quad (25)$$

7. ARIMA (p, d, q)

Model *autoregressive integrated moving average* (ARIMA) adalah model peramalan yang mengabaikan independen variabel secara penuh. Model ARIMA terdiri dari 3 unsur, yakni: model *autoregressive* (AR), *moving average* (MA), dan *Intgreted* (I). Bentuk umum

model ini dinyatakan dalam ARIMA(p,d,q). Notasi p menyatakan ordo AR, d menyatakan ordo I, dan q menyatakan ordo MA.

Bentuk umum *autoregressive model* dengan ordo p ($AR(p)$) atau kerap kali disebut model ARIMA ($p, 0, 0$) yaitu:

$$X_t = \mu' + \phi_1 X_{t-1} + \phi_2 X_{t-2} + \dots + \phi_p X_{t-p} + e_t \quad (26)$$

Dimana, μ' adalah konstanta, ϕ_1 parameter autoregressive ke- p , dan e_t adalah nilai kesalahan pada t . Artinya, nilai X dipengaruhi oleh nilai x periode sebelumnya hingga periode p . Kemudian, notasi umum model *moving average* dengan ordo q ($MA(q)$) adalah ARIMA ($0, 0, q$), dan berikut merupakan bentuk umumnya:

$$X_t = \mu' + e_t - \theta_1 e_{t-1} - \theta_2 e_{t-2} - \dots - \theta_q e_{t-k} \quad (27)$$

Dimana, μ' adalah konstanta, θ_1 sampai θ_q adalah parameter *moving average* dan e_{t-k} adalah nilai kesalahan pada $t - k$. Artinya, nilai X dipengaruhi oleh error dari variabel x tersebut.

Sedangkan bentuk umum dari model integreted dengan ordo d ($I(d)$) atau model ARIMA($0, d, 0$). integreted disini adalah menyatakan difference dari data. maksudnya bahwa dalam membuat model ARIMA syarat keharusan yang harus dipenuhi adalah stasioneritas data. apabila data stasioner pada level maka ordonya sama dengan 0, namun apabila stasioner pada different pertama maka ordonya 1, dan seterusnya.

Model ARIMA dibagi dalam 2 bentuk, yaitu model ARIMA tanpa musiman dan model ARIMA musiman. model ARIMA tanpa musiman merupakan model ARIMA yang tidak dipengaruhi oleh faktor waktu musim. bentuk umum dapat dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$(1 - B)(1 - \phi_1 B)X_t = \mu' + (1 - \theta_1 B)e_t \quad (28)$$

Sedangkan ARIMA musiman merupakan model ARIMA yang dipengaruhi oleh faktor waktu musim. model ini biasa disebut *Season ARIMA* (S-ARIMA), yang dinotasikan sebagai S-ARIMA(p, d, q)(P, D, Q)s. Bentuk umum model ini dinyatakan sebagai berikut.

$$(1 - B)(1 - B^{12})X_t = (1 - \theta_1 B)(1 - \Theta_1 B^{12})e_t \quad (29)$$

C. Ukuran Performansi

Evaluasi kinerja kelima metode peramalan dilakukan dengan menggunakan tiga ukuran kesalahan peramalan [7] yakni sebagai berikut:

1. *Adjusted Mean Absolute Percentage Error (A-MAPE) yang dimodifikasi*

Beberapa variasi MAPE telah diperkenalkan dalam literatur ilmiah, di antaranya adalah A-MAPE. A-MAPE merupakan salah satu jenis variasi MAPE yang paling banyak digunakan dalam membandingkan metode peramalan.

$$A - MAPE = \frac{\frac{\sum_{t=1}^N |A_t - F_t|}{N}}{\frac{\sum_{t=1}^N A_t}{N}} \quad (30)$$

2. Mean Error (ME)

Mean error (ME) adalah istilah informal yang biasanya mengacu pada rata-rata semua kesalahan dalam satu set kesalahan.

$$ME = \frac{\sum_{t=1}^N (A_t - F_t)}{N} \quad (31)$$

Skor sempurna, $ME = 0$, tidak mengecualikan perbedaan besar dan mengkompensasi kesalahan dari tanda yang berlawanan. Penting juga untuk diingat bahwa ME yang tidak nol tidak selalu menyiratkan "bias datar", yaitu kesalahan rata-rata yang tidak tergantung pada nilai perkiraan.

