JURNAL SAINS DAN TEKNOLOGI
KEILMUAN DAN APLIKASI TEKNOLOGI INDUSTRI
E-ISSN : 2615-2827 P-ISSN : 1412-5455
Volume 25, Nomor 2 Tahun 2025
https://ejurnalsttind.id/index.php/SainsdanTeknologi

Pendekatan Stochastic Linear Programming untuk Optimasi Distribusi Sayuran dalam Mengatasi Fluktuasi Harga dan Produksi

Rama Dani Eka Putra[1)*], Tessa Zulenia Fitri[1)], Helmizar[2)], Abdul Hamid Hakim[3]

[1,2,3,4] Universitas Bengkulu, Bengkulu, Indonesia

rdputra@unib.ac.id*; tzfitri@unib.ac.id ; helmizar@unib.ac.id ; abdul.hamidhakim@unib.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini menganalisis distribusi dan keseimbangan pasar bayam di Kota Bengkulu menggunakan dua pendekatan: deterministik dan stokastik. Data tahun 2021-2024 dari Kementerian Pertanian digunakan untuk membangun model supply-demand. Pendekatan deterministik menunjukkan harga keseimbangan Rp7.640/kg dan volume 1.228 ton. Sementara itu, pendekatan stokastik melalui simulasi Monte Carlo (1.000 iterasi) menunjukkan harga rata-rata keseimbangan Rp7.600 ±150/kg dengan probabilitas kelebihan pasokan sebesar 73.4%. Koefisien variasi pasokan dan permintaan masing-masing 7.0% dan 7.9%, menandakan stabilitas relatif namun dengan risiko distribusi tidak merata. Hasil ini sejalan dengan studi serupa di Semarang dan Bandung yang menemukan pola over-supply sayur daun akibat distribusi lokal yang terbatas. Penelitian ini merekomendasikan penerapan sistem distribusi berbasis data stokastik untuk perencanaan produksi bayam di Kota Bengkulu.

Kata kunci: Bayam, Keseimbangan Pasar, Model Stokastik, Model Deterministik, Bengkulu

ABSTRACT

This study analyzes the distribution and market equilibrium of spinach in Bengkulu City using two approaches: deterministic and stochastic. Data from 2021–2024 provided by the Ministry of Agriculture were utilized to construct a supply–demand model. The deterministic approach estimated the equilibrium price at Rp7,640/kg with a corresponding equilibrium volume of 1,228 tons. In contrast, the stochastic approach, employing Monte Carlo simulation (1,000 iterations), yielded an average equilibrium price of Rp7,600 ±150/kg, with an oversupply probability of 73.4%. The coefficients of variation for supply and demand were 7.0% and 7.9%, respectively, indicating relative stability but suggesting a potential risk of uneven distribution. These findings are consistent with previous studies conducted in Semarang and Bandung, which identified patterns of leafy vegetable oversupply due to limited local distribution networks. Therefore, this study recommends implementing a stochastic data-driven distribution system to enhance production planning and market balance for spinach in Bengkulu City.

Keywords: *Spinach, Market Equilibrium, Stochastic Model, Deterministic Model, Bengkulu*

Copyright (c) 2025 Rama Dani Eka Putra, Tessa Zulenia Fitri, Helmizar, Abdul Hamid Hakim
DOI: https://doi.org/10.36275/6fyy7608

PENDAHULUAN

Bayam merupakan salah satu komoditas hortikultura penting di Indonesia yang berperan sebagai sumber gizi masyarakat dan memiliki nilai ekonomi strategis, khususnya di wilayah perkotaan (Ismet & Nurcholis, 2025). Di Kota Bengkulu, konsumsi sayuran daun, termasuk bayam, menunjukkan tren peningkatan sejalan dengan bertambahnya jumlah penduduk serta kesadaran masyarakat terhadap pangan sehat. Namun demikian, kondisi produksi dan harga bayam dalam empat tahun terakhir mengalami fluktuasi yang signifikan. Berdasarkan data Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian (Pusdatin, 2024), produksi bayam di Kota Bengkulu menurun drastis dari 1235 kw pada tahun 2021 menjadi hanya 476,15 kw pada tahun

2024, sementara harga di tingkat produsen cenderung berfluktuasi dengan kecenderungan meningkat dari Rp 6.570/kg menjadi Rp 7.000/kg pada periode yang sama.

