Usulan Kebijakan Pengendalian Persediaan Melon *Inthanon* di Tingkat Pengepul Menggunakan Metode *Continuous Review* (Q, r) Dengan *Lost Sales* dan *Deterioration*

1st Najwa Zuklizatuz Zahiroh
Program Studi Teknik Industri
Telkom University, Kampus Surabaya
Surabaya, Indonesia
najwazahir@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Paramaditya Arismawati
Program Studi Teknik Industri
Telkom University, Kampus Surabaya
Surabaya, Indonesia
paramadityaars@telkomuniversity.ac.id

3rd Nisa Isrofi
Program Studi Digital Supply Chain
Telkom University, Kampus Surabaya
Surabaya, Indonesia
nisaisrofi@telkomuniversity.ac.id

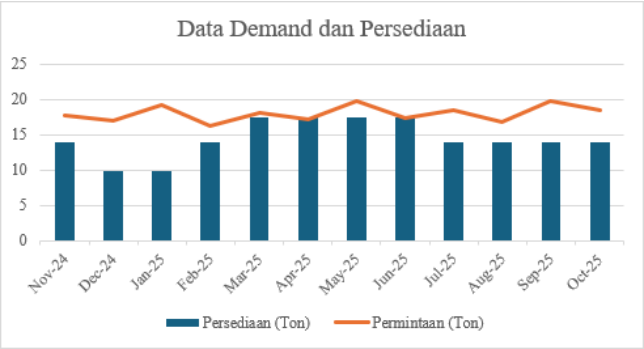
***Abstrak* — Melon premium varietas *Inthanon* merupakan komoditas hortikultura bernilai ekonomi tinggi yang bersifat *perishable* dan dipasarkan ke pasar modern di DKI Jakarta melalui pengepul di Desa Sendangharjo, Kecamatan Brondong, Kabupaten Lamongan. Pengepul belum memiliki sistem pencatatan persediaan yang sistematis, sehingga pengelolaan stok berbasis perkiraan subjektif menyebabkan risiko *stockout*, *lost sales*, dan *deterioration* hingga 5% per siklus pemesanan, dengan *service level* eksisting hanya 80,24% dan total biaya persediaan Rp75.085.628 per bulan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kebijakan pengendalian persediaan yang optimal beserta implikasi manajerialnya guna meminimalkan total biaya dengan mempertimbangkan *deterioration* dan *lost sales*. Metode yang digunakan adalah *Continuous Review* (Q, r) dengan *lost sales* dan *deterioration* berbasis model Braglia et al. (2019) [1], diselesaikan secara iteratif menggunakan metode Hadley-Whitin. Hasil iterasi menghasilkan kebijakan optimal Q* = 5.076 kg/order, r* = 5.688 kg, dan *safety stock* 202 kg, yang optimalitasnya diverifikasi melalui uji matriks Hessian (det(H) = 25,10 > 0) serta verifikasi grafis pada kurva TC. Penerapan kebijakan usulan untuk meningkatkan service level menjadi 99,93% dan menurunkan total biaya persediaan menjadi Rp14.238.891 per bulan menghasilkan penghematan sebesar 81,04% (Rp60.846.737 per bulan). Analisis sensitivitas menunjukkan perubahan biaya terkendali hingga ±20%, dengan *deterioration rate* dan tingkat permintaan sebagai parameter yang paling berpengaruh.*

Kata kunci— *continuous review* (Q, r), *deterioration*, *lost sales*, melon *Inthanon*, pengendalian persediaan, *perishable goods*

I. PENDAHULUAN

Hortikultura merupakan salah satu subsektor penting dalam pertanian yang memiliki potensi strategis untuk dikembangkan di berbagai wilayah di Indonesia [2]. Peran hortikultura tidak hanya dalam pemenuhan kebutuhan pangan nasional, tetapi juga sebagai komoditas ekspor yang berkontribusi pada peningkatan devisa negara serta kesejahteraan petani [3]. Kabupaten Lamongan, dengan luas lahan pertanian mencapai 181.280 hektare, menjadi salah satu sentra pengembangan komoditas hortikultura di Jawa Timur, termasuk melon premium varietas *Inthanon* [4]. Melon Inthanon unggul dari segi rasa, tekstur, dan produktivitas ketika dibudidayakan di *greenhouse*, dengan nilai jual di tingkat petani berkisar Rp17.000–Rp20.000/kg dan berpotensi mencapai Rp35.000/kg untuk kualitas premium [5]. Di Desa Sendangharjo, Kecamatan Brondong, komoditas ini telah berkembang menjadi produk unggulan wilayah dengan permintaan pasar modern di DKI Jakarta yang stabil.

Meskipun potensi ekonominya tinggi, pengelolaan persediaan melon premium di tingkat pengepul belum didukung oleh sistem pencatatan yang sistematis; keputusan stok masih berbasis perkiraan subjektif [6]. Kondisi ini menimbulkan ketidaksesuaian antara persediaan dan permintaan pasar, sehingga meningkatkan risiko *stockout* dan *lost sales*. Permasalahan tersebut diperburuk oleh sifat produk yang mudah rusak, yang mengalami deteriorasi selama penyimpanan dan penanganan, tercatat mencapai sekitar 5% dari total pasokan per siklus pemesanan, sejalan dengan toleransi kerusakan produk hortikultura yang ditetapkan oleh Badan Standardisasi Nasional (2013) [7]. Sistem persediaan yang terstruktur dan berbasis data terbukti mampu menjaga kontinuitas ketersediaan produk segar sekaligus meningkatkan efisiensi biaya [8], sehingga menjadi kebutuhan mendesak bagi pengepul melon premium di Sendangharjo. Data historis periode November 2024–Oktober 2025 menunjukkan fluktuasi antara volume persediaan dan permintaan pasar pada GAMBAR 1, di mana pada beberapa periode, seperti Desember 2024 dan Januari 2025, tingkat persediaan berada jauh di bawah permintaan, mengindikasikan potensi *stockout* dan *lost sales* yang berulang akibat ketidaksesuaian antara perencanaan stok dan kebutuhan pasar aktual.