3. Mean Square Error (MSE)

Mean square error (MSE) adalah rata-rata kesalahan kuadrat diantara nilai aktual dan nilai peramalan.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (X_t - \hat{X}_t)^2 \quad (32)$$

D. Kebijakan Periodic Review (R,s,S)

Persediaan dalam konteks produksi dapat diartikan sebagai sumber daya yang menunggu untuk diproses lebih lanjut (*idle resource*). Persediaan dapat berupa bahan mentah, barang setengah jadi, maupun barang jadi, yang sengaja disediakan dan disimpan untuk diproses atau digunakan untuk memenuhi permintaan pelanggan setiap waktu. Pengendalian persediaan bahan baku dilakukan untuk mengurangi resiko ketidakmampuan perusahaan dalam memenuhi kebutuhan pelanggan, yang juga berdampak pada resiko kehilangan kesempatan memperoleh keuntungan yang seharusnya didapatkan.

Sistem *periodic review* adalah suatu aktivitas pengendalian permintaan dalam interval waktu (R) dengan jumlah pemesanan (Q) tetap. Ada dua jenis sistem *periodic review*, yaitu: (R,S) dan (R,s,S). Sistem (R,S) mempertimbangkan dua parameter, yaitu: *review interval*, dan *order-up-to-level* [17]. Sedangkan sistem (R,s,S) merupakan kebijakan pengendalian persediaan yang dilakukan dengan mempertimbangkan tiga parameter, yaitu: *review interval*, *reorder point*, dan *maximum inventory*. Namun, salah satu metode yang memberikan hasil terbaik untuk mengendalikan persediaan suku cadang adalah kebijakan *periodic review* (R,s,S). Dalam penelitian ini, kami menggunakan metode *Hadley-Within* untuk menentukan nilai parameter yang optimal. Adapun langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Hitung parameter T_o

$$T_o = \sqrt{\frac{2A}{D \cdot h}} \quad (33)$$

$$S_p = 0973\bar{x}_{R+L} + \sigma_{R+L} \left(\frac{0.183}{z} + 1.063 - 2.192z \right) \quad (34)$$

2. Hitung nilai α dan R

$$\alpha = \frac{T_o h}{cu} \quad (35)$$

$$R = DT_o + DL + Z_\alpha (\sqrt{T_o + L}) \quad (36)$$

$$\bar{x}_{R+L} = D(R + L) \quad (37)$$

Nilai Z_α diperoleh dari tabel Distribusi normal

3. Hitung total biaya persediaan

$$N = S(\sqrt{T_o + L}) \cdot [f(Z_\alpha - Z_\alpha \Psi(Z_\alpha))] \quad (38)$$

$$O_T = Dp + \frac{A}{T_o} + h \left(R - DL + \frac{DT_o}{2} \right) + \left(\frac{cu}{T} \times N \right) \quad (39)$$

Dan berikut adalah algoritma perhitungan parameter *reorder point* (s) dan *maximum level* (S). Hitung parameter Q_p dan S_p

$$Q_p = 1.30\bar{x}_R^{-0.494} \left(\frac{A}{vr} \right)^{0.506} \left(1 + \frac{\sigma_{R+L}^2}{1.30\bar{x}_R^2} \right)^{0.116} \quad (40)$$

$$S_p = 0973\bar{x}_{R+L} + \sigma_{R+L} \left(\frac{0.183}{z} + 1.063 - 2.192z \right) \quad (41)$$

Dimana,

$$z = \sqrt{\frac{Q_p r}{\sigma_{R+L} B_3}} \quad (42)$$

Dengan,

$$\bar{x}_R = DR \quad (43)$$

$$\bar{x}_{R+L} = D(R + L) \quad (44)$$

Jika $\frac{Q_p}{\bar{x}_R} > 1.5$, maka,

$$s = S_p \quad (45)$$

$$S = s_p + Q_p \quad (46)$$

Jika tidak, maka lanjutkan ke langkah 2

$$S_0 = \bar{x}_{R+L} + k\sigma_{R+L} \quad (47)$$

Dengan,

$$p_{\mu} \geq (k) = \frac{r}{B_3 + r} \quad (48)$$

Sehingga didapat nilai paramter sebagai berikut:

$$s = \min\{S_p, S_0\} \quad (49)$$

$$S = \min\{S_p + Q_p, S_0\} \quad (50)$$

Hasil dan Pembahasan

A. Peramalan Permintaan

Pada bagian ini metode *moving average* (MA), *weighted moving average* (WMA), *single exponential smoothing* (SES), Croston, Syntetos-Boylan *Approximation*, Holt-Winters, ARIMA dan *Neural Network Algorithm* digunakan untuk memperkirakan permintaan suku cadang untuk bisnis sektor produksi kayu lapis (PT XYZ). Berdasarkan analisis ADI-CV yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa dari daftar penggunaan 54 jenis suku cadang dalam satu tahun, 3 jenis suku cadang masuk kedalam kategory *lumpy demand* dan dipilih untuk dianalisis. Periode analisis dibagi menjadi 53 periode (dalam minggu), dimana 38 minggu pertama kami gunakan sebagai set percobaan, 15 minggu berikutnya digunakan sebagai set pengujian. Tabel 1 menunjukkan permintaan suku cadang selama satu tahun.

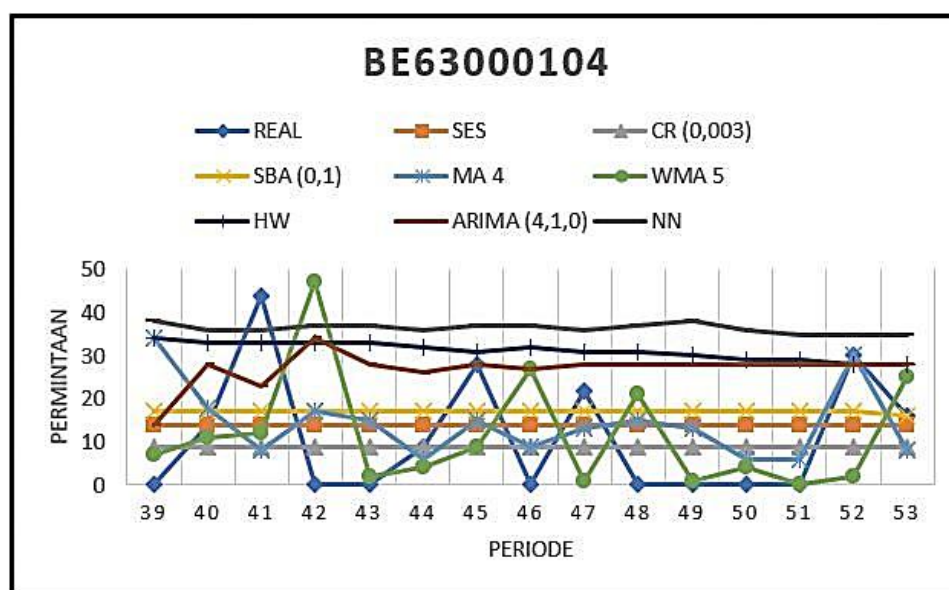
Produk BE63000104 merujuk pada Ball Bearing 6300, BVAL010102 adalah Ball Valve 1 Dim, sedangkan VBLT560304 adalah V-Belt A56. Produk dengan nilai *Average Demand Interval* (ADI) yang tinggi, seperti VBLT560304, biasanya mengalami permintaan yang jarang dan sporadis. Sebaliknya, produk dengan ADI rendah seperti BVAL010102 menunjukkan permintaan yang lebih konsisten dan reguler. Nilai *Coefficient of Variation* (CV) yang tinggi pada BE63000104 mengindikasikan variasi permintaan yang signifikan, yang mengharuskan penggunaan metode peramalan yang lebih fleksibel dan adaptif. Berdasarkan analisis ADI dan CV, ketiga produk ini dapat diklasifikasikan sebagai memiliki *lumpy demand*, yaitu pola permintaan yang tidak menentu dan sering dipicu oleh kegagalan sistem atau faktor kausal lainnya. Penelitian menyebutkan bahwa *lumpy demand* menantang untuk diprediksi dengan akurasi tinggi menggunakan metode konvensional. Oleh karena itu, metode peramalan seperti *Moving Average* (MA), *Weighted Moving Average* (WMA), *Single Exponential Smoothing* (SES), Croston, Syntetos-Boylan *Approximation* (SBA), Holt-Winters, dan ARIMA dievaluasi untuk mengidentifikasi metode yang paling efektif dalam meminimalkan kesalahan peramalan pada kondisi permintaan yang tidak stabil.

