



Optimasi Persediaan Produk Pipa dengan Karakter Permintaan *Lumpy Intermitten* di Industri Manufaktur

Harno Suntoko¹, Muhamad Abdul Jumali^{1✉}

⁽¹⁾Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas PGRI Adi Buana Surabaya, Surabaya, Indonesia

DOI: 10.31004/jutin.v9i2.56390

✉ Corresponding author:
[abduljumali@unipasby.ac.id]

Article Info

Abstrak

Kata kunci:
industri manufaktur;
pengendalian persediaan;
permintaan intermiten;
reorder point;
safety stock

Penelitian ini merumuskan kebijakan pengendalian persediaan yang dioptimalkan untuk produk pipa dengan karakter permintaan intermiten pada perusahaan manufaktur di Surabaya. Data permintaan bulanan periode Januari–Desember 2024 dianalisis menggunakan *Average Demand Interval* (ADI) dan *Coefficient of Variation Squared* (CV^2) untuk mengidentifikasi pola permintaan. Hasil analisis menunjukkan nilai ADI sebesar 2,6 dan CV^2 sebesar 0,82 yang mengonfirmasi kategori *lumpy intermittent demand*. Berdasarkan klasifikasi tersebut, parameter persediaan dihitung dengan mempertimbangkan lead time 15 hari. Kebijakan yang diusulkan menghasilkan *safety stock* sebesar 18 unit dan *Reorder Point* (ROP) sebesar 25 unit pada tingkat layanan 95%. Penerapan pendekatan terintegrasi antara klasifikasi permintaan dan kebijakan persediaan menurunkan total biaya persediaan tahunan sebesar 21,7% serta meningkatkan tingkat ketersediaan material dari 89% menjadi 95%. Temuan ini menegaskan bahwa keputusan persediaan berbasis karakteristik permintaan memberikan perbaikan operasional dan ekonomi yang terukur pada lingkungan manufaktur berbasis proyek.

Keywords:
inventory control;
intermittent demand;
reorder point;
safety stock;
manufacturing industry

Abstract

This study develops an optimized inventory control policy for pipe products characterized by intermittent demand in a manufacturing company in Surabaya. Monthly demand data from January to December 2024 were analyzed using the Average Demand Interval (ADI) and the Coefficient of Variation Squared (CV^2) to classify demand behavior. The results indicate an ADI of 2.6 and a CV^2 of 0.82, confirming a lumpy intermittent demand pattern. Based on this classification, inventory parameters were determined for a 15-day lead time. The proposed policy yields a safety stock of 18 units and a reorder point of 25 units at a 95% service

level. Implementation of the integrated forecasting–inventory approach reduces annual inventory costs by 21.7% and improves material availability from 89% to 95%. Findings demonstrate that demand classification-based inventory decisions provide measurable operational and economic improvements for project-oriented manufacturing environments.

1. PENDAHULUAN

Pengendalian persediaan merupakan fungsi operasional strategis yang berpengaruh langsung terhadap efisiensi biaya dan tingkat pelayanan dalam perusahaan manufaktur. Keputusan terkait waktu pemesanan dan kuantitas persediaan menentukan keseimbangan antara risiko kehabisan stok dan akumulasi biaya penyimpanan. Produk dengan pola permintaan stabil memungkinkan perusahaan menggunakan pendekatan berbasis rerata historis atau model deterministik konvensional. Kompleksitas meningkat ketika perusahaan menghadapi item Situasi tersebut umum terjadi pada industri manufaktur berbasis proyek, termasuk industri pipa, yang volumenya sangat dipengaruhi oleh jadwal konstruksi, proses tender, dan dinamika perubahan rencana lapangan.

Karakter operasional industri pipa berbeda dari industri barang konsumsi cepat. Permintaan tidak terbentuk secara konsisten setiap bulan, melainkan terkonsentrasi pada fase tertentu ketika proyek dimulai dan dapat berhenti sepenuhnya pada periode berikutnya. Pola tersebut menempatkan perusahaan pada dua kondisi ekstrem, yaitu kekurangan stok saat proyek berjalan mendadak atau kelebihan persediaan ketika pelaksanaan proyek tertunda. Praktik di lapangan menunjukkan bahwa keputusan persediaan sering didasarkan pada pengalaman individual dan kebiasaan historis, bukan pada evaluasi kuantitatif yang mempertimbangkan sifat statistik permintaan. Konsekuensinya berupa potensi pemborosan biaya dan meningkatnya risiko gangguan layanan.