GAMBAR 1
(PERBANDINGAN DATA PERMINTAAN DAN PERSEDIAAN MELON PREMIUM *INTHANON*)

Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan model pengendalian persediaan dengan karakteristik yang relevan. Hafizh Alim & Suseno (2022) [9] membuktikan bahwa *Continuous Review System* (Q, r) lebih efisien dibandingkan *Periodic Review System* (R, s, S) untuk bahan baku industri, dengan penghematan biaya sebesar 2,77%. Parkhan et al. (2023) [10] menerapkan *Continuous Review* (Q, r) dengan *lost sales* pada produk bernilai ekonomi tinggi dan mencapai *service level* sebesar 95,14%. Sondakh & Rahma Dita (2025) [11] menerapkan Model Q dengan lost sales pada produk konsumsi dan memperoleh penghematan biaya lebih dari 74%. Sementara itu, Arismawati & Prastyabudi (2021) [12] menerapkan *Periodic Review* (R, s, S) pada komoditas buah yang *perishable* di Jawa Timur. Namun, pendekatan ini kurang responsif terhadap fluktuasi permintaan di luar jadwal *review*, yang merupakan keterbatasan signifikan bagi komoditas *perishable* bernilai ekonomi tinggi seperti melon premium yang memerlukan pemantauan stok secara berkelanjutan.

Berdasarkan kajian tersebut, terlihat kesenjangan penelitian: belum terdapat kajian yang mengintegrasikan model *Continuous Review* (Q, r) dengan mempertimbangkan *lost sales* dan *deterioration* secara simultan pada komoditas hortikultura *perishable* di tingkat pengepul, khususnya melon premium. Kebijakan persediaan yang ada saat ini belum mampu merespons ketidakstabilan pasokan dan fluktuasi permintaan secara akurat, sehingga menimbulkan biaya kekurangan stok (*shortage cost*) dan kehilangan penjualan (*lost sales*) yang signifikan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk (1) menentukan usulan kebijakan pengendalian persediaan pada pengepul melon premium dengan mempertimbangkan *deterioration* dan *lost sales*, dan (2) menganalisis implikasi manajerial kebijakan tersebut dalam meminimalkan total biaya persediaan di Desa Sendangharjo, Kecamatan Brondong, Kabupaten Lamongan.

II. KAJIAN TEORI

Bagian ini menyajikan teori-teori yang menjadi landasan variabel dan model dalam penelitian, mencakup konsep dasar persediaan, model *Continuous Review* (Q, r) dengan *lost sales*, integrasi faktor *deterioration*, serta kriteria optimalitas dan analisis sensitivitas yang digunakan untuk memverifikasi kebijakan persediaan yang diusulkan.

A. Persediaan dan Manajemen Persediaan

Persediaan (*inventory*) merupakan aset perusahaan berupa bahan baku, barang dalam proses, atau barang jadi yang disimpan untuk menjamin kelancaran operasi serta mengantisipasi ketidakpastian pasokan dan permintaan [13]. Manajemen persediaan mencakup perencanaan, pengendalian, dan pengawasan stok agar permintaan terpenuhi secara optimal dengan biaya operasional yang efisien [14]. Pada produk *perishable*, fungsi manajemen persediaan tidak hanya berfokus pada jumlah stok, tetapi juga pada pemeliharaan mutu produk selama penyimpanan dan distribusi.

Komponen biaya persediaan terdiri atas empat elemen [15]: biaya pembelian (c), biaya pengadaan/pemesanan (A), biaya penyimpanan (h), serta biaya kekurangan persediaan (p). Tingkat layanan atau *service level* (SL) menjadi indikator kinerja utama sistem persediaan dalam memenuhi permintaan tanpa kehabisan stok (*stockout*), dengan *trade-off* bahwa peningkatan SL umumnya memerlukan persediaan pengaman atau *safety stock* (SS) yang lebih besar sehingga meningkatkan biaya penyimpanan [16].

B. *Continuous Review System* (Q, r) dengan *Lost Sales*

Continuous Review System (Q-*System*) dengan pendekatan *lost sales* mengasumsikan bahwa permintaan yang tidak terpenuhi saat stok habis dianggap hilang, bukan sebagai *backorder*. Bahagia (2006) [17] merumuskan penentuan kuantitas pemesanan optimal (Q*) dan titik pemesanan ulang optimal (r*) melalui metode iteratif Hadley–Whitin. Iterasi diawali dengan perhitungan Q berdasarkan model *Economic Order Quantity* (EOQ):

$$Q_1 = \sqrt{\frac{2\,A\,D}{h}} \tag{1}$$

dengan D adalah permintaan rata-rata per periode. Selanjutnya ditentukan probabilitas *stockout* (α) dan nilai r menggunakan nilai Z dari distribusi normal standar:

$$r_1 = D_L + Z_\alpha\, S\sqrt{L} Q_1 = \sqrt{\frac{2\,A\,D}{h}} \tag{2}$$

Di mana D_L adalah permintaan rata-rata selama lead time (L), dan S adalah standar deviasi permintaan. Iterasi dihentikan ketika nilai r pada dua iterasi berurutan konvergen, sehingga menghasilkan Q* dan r* optimal beserta total biaya persediaan minimum (OT).

C. Model Persediaan dengan *Deterioration*

Model persediaan klasik mengasumsikan barang tidak mengalami kerusakan, yang merupakan asumsi yang tidak realistis untuk produk hortikultura [18]. Braglia et al. (2019) [1] mendefinisikan deterioration sebagai fenomena kerusakan, pembusukan, atau penurunan fungsi barang selama penyimpanan, yang dinyatakan melalui laju deterioration (δ). Secara matematis, dinamika tingkat persediaan pada waktu t, dinyatakan I(t), mengikuti persamaan diferensial:

$$\frac{d}{dt} I_t = -(\lambda_t - \delta_t\, I_t) \tag{3}$$

dengan λt adalah laju permintaan per periode waktu. Persamaan tersebut diperluas menjadi bentuk stokastik *Stochastic Differential Equation* (SDE) berupa proses Itō diffusion untuk mengakomodasi variabilitas permintaan.