Tabel 1. Data historis permintaan suku cadang terpilih

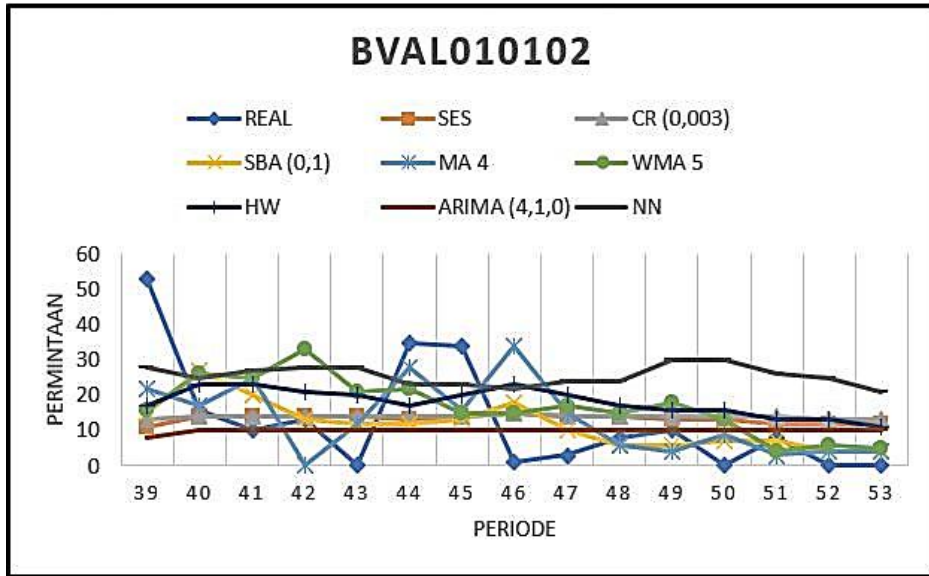
<i>Week</i>	BE63000104	BVAL010102	VBLT560304
1	0	0	0
2	5	0	0
3	114	13	0
4	664	22	1
5	0	23	99

Week	BE63000104	BVAL010102	VBLT560304
...
...
...
50	0	0	100
51	0	8	0
52	30	0	0
53	16	0	0
ADI	1,529	1,19	3,125
CV	2,816	1,09	1.676

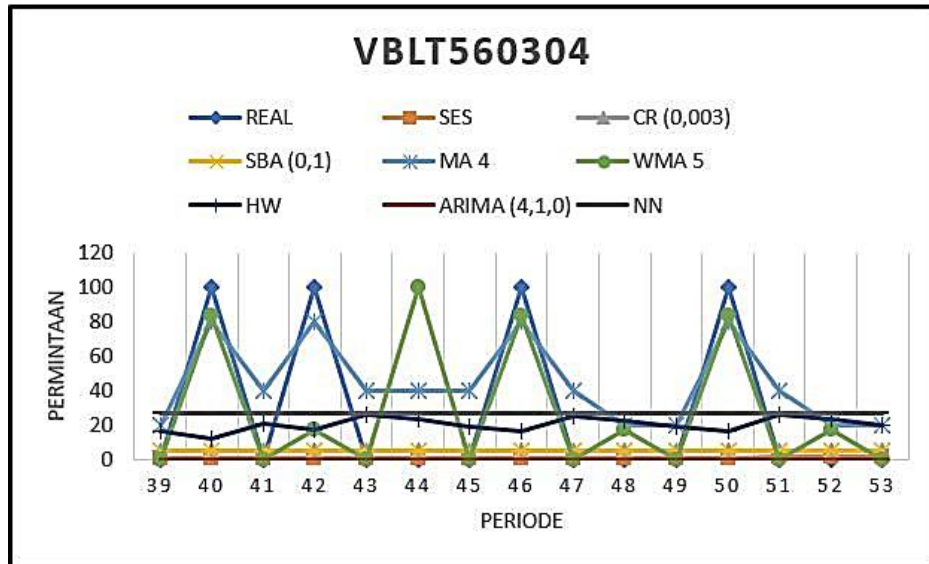
Sedangkan NN, dievaluasi pada set pelatihan untuk menemukan bobot yang tepat dengan menggunakan algoritma *back-propagation*. Secara khusus, NN yang digunakan memiliki 5 node input, 3 node tersembunyi dan 1 simpul output. Kelima node input terdiri dari nilai rata-rata, nilai maksimum, nilai minimum dari 5 periode terakhir, nilai penggunaan/konsumsi terakhir, dan jumlah periode dengan nol permintaan dalam 5 periode terakhir. Sedangkan simpul output, terdiri dari perkiraan untuk periode berikutnya. Fungsi aktivasi yang digunakan untuk simpul tersembunyi dan keluaran adalah fungsi sigmoid dengan $a = 1$ dan laju pembelajaran yang digunakan sama dengan 1. Untuk menghindari saturasi NN dan karena output (bernilai antara 0 dan 1), input (bernilai 1, 2, 3 dan 4) dan hasilnya bukan nilai sebenarnya tetapi nilai dibagi dengan konsumsi maksimum set pelatihan (jika dalam pengujian ada nilai maksimum lain itu diperbarui). Gambar 2 - 4 menunjukkan perbandingan hasil ramalan dengan data permintaan aktual.