Literatur manajemen operasi mengklasifikasikan permintaan yang jarang dan tidak teratur sebagai permintaan intermiten. Kategori ini dibedakan lebih lanjut menjadi intermittent dan lumpy menggunakan dua indikator utama, yaitu *Average Demand Interval* (ADI) dan *Coefficient of Variation Squared* (CV^2). ADI merepresentasikan jarak rata-rata antar periode dengan permintaan positif, sedangkan CV^2 mencerminkan besarnya variasi relatif terhadap nilai rata-rata permintaan (Baisariyev et al., 2021; Hernando et al., 2025; Rožanec et al., 2022). Kombinasi ADI tinggi dan CV^2 besar mengindikasikan permintaan yang jarang sekaligus sangat fluktuatif. Kondisi tersebut tidak memenuhi asumsi permintaan kontinu yang menjadi dasar berbagai model peramalan dan kebijakan persediaan konvensional.

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa metode peramalan tradisional seperti *moving average* dan *simple exponential smoothing* menghasilkan tingkat kesalahan yang tinggi ketika diterapkan pada data intermiten. Dominasi periode nol dan lonjakan permintaan yang sulit diprediksi menyebabkan pendekatan agregatif kehilangan sensitivitas terhadap struktur data (Jumali et al., 2023; Pinçe et al., 2021; Zhuang et al., 2022). Ketidakakuratan peramalan berdampak langsung pada keputusan persediaan. Penetapan stok yang terlalu rendah meningkatkan risiko *stockout*, sedangkan kebijakan yang terlalu agresif dalam menambah persediaan memperbesar biaya simpan serta risiko barang tidak bergerak.

Metode Croston dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan tersebut dengan memisahkan estimasi ukuran permintaan dan interval antar permintaan (Ahmadov et al., 2023). Pendekatan ini menjadi fondasi bagi varian seperti *Syntetos–Boylan Approximation* (SBA) dan *Teunter–Syntetos–Babai* (TSB). Bukti empiris menunjukkan bahwa metode tersebut secara konsisten menghasilkan kesalahan yang lebih rendah dibandingkan metode konvensional pada data intermiten, terutama ketika diukur menggunakan MAE, RMSE, dan MAPE (Clapano et al., 2022; Das, 2025; Jumali et al., 2019; Rožanec et al., 2022; Sattar et al., 2025). Keunggulan tersebut menjadikan Croston dan turunannya direkomendasikan sebagai pendekatan awal untuk menangani permintaan sporadis.

Literatur juga menekankan bahwa peningkatan akurasi peramalan tidak otomatis menghasilkan perbaikan kinerja persediaan. Manfaat peramalan akan optimal apabila diintegrasikan langsung ke dalam kebijakan pengendalian persediaan, khususnya dalam penetapan *Reorder Point* (ROP) dan *safety stock*. Sejumlah kajian mengidentifikasi adanya kesenjangan antara penelitian peramalan dan praktik *inventory control*, karena kedua aspek tersebut sering dibahas secara terpisah (Goltsos et al., 2022). Kondisi tersebut memungkinkan perusahaan memiliki ramalan yang relatif akurat namun tetap mengambil keputusan pemesanan yang tidak selaras dengan tingkat ketidakpastian permintaan.

Fenomena kesenjangan tersebut masih terlihat pada industri pipa di negara berkembang, termasuk Indonesia. Banyak perusahaan masih menggunakan rata-rata historis dan pertimbangan pengalaman dalam

menentukan titik pemesanan ulang serta jumlah persediaan. Penelitian empiris yang secara eksplisit mengklasifikasikan pola permintaan pipa sebagai intermiten dan mengaitkannya dengan perhitungan ROP serta *safety stock* berbasis probabilistik masih terbatas. Sejumlah studi berhenti pada analisis peramalan tanpa mengevaluasi dampaknya terhadap total biaya persediaan dan tingkat ketersediaan material secara terintegrasi.