D. Integrasi *Deterioration* dalam *Continuous Review* (Q, r)

Braglia dkk. (2019) [1] mengintegrasikan *deterioration* ke dalam model (Q, r) dengan mendefinisikan parameter β sebagai proporsi kekurangan yang menjadi *lost sales* (β = 1) versus *backorder* (β = 0). Fungsi total biaya rata-rata per satuan waktu, TC(Q, r), dirumuskan sebagai:

$$TC(Q, r) = \frac{A}{T} + \frac{v}{\delta T}\left(Q^* - \lambda T\right) + \frac{p}{T}\Sigma_L\, \psi\left(Z^*\right) + c\frac{Q^* - \lambda T}{T} \quad (4)$$

dengan A = biaya pemesanan per order, v = biaya penyimpanan per unit per satuan waktu, c = biaya *deterioration* per unit rusak, p = biaya kekurangan per unit, dan ψ(Z) = fungsi *loss normal standar*. Optimasi Q* dan r* dilakukan secara numerik-iteratif untuk meminimalkan TC(Q, r).

E. Optimalitas Fungsi Multivariabel

Karena TC(Q, r) merupakan fungsi dua variabel keputusan, pembuktian optimalitas memerlukan dua tahap [19]. Tahap pertama, *First Order Condition* (FOC), menentukan titik kritis melalui turunan parsial pertama:

$$H = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 TC}{\partial Q^2} & \frac{\partial^2 TC}{\partial Q \partial r} \\ \frac{\partial^2 TC}{\partial r \partial Q} & \frac{\partial^2 TC}{\partial r^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} \\ H_{21} & H_{22} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Tahap kedua, *Second Order Condition* (SOC), menggunakan matriks Hessian (H) untuk memastikan titik kritis tersebut merupakan titik minimum, dengan syarat:

a) $H_{11} > 0$

b) $\det(H) = H_{11} \times H_{22} - H_{12}^2 > 0$

Apabila kedua syarat terpenuhi, matriks Hessian bersifat definit positif, menandakan fungsi objektif konveks di sekitar titik kritis sehingga (Q*, r*) merupakan titik minimum lokal.

F. Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas mengevaluasi dampak perubahan parameter input terhadap output model, termasuk pengaruhnya terhadap total biaya dan *service level* [20]. Metode ini membantu menilai sejauh mana parameter kritis seperti tingkat *deterioration* dan permintaan dapat ditoleransi terhadap perubahan tanpa mengurangi kinerja kebijakan persediaan yang dihasilkan.

III. METODE

Penelitian ini menggunakan data primer dan sekunder dari pengepul melon premium Inthanon di Desa Sendangharjo, Kecamatan Brondong, Kabupaten Lamongan, yang mencakup data historis periode November 2024–Oktober 2025. Prosedur penelitian terdiri atas empat tahap berikut:

A. Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui observasi lapangan dan wawancara dengan pengepul serta 12 petani mitra, meliputi:

a. Data struktural: kapasitas produksi dan alur distribusi;
b. Data operasional: frekuensi dan jumlah pembelian;
c. Data permintaan: jumlah permintaan pasar modern DKI Jakarta per periode;
d. Data biaya: biaya pemesanan (A), biaya simpan (v), biaya kekurangan (p), dan biaya kerusakan (c);
e. Data *deterioration*: proporsi kerusakan produk (θ) per siklus pemesanan.

B. Konversi Parameter *Deterioration*

Data lapangan mengenai proporsi kerusakan (θ) dikonversi menjadi laju *deterioration* kontinu (δ) menggunakan pendekatan peluruhan eksponensial yang diadaptasi dari Braglia et al. (2019) [1]. Dengan probabilitas stok bertahan selama interval h sebesar $q = e^{(-\delta h)}$, proporsi kerusakan $\theta = 1 - q$, sehingga:

$$\delta = -\frac{\ln(1 - \theta)}{h} \quad (6)$$

Karena data lapangan diperoleh dalam satuan per order sedangkan model beroperasi per bulan, proporsi kerusakan bulanan diturunkan sebagai:

$$\theta_{bulan} = 1 - (1 - \theta_{order})^n \quad (7)$$

dengan n adalah frekuensi pemesanan per bulan.

C. Perhitungan Kondisi Eksisting

Biaya persediaan eksisting dihitung menggunakan notasi Bahagia (2006) [17]:

$$O_T = (f \cdot A) + (h \cdot m) + (N_T\, C_u) + (m \cdot \theta \cdot c) \quad (8)$$

dengan f = frekuensi pemesanan (order/bulan), A = biaya pemesanan per order, h = biaya simpan per unit per bulan, m = rata-rata persediaan, N_T = ekspektasi kekurangan bulanan, dan C_u = biaya kekurangan per unit. *Service level* eksisting, sebagai *baseline* sebelum usulan perbaikan:

$$\eta_E = \frac{D_s}{D_T} \times 100\% \quad (9)$$

dengan D_s = permintaan terpenuhi (kg/tahun) dan D_T = total permintaan (kg/tahun).

D. Penentuan Kebijakan Optimal Q* dan r* (Metode Iteratif Hadley–Whitin)

Kebijakan persediaan usulan meminimalkan ekspektasi biaya rata-rata per satuan waktu, TC(Q, r), mengikuti Braglia et al. (2019) [1]:

$$TC(Q, r) = A\frac{\lambda}{Q} + (v + c\,\delta)\left[\frac{Q}{2} + r - \lambda L + \beta\,\sigma\sqrt{L}\,\psi(Z)\right] + p\,\sigma\sqrt{L}\,\psi(Z)\frac{\lambda}{Q} \quad (10)$$

dengan λ adalah rata-rata permintaan bulanan, δ adalah laju *deterioration*, L adalah *lead time*, σ√L adalah standar deviasi tingkat persediaan pada akhir *lead time*, $Z = (r - \lambda L)/(\sigma\sqrt{L})$, dan ψ(Z) adalah fungsi *loss normal standar*. Karena biaya simpan (v) dan biaya kerusakan (cδ) sama-sama bekerja pada rata-rata persediaan yang sama, keduanya digabung menjadi satu koefisien efektif (v + cδ), sebagaimana diuraikan oleh Çalışkan (2022) [21].