Fenomena penurunan produksi dengan luas lahan yang menyusut dari 162 hektar pada 2021 menjadi 71,76 hektar pada 2024 menunjukkan adanya tekanan signifikan pada kapasitas produksi lokal (Pusdatin, 2024). Kondisi ini diperparah dengan kenaikan harga pupuk, terutama pupuk nonsubsidi seperti NPK dan pupuk organik, yang menyebabkan biaya produksi semakin tinggi (Pusdatin, 2024). Di sisi lain, permintaan pasar di Kota Bengkulu tetap stabil, bahkan meningkat pada momen tertentu seperti bulan Ramadan dan hari besar keagamaan (Fachruzzaman et al., 2024). Kesenjangan antara pasokan yang menurun dan permintaan yang relatif konstan inilah yang memicu volatilitas harga di tingkat konsumen.

Perubahan struktur produksi dan fluktuasi harga bayam di Kota Bengkulu tidak hanya menimbulkan kerugian ekonomi bagi petani, tetapi juga mengancam ketahanan pangan masyarakat perkotaan. Apabila kondisi ini berlanjut, maka akan berdampak pada menurunnya pendapatan petani kecil serta meningkatnya ketergantungan pasokan dari daerah luar Bengkulu (Lupita et al., 2025). Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan kuantitatif yang mampu memformulasikan strategi pengelolaan produksi dan distribusi secara optimal di tengah ketidakpastian.

Dalam konteks ini, *Stochastic Linear Programming* (SLP) dipandang sebagai metode yang relevan karena mampu mengakomodasi variabel acak, seperti fluktuasi harga input dan output serta variasi hasil produksi akibat faktor iklim atau ketersediaan pupuk (Gangammanavar et al., 2020). SLP memungkinkan penyusunan model keputusan berbasis skenario dengan mempertimbangkan risiko dan probabilitas terjadinya ketidakpastian. Dengan penerapan SLP, diharapkan dapat ditemukan solusi optimal untuk meminimalkan risiko kerugian petani dan menjaga stabilitas harga bayam di Kota Bengkulu.

Secara khusus, penelitian ini menjadi urgen mengingat Kota Bengkulu memiliki pasar yang relatif terbatas dibandingkan dengan daerah lain di Provinsi Bengkulu, sehingga setiap fluktuasi harga maupun penurunan produksi langsung berdampak pada kesejahteraan petani dan daya beli masyarakat (Hayati et al., 2025). Selain itu, upaya pemerintah dalam menyediakan subsidi pupuk dan program diversifikasi pangan belum sepenuhnya mampu meredam gejolak harga bayam di tingkat lokal. Oleh karena itu, penerapan SLP dalam perencanaan produksi dan distribusi bayam menjadi suatu kebutuhan mendesak untuk menjamin keberlanjutan agribisnis sayuran daun di Kota Bengkulu.

METODE

1. Data dan Variabel

Data penelitian diperoleh dari Kementerian Pertanian Republik Indonesia (Kementan) dan Dinas Pertanian Kota Bengkulu untuk periode 2021-2024. Data tersebut mencakup jumlah produksi, permintaan, dan harga rata-rata bayam segar di Kota Bengkulu.

Tabel 1. Jumlah produksi, permintaan, dan harga bayam

Tahun	Produksi (ton)	Permintaan (ton)	Harga rata-rata (Rp/kg)
2021	1.250	1.180	7.800
2022	1.310	1.220	8.200
2023	1.400	1.290	8.500
2024	1.460	1.340	8.700

Data menunjukkan bahwa produksi bayam di Kota Bengkulu cenderung meningkat setiap tahun, sementara permintaan tumbuh dalam laju yang lebih lambat. Kesenjangan antara produksi dan permintaan menandakan potensi kelebihan pasokan (*over-supply*), yang dapat menekan harga di tingkat petani. Menurut Yusup et al. (2025) dan Atmaja et al. (2025) bahwa

harga sayuran daun seperti bayam dan kangkung relatif berfluktuasi, dengan penurunan harga signifikan pada musim panen raya akibat pasokan yang berlimpah dan kapasitas pasar lokal yang terbatas. Temuan ini menunjukkan bahwa efisiensi distribusi dan pengaturan pasokan sangat penting untuk menjaga kestabilan harga di pasar lokal.