Research gap yang muncul terletak pada minimnya bukti empiris yang menghubungkan klasifikasi permintaan intermiten dengan keputusan pengendalian persediaan pada produk pipa di tingkat perusahaan. Literatur internasional telah mengonfirmasi keunggulan metode peramalan intermiten, sedangkan praktik industri lokal masih didominasi pendekatan intuitif yang mengabaikan karakter statistik permintaan. Disparitas tersebut membuka ruang penelitian untuk menjembatani teori dan praktik melalui studi kasus berbasis data riil perusahaan.

Kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan pendekatan terstruktur yang mengintegrasikan klasifikasi permintaan dan kebijakan persediaan. Klasifikasi pola permintaan dilakukan secara eksplisit menggunakan indikator ADI dan CV^2 sehingga pemilihan kebijakan memiliki landasan numerik yang terukur. Hasil klasifikasi dimanfaatkan dalam perhitungan *safety stock* dan *Reorder Point* sesuai tingkat layanan yang ditetapkan. Dampak implementasi kebijakan berbasis permintaan intermiten dievaluasi melalui perbandingan biaya persediaan dan tingkat ketersediaan material sebelum dan sesudah penerapan.

Penelitian ini memberikan kontribusi empiris terhadap pengembangan pengendalian persediaan pada konteks permintaan intermiten sekaligus menawarkan implikasi praktis bagi industri pipa. Temuan yang dihasilkan menyediakan dasar perumusan kebijakan persediaan yang lebih rasional, berbasis data, dan konsisten dengan karakter permintaan aktual, tanpa bergantung pada asumsi stabilitas permintaan yang tidak sesuai dengan realitas operasional.

2. METODE

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif dengan desain studi kasus pada satu perusahaan manufaktur pipa di Surabaya. Pendekatan kuantitatif digunakan untuk memastikan bahwa seluruh proses analisis dilakukan berbasis pengukuran numerik yang terstruktur, terverifikasi, dan dapat direplikasi. Fokus analisis mencakup identifikasi karakteristik statistik permintaan, evaluasi performa metode peramalan, serta formulasi parameter kebijakan persediaan berbasis model matematis. Desain studi kasus dipilih untuk memungkinkan eksplorasi mendalam terhadap data operasional aktual perusahaan. Hubungan kausal antara pola permintaan, model peramalan, parameter pengendalian persediaan, serta implikasi biaya dianalisis secara terintegrasi dalam satu sistem keputusan operasional.

Unit analisis difokuskan pada satu item pipa baja diameter 2 inci yang digunakan dalam proyek konstruksi dan instalasi utilitas. Produk tersebut memiliki nilai unit relatif tinggi, frekuensi permintaan rendah, serta variabilitas antar periode yang signifikan. Karakteristik tersebut menjadikan item ini sesuai untuk dianalisis dalam lingkup *intermittent demand*.

Pengumpulan data dilakukan pada gudang dan departemen *Production Planning and Inventory Control* (PPIC). Ruang lingkup penelitian dibatasi pada sistem pengendalian persediaan internal perusahaan. Variabel eksternal seperti kebijakan pemasok, kontrak pelanggan, serta dinamika pasar tidak dimasukkan dalam model analisis. Data penelitian terdiri atas (1) Data permintaan bulanan periode Januari–Desember 2024, (2) Data stok awal dan stok akhir per bulan, (3) Data *lead time* pemasok, (4) Data biaya persediaan, (5) Komponen biaya pemesanan per order (S), dan biaya simpan per unit per tahun (H). Data operasional diperoleh dari arsip PPIC dan gudang. Data biaya diverifikasi melalui bagian pembelian dan akuntansi berdasarkan dokumen logistik perusahaan.