Nilai Q* dan r* optimal ditentukan melalui prosedur iteratif Hadley-Whitin yang diadaptasi untuk kasus *deterioration*:

a. Menghitung kuantitas pemesanan awal:

$$Q_{01}^{*} = \sqrt{\frac{2\,A\,\lambda}{v + c\,\delta}} \quad (11)$$

b. Menghitung probabilitas *stockout* (α) dari kondisi optimalitas $\partial TC/\partial r = 0$:

$$\alpha = \frac{(v + c\,\delta)\,Q_{01}^{*}}{p \cdot \beta \cdot \lambda} \quad (12)$$

dengan β = proporsi kekurangan yang menjadi *lost sales* (β = 1 pada penelitian ini). Selanjutnya, *safety factor* Z diperoleh melalui invers distribusi normal standar, yaitu $Z = \Phi^{-1}(1 - \alpha)$.

c. Menghitung fungsi *loss normal standar* yang diperlukan untuk iterasi berikutnya:

$$\psi(Z) = \emptyset(Z) - Z[1 - \Phi(Z)] \quad (13)$$

dengan ψ(Z) adalah fungsi *loss normal standar*, ϕ(Z) adalah fungsi kerapatan probabilitas normal standar (p.d.f.), dan Φ(Z) adalah fungsi distribusi kumulatif normal standar (c.d.f.).

d. Menghitung titik pemesanan ulang (r*), dengan $Z = \Phi^{-1}(1 - \alpha)$ dan Σ_L = standar deviasi *inventory level* pada akhir *lead time* (L):

$$r_1^{*} = \left(Z \cdot \Sigma_L + \frac{\lambda}{\delta}\right) e^{\delta L} - \frac{\lambda}{\delta} \quad (14)$$

e. Menghitung rata-rata tingkat persediaan tepat sebelum pesanan tiba:

$$\bar{I}_L = \left(r_1^{*} + \frac{\lambda}{\delta}\right) e^{-\delta L} - \frac{\lambda}{\delta} \quad (15)$$

dengan $\bar{I}_L$ adalah rata-rata tingkat persediaan tepat sebelum pesanan tiba (kg).

f. Menghitung ulang Q*

$$Q_{02}^{*} = \sqrt{\frac{2\,\lambda\,[A + p \cdot \beta \cdot \Sigma_L \cdot \psi(Z)]}{v + c\,\delta}} \quad (16)$$

menggunakan ψ(Z) yang telah diperbarui.

g. Mengulangi langkah b – d hingga r* konvergen antariterasi.

Setelah Q* dan r* konvergen, parameter operasional kebijakan persediaan optimal dihitung sebagai berikut.

a. *Safety stock*:

$$\zeta = \bar{I}_L^{\,*} + \beta\,\Sigma_L\,\psi(Z^{*}) \quad (17)$$

b. *Expected shortage* per siklus:

$$E[\eta] = \Sigma_L\,\psi(Z^{*}) \quad (18)$$

dengan $\psi(Z) = \phi(Z) - Z[1 - \Phi(Z)]$

c. Total biaya persediaan optimal:

$$TC(Q^{*}, r^{*}) = \frac{A}{T} + \frac{v}{\delta\,T}(Q^{*} - \lambda\,T) + \frac{p}{T}\Sigma_L\,\psi(Z^{*}) + c\,\frac{Q^{*} - \lambda\,T}{T} \quad (19)$$

d. Tingkat layanan usulan (η_u),
Service level usulan dihitung secara tahunan agar konsisten dengan kondisi eksisting, sebagai persentase permintaan yang dapat dipenuhi tanpa kekurangan stok. Total *shortage* tahunan dihitung terlebih dahulu dengan:

dengan f adalah frekuensi pemesanan per bulan (order/bulan) dan E[η] adalah ekspektasi *shortage* per siklus (kg). Permintaan terpenuhi dihitung sebagai:

$$\text{Total shortage per year} = (f \cdot 12)\,E[\eta] \quad (20)$$

dengan D_s adalah permintaan terpenuhi per tahun (kg) dan D_T adalah total permintaan per tahun (kg). Selanjutnya, *service level* usulan dihitung menggunakan:

$$D_s = D_T - \text{Total } \textit{shortage} \text{ per tahun} \quad (21)$$

dengan η_u adalah *service level* yang diusulkan (%). Semakin kecil *lost sales*, semakin tinggi *service level* yang dicapai oleh sistem persediaan.

$$\eta_u = \left(\frac{D_s}{D_T}\right) \times 100\ \% \quad (22)$$

E. Verifikasi dan Analisis Sensitivitas

Tahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa pasangan nilai (Q*, r*) yang diperoleh benar-benar merupakan solusi optimal, sekaligus menguji ketahanan kebijakan usulan terhadap perubahan kondisi operasional pada tingkat pengepul.

a. Uji analitis matriks Hessian, dengan syarat kecukupan $H_{11} > 0$ dan $\det(H) = H_{11} \cdot H_{22} - H_{12}^2 > 0$;
b. Verifikasi grafis melalui kurva TC(Q) pada r = r* tetap dan kurva TC(r) pada Q = Q* tetap;
c. Analisis sensitivitas pada empat parameter laju *deterioration* (δ), biaya simpan (v), rata-rata permintaan (λ), dan biaya kekurangan (p) masing-masing divariasikan ±5%, ±10%, ±15%, dan ±20% dari nilai dasar (*ceteris paribus*).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini memaparkan hasil pengumpulan dan pengolahan data, penerapan model *Continuous Review* (Q, r) dengan mempertimbangkan kondisi *lost sales* dan *deterioration*, verifikasi dan validasi model, serta analisis perbandingan kinerja sistem persediaan melon premium varietas *Inthanon* pada tingkat pengepul di Desa Sendangharjo, Kecamatan Brondong, Kabupaten Lamongan.