Gambar 2. Perbandingan Hasil Peramalan Suku cadang BE63000104



Gambar 3. Perbandingan Hasil Peramalan Suku cadang BVAL010102



Gambar 4. Perbandingan Hasil Peramalan Suku cadang VBLT560304

Maka untuk mengevaluasi kinerja masing-masing metode, tolok ukur yang digunakan adalah A-MAPE, ME (*Mean Error*) dan MSE (*Mean Squared Error*).

B. Evaluasi Hasil Peramalan

Perkiraan MA, WMA, SES, CR, SBA, dan NN diuraikan dengan membuat tabel yang sesuai di Microsoft Excel. Sedangkan untuk Holt Winter, SES dan ARIMA, penelitian ini menggunakan perangkat lunak E-views 5.0 untuk menemukan koefisien yang meminimalkan kesalahan set pelatihan. Untuk SES, CR, SBA nilai-nilai koefisien yang berbeda diuji untuk menemukan koefisien yang meminimalkan A-MAPE pada set pelatihan. Periode MA dan WMA diuji dari rentang 2 hingga 5. Setiap periode WMA, bobot acak yang berbeda diuji dengan mempertahankan nilai A-MAPE minimum. Untuk HW dan ARIMA E-views 5.0 juga digunakan untuk menguraikan perkiraan. Dalam hal nilai perkiraan negatif, diasumsikan sama dengan nol. Untuk nilai ARIMA yang berbeda dari p, d, q diuji dan dipilih berdasarkan tolok ukur kinerja (A-MAPE) terbaik. Tabel berikut menunjukkan uraian hasil perkiraan dari setiap metode. Untuk SES, CR dan SBA angka

kurung mengacu pada koefisien yang digunakan, sedangkan untuk MA dan WMA hanya periode dengan hasil terbaik yang diekspos. Semua perkiraan desimal dibulatkan ke bilangan bulat terdekat. Tabel 2 – 4 menunjukkan A-MAPE, ME sebuah MSE untuk setiap kombinasi suku cadang metode peramalan.

Tabel 2. Nilai A-MAPE dari tiap metode peramalan

Kode	ADI	CV	A-MAPE							
			MA	WMA	SES	CR	SBA	HW	ARIMA	NN
BE63000104	1,529	2,816	1,31	1,39	1,15	1,06	1,25	2,02	2,48	2,45
BVAL010102	1,19	1,09	1,04	1,08	0,94	0,96	0,84	1,13	0,77	1,51
VBLT560304	3,125	1,676	1,65	0,67	1,03	1,09	1,09	1,45	1	1,48

Tabel 3. Nilai ME dari tiap metode peramalan

Kode	ADI	CV	ME							
			MA	WMA	SES	CR	SBA	HW	ARIMA	NN
BE63000104	1,529	2,816	-4,33	-0,67	-2,47	2,47	-4,53	-31,47	-16,07	-25,5
BVAL010102	1,19	1,09	-2,57	-4	-3,33	-3,8	-1,4	38,53	2,87	-12,8
VBLT560304	3,125	1,676	-1,33	0	25,55	22	22	-20,33	26,67	-0,6

Tabel 4. Nilai MSE dari tiap metode peramalan

Kode	ADI	CV	MSE							
			MA	WMA	SES	CR	SBA	HW	ARIMA	NN
BE63000104	1,529	2,816	266,6	411,6	191,67	165,13	209,33	974,53	474,07	855
BVAL010102	1,19	1,09	275,8	245,4	129,07	133,13	118,33	1426	253,93	406,42
VBLT560304	3,125	1,676	2480	1222,3	2614,87	2423,33	2423,33	419,93	2666,67	1970,6