Karakteristik permintaan dianalisis menggunakan dua indikator utama, yaitu *Average Demand Interval* (ADI) dan *Coefficient of Variation Squared* (CV^2).

$$ADI = \frac{T}{N_z} \dots\dots\dots(1)$$

dengan:

- ADI = jarak rata-rata antarperiode permintaan total
- T = periode pengamatan
- Nz = jumlah periode dengan permintaan non-nol

$$CV^2 = \left(\frac{\sigma}{\mu}\right)^2 \dots\dots\dots(2)$$

dengan:

- CV² = yang mengukur varians relatif dari suatu kumpulan data
- σ = simpangan baku permintaan
- μ = rata-rata permintaan

Nilai ADI dan CV² dibandingkan dengan batas klasifikasi:

- ADI ≤ 1,32 dan CV² ≤ 0,49 → *smooth*
- ADI ≤ 1,32 dan CV² > 0,49 → *erratic*
- ADI > 1,32 dan CV² ≤ 0,49 → *intermittent*
- ADI > 1,32 dan CV² > 0,49 → *lumpy*

Klasifikasi ini menjadi dasar pemilihan model peramalan.

Permintaan yang teridentifikasi sebagai intermiten dianalisis menggunakan metode Croston. Model ini memisahkan dua komponen yaitu (z_t) = ukuran permintaan saat terjadi dan (p_t) = interval antar permintaan. Pemutakhiran dilakukan menggunakan pemulusan eksponensial:

$$\hat{z}_t = \hat{z}_{t-1} + \alpha(z_t - \hat{z}_{t-1}) \dots\dots\dots(3)$$

$$\hat{p}_t = \hat{p}_{t-1} + \alpha(p_t - \hat{p}_{t-1}) \dots\dots\dots(4)$$

Ramalan permintaan per periode dihitung sebagai:

$$\hat{D}_t = \frac{\hat{z}_t}{\hat{p}_t} \dots\dots\dots(5)$$

Parameter pemulusan α diuji pada dua skenario, yaitu 0,1 dan 0,2 untuk mengukur sensitivitas model terhadap dinamika data.

Kinerja model dievaluasi menggunakan tiga metrik kesalahan:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum |D_t - \hat{D}_t| \dots\dots\dots(6)$$

$$RSME = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (D_t - \hat{D}_t)^2} \dots\dots\dots(7)$$

$$MAPE = \frac{100\%}{n} \sum \left| \frac{D_t - \hat{D}_t}{D_t} \right| \dots\dots\dots(8)$$

Perhitungan MAPE dilakukan hanya pada periode dengan permintaan non-nol. Model Croston dibandingkan dengan metode rata-rata historis:

$$\hat{D} = \frac{\sum D_t}{n} \dots\dots\dots(9)$$

Permintaan rata-rata selama *lead time* sebagai berikut :

$$\mu_L = \mu_d \times L \dots\dots\dots(10)$$

dengan:

- μ_d = rata-rata permintaan harian
- L = *lead time* (hari)

Simpangan baku selama *lead time*:

$$\sigma_L = \sigma_d \sqrt{L} \dots\dots\dots(11)$$

Safety stock dihitung dengan pendekatan probabilistik:

$$SS = Z \times \sigma_L \dots\dots\dots(12)$$

Z untuk tingkat layanan 95% sebesar 1,65.

Reorder Point (ROP) dirumuskan sebagai berikut:

$$ROP = \mu_L + SS \dots\dots\dots(13)$$

Model Economic Order Quantity (EOQ) digunakan untuk menentukan ukuran lot optimal:

$$EOQ \dots = \sqrt{\frac{2DS}{H}} \dots\dots\dots(14)$$

dengan:

- D = permintaan tahunan
- S = biaya pemesanan
- H = biaya simpan per unit per tahun

Total biaya persediaan:

$$TC = \frac{D}{Q}S + \frac{Q}{2}H \dots\dots\dots(15)$$

Perbandingan dilakukan antara kebijakan awal perusahaan dan kebijakan berbasis Croston-ROP-EOQ.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Statistik dan Klasifikasi Permintaan

Data permintaan bulanan produk pipa baja diameter 2 inci selama periode Januari–Desember 2024 menunjukkan dominasi periode tanpa permintaan. Dari total 12 periode observasi, hanya lima periode mencatat permintaan positif, sedangkan tujuh periode bernilai nol. Proporsi periode tanpa permintaan mencapai 58,3%, yang mengindikasikan pola tidak kontinu.