A. Uji Distribusi Permintaan

Karena perhitungan *safety stock* dan titik pemesanan ulang mensyaratkan distribusi normal standar, normalitas data permintaan 12 bulan diuji menggunakan uji Shapiro–Wilk (sesuai untuk n < 50). Hasilnya: statistik 0,951 dengan Sig. = 0,652 (> 0,05), sehingga H_0 diterima: data permintaan berdistribusi normal dan asumsi model *Continuous Review* (Q, r) terpenuhi.

B. Kondisi Eksisting Persediaan

Objek penelitian ini adalah pengendalian persediaan melon *Inthanon* premium pada tingkat pengepul di Desa Sendangharjo, Kecamatan Brondong, Kabupaten Lamongan, yang berperan sebagai perantara antara petani dan retailer/distributor modern. Data permintaan dan persediaan dikumpulkan selama 12 bulan (November 2024–Oktober

2025). Total permintaan mencapai 215.600 kg (rata-rata 17.967 kg/bulan, standar deviasi 1.177,3 kg), sedangkan rata-rata persediaan yang tersedia hanya 14.467 kg/bulan, sehingga terjadi kekurangan kumulatif sebesar 42.600 kg (rata-rata 4.260 kg/bulan).

Pada kebijakan eksisting, pengepul memesan rata-rata 4 kali per bulan dengan kuantitas ±4.492 kg, tanpa titik pemesanan ulang (*reorder point*) maupun *safety stock* yang terdefinisi, dan belum memperhitungkan kerusakan produk secara eksplisit meski melon premium mudah rusak (proporsi kerusakan 0,05/pesanan).

TABEL 1
(PARAMETER INPUT KEBIJAKAN PERSEDIAAN EKSISTING)

Parameter	Nilai	Satuan
λ (average demand rate)	17,967	kg/bulan
C_b (purchase price)	19,000	Rp/kg
f (order frequency)	4	kali/bulan
A (ordering cost)	2,003,250	Rp/kg
v (holding cost)	393	Rp/kg/bulan
m (average inventory)	14,467	kg/bulan
N_T (shortage quantity)	4,260	kg/bulan
p (shortage cost)	13,500	Rp/kg
c (deterioration cost)	12,000	Rp/kg
s (existing safety stock)	0	kg

Berdasarkan parameter tersebut, total biaya persediaan eksisting adalah Rp75.085.628/bulan, didominasi oleh biaya kekurangan sebesar Rp57.510.000/bulan (76,6%), diikuti oleh biaya kerusakan (Rp8.680.000/bulan), biaya pemesanan (Rp8.013.000/bulan), dan biaya simpan (Rp882.628/bulan). *Fill rate* hanya 80,24%, artinya sekitar seperlima permintaan konsumen hilang (*lost sales*) akibat tidak adanya mekanisme pemesanan ulang yang sistematis.

C. Kuantitas Pesanan Optimal (Q*) dan Titik Pemesanan Ulang (r*)

Kebijakan usulan diturunkan menggunakan model *Continuous Review* (Q, r) yang memperhitungkan *lost sales* dan kerusakan, mengikuti kerangka Braglia et al. (2019) [1], serta diselesaikan melalui prosedur iteratif Hadley–Whitin. Model input mencakup *lead time* 9 hari (rentang 8–10 hari), laju kerusakan $\delta = 0{,}2052$/bulan (dikonversi dari proporsi kerusakan 5% per pesanan), dan proporsi *lost sales* $\beta = 1$.

Iterasi konvergen setelah dua siklus menghasilkan $Q^* = 5.076$ kg/pesanan dan $r^* = 5.688$ kg (dibandingkan dengan $r1^* = 5.689$ kg pada iterasi pertama, selisih yang sangat kecil ini mengonfirmasi konvergensi). Parameter turunannya: *safety stock* $\zeta = 202$ kg, panjang siklus $T = 0{,}2740$ bulan (≈ 8 hari), frekuensi pemesanan $f = 3{,}6$ kali/bulan, rata-rata persediaan *on-hand* $\bar{I} = 204$ kg, dan ekspektasi kerusakan $\rho = 42$ kg/bulan.

D. Verifikasi Model

Verifikasi model dilakukan untuk memastikan model *Continuous Review* (Q, r) dengan *lost sales* dan kerusakan telah diimplementasikan dengan benar, mencakup verifikasi matematis dan verifikasi konsistensi satuan.

a. Kondisi Orde Pertama dan Kedua

Pasangan (Q*, r*) diperoleh dari kondisi $\partial TC/\partial Q = \partial TC/\partial r = 0$ (syarat orde pertama). Untuk memastikan titik ini merupakan minimum dan bukan titik pelana (*saddle point*), matriks Hessian dari TC(Q, r) dievaluasi pada ($Q^* = 5.076$ kg, $r^* = 5.688$ kg):

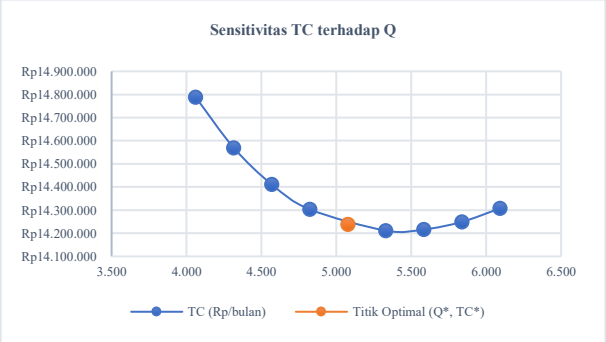
TABEL 2
(ELEMEN MATRIKS HESSIAN PADA (Q*, r*))

Elemen	Nilai
H_{11}	0.5587
$H_{12} = H_{21}$	0.4877
H_{22}	45.3538
det(H)	25.10

Karena H11 > 0 dan det(H) > 0, matriks Hessian bersifat definit positif, yang mengonfirmasi bahwa TC(Q, r) konveks secara lokal di (Q*, r*) dan solusinya merupakan titik minimum yang terverifikasi, bukan sekadar hasil iterasi numerik yang konvergen.