Nilai A-MAPE yang rendah menunjukkan bahwa model ramalan memiliki akurasi yang tinggi, karena kesalahan ramalan terhadap nilai aktual relatif lebih kecil. Sebaliknya, nilai A-MAPE yang tinggi menunjukkan adanya kesalahan persentase yang besar dalam ramalan. Tabel 2 menunjukkan bahwa peningkatan ketidakstabilan permintaan (nilai CV tinggi) dapat mengurangi akurasi ramalan dan menyulitkan penentuan metode peramalan yang efektif. Dalam penelitian ini, hanya suku cadang kedua, yang memiliki nilai CV lebih rendah dibandingkan yang lainnya, menunjukkan hasil yang dapat dianggap cukup baik. Untuk suku cadang ketiga, hanya metode WMA yang menghasilkan hasil yang baik. Sementara itu, suku cadang pertama, yang memiliki nilai CV terbesar, tidak menunjukkan adanya metode dengan A-MAPE kurang dari 1. Oleh karena itu, untuk memperoleh hasil yang lebih baik, disarankan untuk mengelompokkan suku cadang berdasarkan periode bulanan dan menggunakan data yang mencakup lebih dari satu tahun. Alternatif lain adalah mencoba metode peramalan yang berbeda, seperti jenis jaringan saraf lainnya, yang mungkin memberikan kinerja yang lebih baik dalam kasus ini. Secara umum, ketika nilai CV sangat tinggi dan koefisien SES, CR, serta SBA yang digunakan untuk meminimalkan kesalahan sangat kecil, hasil ramalan cenderung menjadi lebih konstan.

Nilai *Mean Error* (ME) yang mendekati nol menunjukkan bahwa model ramalan tidak memiliki bias sistematis, artinya ramalan secara rata-rata tidak terlalu tinggi atau rendah dibandingkan dengan nilai aktual. Sebaliknya, ME yang jauh dari nol menunjukkan adanya bias dalam model ramalan. Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai ME cenderung negatif untuk sebagian besar metode, yang berarti model ramalan sering kali memberikan hasil yang lebih rendah daripada nilai aktual, dengan variasi yang signifikan antar metode. Bias dalam ramalan umumnya meningkat seiring dengan peningkatan nilai ADI dan CV. Nilai ADI yang tinggi, seperti pada VBLT560304 (3,125), yang menunjukkan permintaan yang sangat bervariasi, sering kali menimbulkan bias yang lebih besar. Selain itu, CV yang lebih tinggi, seperti pada BE63000104 (2,816), cenderung menimbulkan bias yang lebih besar karena fluktuasi permintaan yang lebih

tinggi dapat menyebabkan kesalahan ramalan yang lebih signifikan, Oleh karena itu, dalam pemilihan metode peramalan, penting untuk memahami hubungan antara ADI, CV, dan bias untuk meningkatkan akurasi hasil ramalan.

MSE yang rendah menunjukkan bahwa model memiliki kesalahan ramalan yang kecil dan lebih konsisten. MSE yang tinggi menunjukkan bahwa ada kesalahan ramalan yang signifikan, dengan penalti lebih berat untuk kesalahan yang lebih besar. Berdasarkan rekap nilai MSE pada Tabel 4, diketahui bahwa semakin tinggi nilai ADI, semakin tinggi pula kesalahan ramalan.

Jika ditinjau dari nilai A-MAPE, metode ARIMA mengungguli metode lain untuk suku cadang BVAL010102, untuk suku cadang BE63000104 metode Croston memberikan hasil terbaik, sedangkan WMA memberikan hasil ramalan yang sangat baik untuk suku cadang VBLT560304. Namun, jika dilihat dari nilai MSE, metode yang paling unggul untuk suku cadang BVAL010102 adalah SBA, sedangkan untuk suku cadang VBLT560304 adalah HW. Hal ini menunjukkan bahwa nilai A-MAPE tidak selalu linier dengan MSE. Ini terjadi karena keduanya mengukur kesalahan ramalan dengan cara yang berbeda. A-MAPE tepat digunakan untuk menilai kesalahan dalam konteks relatif terhadap nilai aktual, terutama ketika penting mempertimbangkan proporsi kesalahan. Misalnya, pada data dengan rentang nilai yang luas atau ketika fokus pada persentase kesalahan tanpa terpengaruh oleh skala data. Sebaliknya, MSE lebih cocok digunakan ketika fokus pada kesalahan absolut dan perhatian terhadap *outlier* atau kesalahan besar, karena MSE memperbesar dampak kesalahan besar melalui perhitungan kuadratnya, sehingga setiap kesalahan besar diperhitungkan dengan serius. Dalam konteks pola permintaan lumpy, penggunaan MSE lebih disarankan dibandingkan A-MAPE. Hal ini karena MSE lebih sensitif terhadap outlier dan memberikan bobot lebih besar pada kesalahan besar, yang umum terjadi pada pola permintaan lumpy yang tidak teratur. A-MAPE, di sisi lain, bisa menjadi kurang efektif karena dapat memberikan hasil yang menyesatkan saat menangani data dengan banyak nol atau permintaan yang sangat sporadis. Sehingga, dalam kasus ini metode peramalan dipilih berdasarkan nilai MSE.