Nilai *Average Demand Interval* dihitung sebagai:

$$ADI = \frac{12}{5} = 2,6$$

Nilai ADI lebih besar dari 1,32, sehingga frekuensi permintaan dikategorikan jarang atau produk ini bukan *fast-moving item*, melainkan item dengan jarak antar permintaan cukup panjang. Kondisi ini menyebabkan sistem persediaan harus mempertimbangkan risiko periode tanpa permintaan yang cukup lama.

Rata-rata permintaan (μ) dan simpangan baku (σ) menghasilkan nilai:

$$CV^2 = \left(\frac{\sigma}{\mu}\right)^2 = 0,82$$

Nilai CV^2 lebih besar dari 0,49, yang menunjukkan tingkat variabilitas relatif tinggi. Kombinasi $ADI > 1,32$ dan $CV^2 > 0,49$ menempatkan produk dalam kategori *lumpy intermittent demand*. Klasifikasi ini memiliki implikasi langsung terhadap kebijakan persediaan. Model deterministik berbasis rata-rata tidak memadai karena tidak mampu merepresentasikan jarak antar permintaan dan variabilitas ukuran permintaan secara simultan.

Evaluasi Kinerja Model Peramalan

Metode rata-rata historis sederhana menghasilkan performa sebagai berikut:

$$MAE \approx 13$$

$$RMSE \approx 17$$

$$MAPE \approx 47\%$$

Nilai MAPE mendekati 50% menunjukkan ketidaktepatan model dalam menangkap struktur data intermiten. Dominasi nilai nol menyebabkan rata-rata menjadi bias dan tidak responsif terhadap lonjakan permintaan aktual. Model Croston diuji dengan dua parameter pemulusan.

Untuk $\alpha = 0,1$:

$$MAE \approx 11,6$$

$$RMSE \approx 15,2$$

$$MAPE \approx 40,2\%$$

Untuk $\alpha = 0,2$:

$$MAE \approx 10,9$$

$$RMSE \approx 14,1$$

$$MAPE \approx 36-38\%$$

Parameter $\alpha = 0,2$ menghasilkan kesalahan terendah. Penurunan MAPE lebih dari 20% secara relatif dibanding metode perusahaan menunjukkan peningkatan presisi estimasi permintaan rata-rata per periode. Perbaikan ini konsisten dengan teori bahwa pemisahan estimasi ukuran permintaan dan interval antarpermintaan meningkatkan kemampuan model dalam menangkap dinamika *permintaan lumpy*.

Perhitungan Parameter Pengendalian Persediaan

Model Croston dengan $\alpha = 0,2$ digunakan sebagai dasar perhitungan kebijakan persediaan. Permintaan rata-rata harian:

$$\mu_d = \frac{\mu_{\text{bulanan}}}{30}$$

Lead time pemasok (L) = 15 hari.

Permintaan rata-rata selama lead time:

$$\mu_L = \mu_d \times 15$$

Hasil estimasi menunjukkan:

$$\mu_L \approx 6-8 \text{ unit}$$

Simpangan baku selama lead time:

$$\sigma_L = \sigma_d \sqrt{15}$$

Nilai yang diperoleh:

$$\sigma_L \approx 10-11 \text{ unit}$$

Nilai simpangan baku yang lebih besar dari rata-rata menunjukkan tingkat ketidakpastian signifikan.

Safety stock dihitung sebagai:

$$SS = Z \times \sigma_L$$

Dengan $Z = 1,65$ (service level 95%):

$$SS \approx 18 \text{ unit}$$

Reorder Point:

$$ROP = \mu_L + SS$$

$$ROP \approx 25 \text{ unit}$$

Nilai ROP ini berarti pemesanan ulang harus dilakukan ketika persediaan turun ke 25 unit untuk menjaga probabilitas stockout tidak melebihi 5% selama lead time.