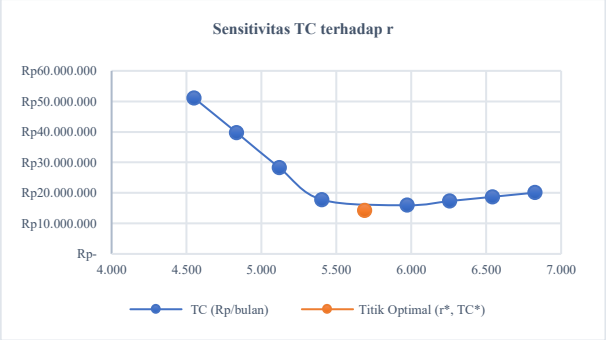
b. Sensitivitas Grafis TC di Sekitar (Q*, r*)

Evaluasi grid TC pada $Q \in [80\%, 120\%] \times Q^*$ ($r = r^*$) menunjukkan kurva konveks dengan minimum di sekitar Q*, dan TC pada Q = 5.330 kg (+5%) relatif landai, hanya 0,19% lebih rendah daripada TC pada Q*.



GAMBAR 2
(SENSITIVITAS TC TERHADAP Q, r = r* = 5.688 KG)

Sebaliknya, TC terhadap r (Q = Q*) menunjukkan minimum yang jauh lebih tajam:



GAMBAR 3
(Sensitivitas TC terhadap r, Q = Q* = 5.076 kg)

Di bawah r*, biaya naik tajam akibat risiko kekurangan; di atas r*, biaya naik lebih landai akibat tambahan biaya penyimpanan. Asimetri ini menegaskan bahwa total biaya lebih sensitif terhadap r dibandingkan dengan Q, sehingga r* adalah variabel kendali utama untuk menekan risiko *stockout*.

c. Konsistensi Satuan
Kesembilan komponen *output* model (Q*, r*, ζ, *fill rate*, dan empat komponen biaya) diperiksa konsistensi dimensinya; tidak ditemukan inkonsistensi, sehingga mendukung kebenaran implementasi model.

E. Validasi Model

Lima aspek diperiksa untuk menilai kesesuaian model dengan kondisi lapangan: (1) normalitas permintaan didukung Shapiro–Wilk (Sig. = 0,652); (2) kewajaran parameter kerusakan proporsi 5%/pesanan berada dalam batas standar mutu nasional untuk melon kelas "super" (≤ 5%) [7]; (3) konstansi lead time CV sebesar 6,4% (kategori kecil, 1–10%) mendukung asumsi *lead time* konstan; (4) ketahanan model hasil sensitivitas menunjukkan arah perubahan biaya yang konsisten dengan tingkat layanan yang stabil; dan (5) konfirmasi lapangan pengepul memverifikasi bahwa Q*, *safety stock*, dan r* seluruhnya dapat direalisasikan secara operasional tanpa penyesuaian.

F. Perbandingan Kebijakan Persediaan Eksisting dan Usulan

TABEL 3
(PERBANDINGAN KEBIJAKAN PERSEDIAAN EKSISTING DAN USULAN)

Komponen	Kebijakan Eksisting	Kebijakan Usulan
Jumlah pemesanan (Q)	4.492 kg	5.076 kg (optimal)
Titik pemesanan kembali (*Reorder Point*/r)	Belum ditentukan	5.688 kg
Persediaan pengaman (*Safety Stock*)	Belum ditentukan	202 kg
Frekuensi pemesanan	4 kali/bulan	3,6 kali/bulan
Tingkat kerusakan (δ)	Belum dipertimbangkan	0,2052/bulan
Tingkat pelayanan (*Service Level/Fill Rate*)	80,24%	99,93%
Biaya pemesanan	Rp8.013.000/bulan	Rp7.310.019/bulan
Biaya penyimpanan	Rp882.628/bulan	Rp80.164/bulan
Biaya kekurangan persediaan (*Shortage Cost*)	Rp57.510.000/bulan	Rp161.456/bulan
Biaya kerusakan (*Deterioration Cost*)	Rp8.680.000/bulan	Rp6.687.252/bulan
Total biaya persediaan	**Rp75.085.628/bulan**	**Rp14.238.891/bulan**

Kebijakan usulan menurunkan total biaya persediaan sebesar Rp60.846.737/bulan (81,04%). Penurunan terbesar berasal dari biaya kekurangan (−99,72%), sebagai dampak langsung dari penetapan r* dan *safety stock* yang menyerap ketidakpastian permintaan selama *lead time*. Biaya pemesanan turun 8,77% seiring turunnya frekuensi pemesanan, dan biaya simpan turun 90,92% karena ukuran pesanan yang optimal tidak lagi menyisakan stok berlebih.

Biaya kerusakan juga turun 22,96%, meski model usulan satu-satunya yang secara eksplisit memperhitungkan kerusakan. Ini terjadi karena siklus pesanan yang lebih kecil dan lebih sering menurunkan rata-rata persediaan *on-hand* (204 kg), sehingga mengurangi volume produk yang terpapar risiko penurunan kualitas. *Fill rate* meningkat dari 80,24% menjadi 99,93%, menunjukkan bahwa tidak adanya r* dan *safety stock*, bukan kuantitas pesanan yang kurang, adalah penyebab utama tingginya biaya dan rendahnya layanan pada kondisi eksisting.