Secara umum, metode HW dan NN memberikan hasil yang buruk dibandingkan dengan metode lain. Untuk yang pertama, alasannya mungkin karena HW berguna ketika ada tren musiman dan, dalam kasus ini, tidak ada tren musiman yang dapat ditemukan. Sedangkan untuk NN memiliki beberapa alasan berbeda. Pertama, penggunaan NN yang terlalu sederhana untuk kompleksitas dataset. Kedua, kebutuhan pelatihan yang lebih luas jika CV begitu tinggi. Ketiga, kurangnya inputan lain, seperti situasi perawatan mesin, yang membuat NN mengungguli metode lain.

C. Kebijakan Pengendalian Persediaan dengan Metode Periodic Review (R,s,S)

Penentuan parameter (R,s,S) dilakukan berdasarkan hasil ramalan permintaan masing-masing suku cadang yang telah dilakukan sebelumnya. Pertama, metode Hadley-Within digunakan untuk menentukan nilai *review interval* (R) yang paling optimal. Setelah dilakukan perhitungan, maka didapatkan rekap hasil pada Tabel 5 – 7.

Tabel 5. Perbandingan total biaya persediaan BE63000104

Iterasi ke-	Periode tinjauan (R)	Tingkat persediaan (S)	Total biaya persediaan (O_t)	Keterangan
0 (Real)	0,0780	15	Rp 312.322,837	Optimal
1	0,0114	9,1060	Rp 154.515,097	
2	0,0104	9,0847	Rp 164.012,015	
3	0,0094	9,0449	Rp 178.619,173	
4	0,0084	9,0235	Rp 176.981,394	
5	0,0074	9,0065	Rp 162.477,222	
6	0,0064	8,9939	Rp 165.721,886	
7	0,0054	8,9540	Rp 178.972,214	

Tabel 6. Perbandingan total biaya persediaan BVAL010102

Iterasi ke-	Periode tinjauan (R)	Tingkat persediaan (S)	Total biaya persediaan (O_t)	Keterangan
0 (Real)	0,0780	15	Rp 212.322,837	Optimal
1	0,0199	4,1078	Rp 83.917,817	
2	0,0189	4,0924	Rp 95.219,002	
3	0,0179	4,0909	Rp 117.281,182	
4	0,0169	4,0846	Rp 119.727,901	
5	0,0159	4,0691	Rp 91.912,172	

Tabel 7. Perbandingan total biaya persediaan VBLT560304

Iterasi ke-	Periode tinjauan (R)	Tingkat persediaan (S)	Total biaya persediaan (O_t)	Keterangan
0 (Real)	0,0780	15	Rp 312.322,837	Optimal
1	0,0171	7,9518	Rp 231.182,016	
2	0,0161	7,9184	Rp 252.919,810	
3	0,0151	7,8989	Rp 285.721,712	
4	0,0141	7,8747	Rp 287.838,115	
5	0,0131	7,8550	Rp 262.514,261	
6	0,0121	7,8353	Rp 265.938,221	
7	0,0111	7,8017	Rp 272.716,701	
8	0,0101	7,7819	Rp 279.112,281	

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa waktu *review interval* pemesanan optimal suku cadang BE63000104 sebesar 0,0114 bulan dengan jumlah persediaan maksimum yang diharapkan sebesar 9 unit, dengan total biaya persediaan yang ditimbulkan sebesar Rp 154.515,097. Untuk suku cadang BVAL010102, pemesanan optimal dilakukan pada *review interval* 0,0199 bulan dengan jumlah persediaan maksimum yang diharapkan sebesar 4 unit, sehingga total biaya persediaan yang timbul sebesar Rp 83.917,817. Sedangkan, suku cadang VBLT560304 dilakukan *review* pemesanan pada selang waktu 0,0171 bulan dengan jumlah persediaan maksimal sebesar 8 unit, dan total biaya persediaan sebesar Rp 231.182,016. Selanjutnya, kita perlu mencari parameter (s), dan berikut hasil rekapitulasinya (lihat Tabel 8).