Optimasi Ukuran Lot dan Total Biaya

a. Permintaan tahunan dihitung sebagai:

$$D = 12 \times \mu_{\text{bulanan}}$$

Biaya pemesanan per order = S

Biaya simpan per unit per tahun = H

b. Economic Order Quantity:

$$EOQ = \sqrt{\frac{2DS}{H}}$$

c. Hasil perhitungan menunjukkan:

$$EOQ \approx 40-41 \text{ unit}$$

Kondisi awal perusahaan menggunakan lot sekitar 20 unit per order dengan frekuensi 8–9 kali per tahun.

d. Frekuensi optimal setelah EOQ:

$$\frac{D}{EOQ} \approx 4-5 \text{ kali per tahun}$$

e. Total biaya persediaan awal:

$$TC_{\text{awal}} = \frac{D}{Q_{\text{awal}}} S + \frac{Q_{\text{awal}}}{2} H$$

f. Total biaya setelah optimasi:

$$TC_{\text{baru}} = \frac{D}{EOQ} S + \frac{EOQ}{2} H$$

Perbandingan menunjukkan penurunan total biaya sekitar 21–22%. Penurunan terutama berasal dari reduksi frekuensi pemesanan, meskipun terdapat peningkatan biaya simpan akibat *safety stock*.

Implikasi terhadap Tingkat Layanan

Tingkat layanan awal sekitar 89%. Implementasi *safety stock* 18 unit meningkatkan probabilitas pemenuhan permintaan selama lead time menjadi 95%. Reduksi risiko *stockout* hampir setengahnya. Implikasi operasional signifikan mengingat industri pipa berbasis proyek memiliki sensitivitas tinggi terhadap keterlambatan material. Hasil empiris menunjukkan bahwa klasifikasi permintaan menggunakan ADI dan CV² memberikan dasar keputusan yang lebih kuat dibanding pendekatan rata-rata historis. Integrasi model Croston dengan kebijakan ROP dan EOQ membentuk sistem pengendalian persediaan yang konsisten secara statistik dan ekonomis. Struktur keputusan yang terintegrasi ini menjawab kesenjangan antara *forecasting* dan *inventory control*. Perbaikan akurasi peramalan tidak berdiri sendiri, tetapi diterjemahkan langsung menjadi parameter kebijakan operasional.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini memformulasikan kebijakan pengendalian persediaan untuk produk pipa dengan karakter permintaan lumpy intermittent pada lingkungan manufaktur berbasis proyek. Analisis statistik menggunakan *Average Demand Interval* (ADI) dan *Coefficient of Variation Squared* (CV²) menghasilkan nilai ADI sebesar 2,6 dan CV² sebesar 0,82. Kombinasi tersebut mengonfirmasi bahwa permintaan bersifat jarang dan sangat fluktuatif, sehingga asumsi permintaan kontinu tidak relevan untuk digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan persediaan. Evaluasi metode peramalan menunjukkan bahwa pendekatan rata-rata historis menghasilkan tingkat kesalahan tinggi dengan MAPE mendekati 47%. Implementasi metode Croston meningkatkan presisi estimasi, terutama pada parameter pemulusan $\alpha = 0,2$ yang menurunkan MAPE ke kisaran 36–38%. Perbaikan ini membuktikan bahwa pemisahan estimasi ukuran permintaan dan interval antarpermintaan lebih sesuai untuk struktur data intermiten dibanding model agregatif konvensional.

Integrasi hasil peramalan ke dalam formulasi *Reorder Point* dan *safety stock* menghasilkan parameter keputusan yang lebih rasional secara probabilistik. Dengan *lead time* 15 hari dan tingkat layanan 95%, diperoleh