G. Analisis Sensitivitas

Empat parameter, yaitu laju kerusakan, permintaan rata-rata, biaya simpan, dan biaya kekurangan, divariasikan ±5% hingga ±20% (*ceteris paribus*). Hasilnya dirangkum pada TABEL 4.

TABEL 4
(RINGKASAN HASIL ANALISIS SENSITIVITAS)

Parameter yang Diuji	Rentang Perubahan TC	Arah Perubahan
Laju kerusakan	−6,18% s.d. +19,31%	Meningkat seiring naiknya laju kerusakan; pengaruh terbesar.
Permintaan rata-rata	−11,50% s.d. +8,97%	Berubah searah dengan permintaan.
Biaya simpan	−0,20% s.d. +0,21%	Tidak signifikan.
Biaya kekurangan	−0,20% s.d. +0,17%	Tidak signifikan.

Laju kerusakan memberikan pengaruh terbesar karena masuk ke model melalui Q*, panjang siklus, dan biaya kerusakan; kenaikan 20% menaikkan total biaya 19,31%, sedangkan penurunan 20% menurunkannya 6,18%, menunjukkan respons asimetris yang mencerminkan hubungan eksponensial parameter ini terhadap biaya. Permintaan berpengaruh signifikan terhadap keduanya, namun *fill rate* tetap 99,9% pada seluruh skenario. Biaya simpan dan biaya kekurangan tidak berpengaruh signifikan karena dampaknya saling mengimbangi melalui penyesuaian Q* dan karena ekspektasi *lost sales* yang sudah kecil (3,3 kg/siklus).

H. Pembahasan

Hasil penelitian menjawab tujuan studi, yaitu menentukan kebijakan persediaan melon *Inthanon* premium yang memperhitungkan ketidakpastian permintaan, *lost sales*, dan kerusakan produk secara bersamaan. Tiga temuan berikut relevan untuk dibahas.

Pertama, besarnya penurunan biaya (81,04%) terutama disebabkan oleh diperkenalkannya r* dan *safety stock*, bukan oleh kuantitas pesanan Q* yang diusulkan hanya 13% lebih besar dari rata-rata eksisting, namun biaya kekurangan turun 99,72%. Ini konsisten dengan literatur *continuous review* bahwa r mengendalikan risiko *stockout*, sedangkan Q menyeimbangkan biaya pemesanan dan penyimpanan; kurva TC(r) yang lebih tajam dibandingkan dengan TC(Q) yang lebih landai memberikan bukti empiris yang kuat untuk hal ini.

Kedua, penurunan biaya kerusakan, meski telah diperhitungkan secara eksplisit, menunjukkan bahwa pemodelan formal terhadap kerusakan tidak serta-merta menurunkan biayanya; justru memungkinkan kebijakan mempertahankan rata-rata persediaan yang lebih rendah, sehingga membatasi paparan stok terhadap kerusakan. Temuan ini mendukung optimasi bersama (Q, r) dengan mempertimbangkan kerusakan, mengikuti Braglia et al. (2019) [1], dibandingkan dengan memperlakukan kedua keputusan secara terpisah.

Ketiga, kombinasi hasil matematis (Hessian definit positif), statistik (normalitas permintaan dan CV *lead time* 6,4%), serta konfirmasi lapangan menunjukkan bahwa kebijakan (Q, r) usulan sahih secara matematis sekaligus aplikatif di lapangan. Implikasi praktisnya: pengepul komoditas serupa (mudah rusak, permintaan tidak pasti) berpotensi memperoleh penghematan biaya dan peningkatan layanan yang substansial terutama melalui formalisasi r dan *safety stock*, dengan penetapan Q sebagai penyempurnaan tambahan yang tetap diperlukan.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan kebijakan pengendalian persediaan melon premium (*Inthanon*) di tingkat pengepul Desa Sendangharjo, Kecamatan Brondong, Kabupaten Lamongan, melalui model *Continuous Review* (Q, r) yang mempertimbangkan *lost sales* dan *deterioration*, yang diselesaikan dengan prosedur iteratif Hadley–Whitin [1]. Model menghasilkan kebijakan optimal berupa Q* = 5.076 kg/pesanan, r* = 5.688 kg, dan *safety stock* 202 kg, dengan frekuensi pemesanan 3,6 kali per bulan dan siklus ±8 hari. Optimalitasnya terverifikasi secara matematis melalui matriks Hessian yang definit positif (det(H) = 25,10 > 0).

Penerapan kebijakan ini meningkatkan *service level* dari 80,24% menjadi 99,93% dan menurunkan total biaya persediaan dari Rp75.085.628 menjadi Rp14.238.891 per bulan, atau penghematan 81,04% (Rp60.846.737/bulan), terutama dari penurunan biaya kekurangan (99,72%), diikuti oleh biaya simpan (90,92%), biaya kerusakan (22,96%), dan biaya pengadaan (8,77%). Kebijakan ini juga telah dikonfirmasi layak diterapkan secara operasional oleh pengepul dari sisi kapasitas pasokan, gudang, dan pemantauan stok.

REFERENSI

[1] M. Braglia, D. Castellano, L. Marrazzini, and D. Song, “A Continuous Review, (Q, r) Inventory Model for a Deteriorating Item with Random Demand and Positive Lead Time,” *Comput. Oper. Res.*, vol. 109, pp. 102–121, Sep. 2019, doi: 10.1016/j.cor.2019.04.019.

[2] R. Yudistira, “Analysis of Horticulture Sub-Sector and Fruit Subsector and its Development Strategy in Wonosobo Regency,” *Jurnal Indonesia Sosial Sains*, vol. 6, no. 4, pp. 1050–1060, Apr. 2025, [Online]. Available: http://jiss.publikasiindonesia.id/

[3] A. M. M. Sidik, Elsa, Ningsih, I. S. S. Damayanti, R. S. Saputra, and S. R. Oktaviani, “Strategi Peningkatan Ketahanan Pangan Melalui Optimalisasi Tanaman Holtikultura Di Kelurahan Sudajaya Hilir Kota Sukabumi,” *Jurnal Pengabdian Masyarakat (PENGMAS)*, vol. 2, no. 2, pp. 70–1, Mar. 2023, doi: https://doi.org/10.59820/pengmas.v1i2.51.