Tabel 8. Hasil parameter (R,s,S) kondisi usulan

No	Nama Suku Cadang	Usulan		
		R	s	S
1.	BE63000104	1	5	9
2.	BVAL010102	1	2	4
3.	VBLT560304	1	6	8

Kesimpulan

Penelitian ini berfokus pada penyelesaian masalah peramalan dan pengendalian persediaan suku cadang pada PT XYZ. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa waktu *review interval* pemesanan optimal suku cadang BE63000104 sebesar 0,0014 bulan dengan jumlah persediaan maksimum yang diharapkan sebesar 9 unit, dengan total biaya persediaan yang ditimbulkan sebesar Rp 154.515,097. Untuk suku cadang BVAL010102, pemesanan optimal dilakukan pada *review interval* 0,0199 bulan dengan jumlah persediaan maksimum yang diharapkan sebesar 4 unit, sehingga total biaya persediaan yang timbul sebesar Rp 83.917,817. Sedangkan, suku cadang VBLT560304 dilakukan *review* pemesanan pada selang waktu 0,0171 bulan dengan jumlah persediaan maksimal sebesar 8 unit dan total biaya persediaan sebesar Rp 231.182,016.

Daftar Pustaka

- [1] A. Bacchetti and N. Saccani, *Spare parts classification and demand forecasting for stock control: Investigating the gap between research and practice*, vol. 40. 2012.
- [2] A. A. Syntetos, J. E. Boylan, and J. D. Croston, "On the categorization of demand patterns," *J. Oper. Res. Soc.*, vol. 56, no. 5, pp. 495–503, May 2005, doi: 10.1057/palgrave.jors.2601841.
- [3] T. R. Willemain, C. N. Smart, and H. F. Schwarz, "A new approach to forecasting intermittent demand for service parts inventories," *Int. J. Forecast.*, vol. 20, no. 3, pp. 375–387, Jul. 2004, doi: 10.1016/S0169-2070(03)00013-X.
- [4] M. Kalchschmidt, G. Zotteri, and R. Verganti, *Inventory management in a multi-echelon spare parts supply chain*, vol. 82. 2003.
- [5] A. Ghobbar and C. H. Friend, *Evaluation of forecasting methods for intermittent parts demand in the field of aviation: A predictive model*, vol. 30. 2003.
- [6] E. Bartezzaghi, R. Verganti, and G. Zotteri, *A simulation framework for forecasting uncertain lumpy demand - Issues and analysis*, vol. 59. 1999.
- [7] S. Makridakis, S. C. Wheelwright, and R. Hyndman, "Forecasting: Methods and Applications," in *The Journal of the Operational Research Society*, vol. 35, 1984.
- [8] Gumawan and Marwan, *Anggaran Perusahaan*. Yogyakarta: BPFE, 2004.
- [9] L. Sumayang, *Dasar-Dasar Manajemen Produksi dan Operasi*. Jakarta: Salemba Empat, 2003.
- [10] A. Nasution and Prasetyawan, *Perencanaan dan Pengendalian Produksi*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2008.
- [11] J. L. Whitten, L. D. Bentley, and K. Dittman, *Systems Analysis and Design Methods*. 1997.
- [12] V. Gaspersz, *Production Planning and Inventory Control*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 2005.
- [13] P. Subagyo, *Forecasting Konsep dan Aplikasi*. Jakarta: BPFE, 2002.
- [14] L. Arsyad, *Peramalan Bisnis*. Yogyakarta: BPFE, 2001.
- [15] Render and Hizer, *Prinsip-Prinsip Manajemen Operasi*. Jakarta: Salemba Empat, 2005.
- [16] E. Levén and A. Segerstedt, "Inventory control with a modified Croston procedure and Erlang distribution," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 90, no. 3, pp. 361–367, Aug. 2004, doi: 10.1016/S0925-5273(03)00053-7.
- [17] R. J. Tersine, *Principles of Inventory and Materials Management*. Prentice Hall, 1994.