safety stock sebesar 18 unit dan *Reorder Point* sebesar 25 unit. Kebijakan ini menurunkan risiko *stockout* selama *lead time* hingga sekitar 5%, sekaligus meningkatkan tingkat ketersediaan material dari 89% menjadi 95%. Optimasi ukuran lot menggunakan pendekatan *Economic Order Quantity* menghasilkan kuantitas pemesanan optimal sekitar 40–41 unit per order. Penyesuaian frekuensi pemesanan dari 8–9 kali menjadi 4–5 kali per tahun menurunkan total biaya persediaan sekitar 21–22%. Penghematan terutama berasal dari reduksi biaya pemesanan, meskipun terdapat peningkatan biaya simpan akibat penambahan *safety stock*. Temuan ini menegaskan bahwa klasifikasi permintaan berbasis ADI–CV² yang diintegrasikan dengan model Croston dan kebijakan ROP–EOQ mampu menghasilkan perbaikan kinerja biaya dan layanan secara simultan. Kontribusi utama penelitian terletak pada pembuktian empiris bahwa pendekatan matematis yang relatif sederhana namun terstruktur dapat menggantikan praktik intuitif dalam pengendalian persediaan industri pipa. Pendekatan yang dikembangkan memberikan kerangka keputusan operasional yang konsisten secara statistik, ekonomis, dan aplikatif. Implementasi kebijakan berbasis karakteristik permintaan memungkinkan perusahaan mengelola ketidakpastian secara terukur tanpa bergantung pada asumsi permintaan stabil yang tidak sesuai dengan realitas operasional.

5. REFERENSI

- Helo, P. (2023). Deep learning-based approach for forecasting intermittent online sales. *Discover Artificial Intelligence*, 3(1), 45. <https://doi.org/10.1007/s44163-023-00085-1>
- Papadopoulos, C. T. (2021). Demand forecasting methods for spare parts logistics for aviation: a real-world implementation of the Bootstrap method. *Procedia Manufacturing*, 55, 500–506. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.promfg.2021.10.068>
- Macusi, E. D. (2022). Typology of smallholder and commercial shrimp (*Penaeus vannamei*) farms, including threats and challenges in Davao region, Philippines. *Sustainability*, 14(9), 5713.
- Das, A. (2025). An optimized approach for predicting water quality features and a performance evaluation for mapping surface water potential zones based on Discriminant Analysis (DA), Geographical Information System (GIS) and Machine Learning (ML) models in Baitarani Riv. *Desalination and Water Treatment*, 321, 101039. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dwt.2025.101039>
- Ioannou, G. (2022). Inventory – forecasting: Mind the gap. *European Journal of Operational Research*, 299(2), 397–419. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejor.2021.07.040>
- Jumali, M. A. (2025). ANALISIS PENJADWALAN PROYEK PEMINDAHAN PENATAAN SELECTIVE RACKING DI GUDANG LOGISTIK MENGGUNAKAN CPM-PERT. *Jurnal Bisnis, Logistik Dan Supply Chain (BLOGCHAIN)*, 5(2 SE-Articles), 44–50. <https://doi.org/10.55122/blogchain.v5i2.1848>
- Siswoyo, Q. A. R. (2023). IMPLEMENTASI SAFETY STOCK DALAM PENGENDALIAN PERSEDIAAN MINYAK GORENG. *KAIZEN: Management Systems & Industrial Engineering Journal*, 6(2), 29–34.
- Utomo, Y. (2019). PERENCANAAN KEBUTUHAN KAPASITAS WAKTU PRODUKSI PRODUK SPON ALAS TIDUR (Studi Kasus: Perusahaan Alas Tempat Tidur Di Sidoarjo). *Jurnal Teknik WAKTU*, 17(01), 45–49. Retrieved from <http://jurnal.unipasby.ac.id/index.php/waktu/article/view/1867/1681>
- Meissner, J. (2021). Intermittent demand forecasting for spare parts: A Critical review. *Omega*, 105, 102513. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.omega.2021.102513>
- Mladeníć, D. (2022). Reframing Demand Forecasting: A Two-Fold Approach for Lumpy and Intermittent Demand. *Sustainability*, Vol. 14. <https://doi.org/10.3390/su14159295>
- Hussain, S. (2025). Enhancing Supply Chain Management: A Comparative Study of Machine Learning Techniques with Cost–Accuracy and ESG-Based Evaluation for Forecasting and Risk Mitigation. *Sustainability*, Vol. 17. <https://doi.org/10.3390/su17135772>
- Chen, A. (2022). A combined forecasting method for intermittent demand using the automotive aftermarket data. *Data Science and Management*, 5(2), 43–56. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.dsm.2022.04.001>