[4] D. Harryadi *et al.*, *Kabupaten Lamongan Dalam Angka 2024*, vol. 41. Lamongan: BPS Kabupaten Lamongan, 2024.

[5] Majalah Trubus, “Cita Rasa Lebih Manis dan Tekstur Renyah Bikin Melon Berharga Premium,” trubus.id. Accessed: Apr. 14, 2026. [Online]. Available: https://trubus.id/cita-rasa-lebih-manis-dan-tekstur-renyah-bikin-melon-berharga-premium/

[6] A. R. N. Putra, R. D. Prihardianto, and P. Arismawati, “Application of Omni-Channel Strategy in Optimizing the Supply Chain Digitalization Process in Indonesia (Case Study: PT X),” *Dinasti International Journal of Economics, Finance and Accounting (DIJEFA)*, vol. 5, no. 3, pp. 1700–1708, Jul. 2024, doi: 10.38035/dijefa.v5i3.

[7] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 7783:2013 - Melon,” Jakarta, 2013.

[8] N. Sophia Sandora, E. Triastutiningsih, and A. Tsani, “Pengendalian Persediaan Buah Segar Pada Ritel Modern,” *Mahatani*, vol. 6, no. 1, pp. 67–78, Jun. 2023, doi: https://doi.org/10.52434/mja.v6i1.

[9] M. Hafizh Alim and Suseno, “Analisa Persediaan Bahan Baku Menggunakan Metode Continuous Review System dan Periodic Review System di PT XYZ,” *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)*, vol. 1, no. 3, pp. 163–172, Sep. 2022.

[10] A. Parkhan, I. Djati Widodo, and E. Fausa, “Raw Material Inventory Control on Probabilistic Demand and Lead Time Using Continuous Review System,” *Journal of Industrial Engineering and Halal Industries (JIEHIS)*, vol. 4, no. 2, pp. 62–68, Dec. 2023, doi: https://doi.org/10.14421/jiehis.4277.

[11] E. Sondakh and S. Rahma Dita, “Analisis Persediaan Produk Jims Wafer Roll Menggunakan Model Q Dengan Lost Sales di PT XXX,” *Jurnal Logistik Bisnis*, vol. 15, no. 2, pp. 123–128, Dec. 2025, [Online]. Available: https://ejurnal.ulbi.ac.id/index.php/logistik

[12] P. Arismawati and W. A. Prastyabudi, “An Inventory Policy on Agroindustry Supply Chain: A Case Study of Fruit Seasonal in East Java,” *Food & Agribusiness Management (FABM)*, vol. 2, no. 2, pp. 46–50, Mar. 2021, doi: 10.26480/fabm.02.2021.46.50.

[13] A. Fauzi, A. Zakia, B. A. Putra, D. Sapto Bagaskoro, R. N. Pangestu, and S. Wijaya, “Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Dampak Persediaan Barang Dalam Proses Terhadap Pehitungan Biaya Proses: Persediaan Barang Perusahaan, Kalkulasi Biaya Pesanan dan Pemakaian Bahan Baku (Literature Review Akuntansi Manajemen),” *JIHHP - Jurnal Ilmu Hukum Humaniora dan Politik*, vol. 2, no. 3, pp. 253–266, 2022, doi: 10.38035/jihhp.v2i3.

[14] C. Amelia *et al.*, “Konsep dan Penerapan Manajemen Persediaan pada Perusahaan Manufaktur di Indonesia: Kajian Literatur,” *Karimah Tauhid: Karya Ilmiah Mahasiswa Bertauhid*, vol. 3, no. 8, pp. 9088–9100, 2024, Accessed: Oct. 29, 2025. [Online]. Available: https://doi.org/10.30997/karimahtauhid.v3i8.14724

[15] E. Fausa, A. Parkhan, and I. D. Widodo, “Pengendalian Persediaan Obat Kelompok V Berbasis ABC Indeks Kritis Menggunakan Periodic Review System,” *Jurnal Teknoin*, vol. 28, no. 1, pp. 37–46, Jun. 2023.

[16] D. C. Rahma, L. Auliana, and N. J. A. Novel, “Analisis Tingkat Service Level Warehouse dalam Manajemen Persediaan Barang pada PT X Cabang Bekasi,” *Jurnal Terapan Manajemen dan Bisnis*, vol. 10, no. 2, pp. 110–122, Sep. 2024, doi: 10.26737/jtmb.v10i2.7023.

[17] S. N. Bahagia, *Sistem Inventory*. Bandung: ITB, 2006.

[18] S. Singh Chawda, G. Sao, and S. Tamrakar, “Analytical study on Inventory Models for Deteriorating Products,” *International Journal of Science Management & Engineering Research*

(IJSMER), vol. 09, no. 03, pp. 28–39, Nov. 2024, [Online]. Available: www.ejournal.rems.co.in

[19] M. Razali, "Masalah Pencarian Nilai Maksimum dan Minimum Fungsi Multivariabel dengan Turunan Parsial dan Matriks Hessian," *All Fields of Science Journal Liaison Academia and Society*, vol. 2, no. 2, pp. 101–109, Jun. 2022, doi: https://doi.org/10.58939/.

[20] A. Yunani and S. D. Firmialy, "Improving Financial Performance Through Probabilistic Inventory Management and Cost Efficiency Analysis: Learn from A Dairy Milk Cooperative," *Jurnal Riset Bisnis dan Manajamen*, vol. 18, no. 1, pp. 106–121, Feb. 2025, doi: https://doi.org/10.23969/jrbm.v18i1.

[21] C. Çalışkan, "A Comparison of Simple Closed-Form Solutions for the EOQ Problem for Exponentially Deteriorating Items," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 14, pp. 1–23, Jul. 2022, doi: 10.3390/su14148389.