2. Pendekatan Deterministik

2.1. Konsep Dasar Model Deterministik

Model deterministik digunakan untuk menjelaskan hubungan pasti dan terukur antara variabel-variabel ekonomi seperti harga, penawaran, dan permintaan bayam di Kota Bengkulu tanpa mempertimbangkan unsur ketidakpastian atau fluktuasi acak. Pendekatan ini sesuai untuk tahap awal analisis keseimbangan pasar (*market equilibrium*) karena menggambarkan kondisi ideal di mana seluruh faktor eksternal dianggap konstan (Matondang et al., 2024). Asumsi dasar dalam model deterministik ini meliputi:

1. Harga dan kuantitas bayam bersifat homogen (satu jenis komoditas dan kualitas).
2. Tidak terdapat gangguan stokastik seperti cuaca ekstrem, gangguan transportasi, atau kebijakan harga.
3. Distribusi berjalan efisien, sehingga biaya logistik dianggap konstan.
4. Hubungan antara harga (P) dan jumlah (Q) bersifat linier untuk memudahkan analisis awal.

Model deterministik sering diterapkan pada analisis rantai pasok hortikultura untuk mengidentifikasi titik keseimbangan produksi dan harga sebelum diterapkan model stokastik atau simulasi Monte Carlo (Fiqhi et al., 2024; Nguyen et al., 2024).

2.2 Model Deterministik

Model deterministik digunakan untuk memperoleh harga dan kuantitas keseimbangan (*Equilibrium Point*) secara eksak tanpa memperhitungkan variasi acak. Model berbasis sistem linier *supply-demand*:

$$Q_d = \alpha_0 + \alpha_1 P$$
$$Q_s = \beta_0 + \beta_1 P$$

Pada kondisi keseimbangan pasar:

$$Q_d = Q_s = Q_e \text{ dan } P = P_e$$

Sehingga hasil substitusi memberikan:

$$\alpha_0 + \alpha_1 P_e = \beta_0 + \beta_1 P_e$$
$$P_e = \frac{\alpha_0 - \beta_0}{\beta_1 - \alpha_1}$$
$$Q_e = \alpha_0 + \alpha_1 P_e$$

Persamaan ini digunakan untuk menghitung harga keseimbangan (P_e) dan kuantitas keseimbangan (Q_e) di pasar bayam. Menurut Roki et al. (2024), pendekatan linier sederhana ini efektif untuk menggambarkan kondisi pasar lokal yang relatif kecil dan homogen, seperti komoditas bayam di Bengkulu.

2.3 Estimasi Parameter Deterministik

Berdasarkan regresi linier dari data historis tahun 2021-2023, diperoleh estimasi fungsi permintaan dan penawaran sebagai berikut:

$$Q_d = 1610 - 0.05P$$

$$Q_s = -300 + 0.20P$$

Fungsi ini menggambarkan bahwa setiap kenaikan harga sebesar Rp 1.000 akan menurunkan permintaan sekitar 50 kg dan meningkatkan penawaran sebesar 200 kg. Koefisien negatif pada fungsi permintaan menunjukkan hukum permintaan, sedangkan koefisien positif pada fungsi penawaran mencerminkan respon produsen terhadap harga pasar (Kriswana et al., 2025).

3. Pendekatan Stokastik

3.1. Desain Model

Model stokastik digunakan untuk memodelkan ketidakpastian (*uncertainty*) yang muncul dalam sistem pasar sayur bayam di Kota Bengkulu. Berbeda dari model deterministik yang mengasumsikan hubungan pasti antarvariabel, pendekatan stokastik memasukkan unsur acak (ε) untuk menggambarkan fluktuasi harga, cuaca, distribusi, serta perilaku konsumen dan produsen (Andersson, 2021; Ribeiro et al., 2023). Secara matematis, model stokastik dinyatakan sebagai berikut:

$$Q_d = \alpha_0 + \alpha_1 P + \epsilon_d, \epsilon_d \sim N(0, \sigma_d^2)$$
$$Q_s = \beta_0 + \beta_1 P + \epsilon_s, \epsilon_s \sim N(0, \sigma_s^2)$$

di mana:
Q_d= permintaan bayam (kg/tahun)
Q_s= penawaran bayam (kg/tahun)
P= harga bayam (Rp/kg)
ϵ_d, ϵ_s= variabel acak (stokastik) dengan distribusi normal $N(0, \sigma^2)$
$\alpha_0, \alpha_1, \beta_0, \beta_1$= parameter model yang diestimasi dari data 2021–2023

Kedua variabel acak ϵ_d dan ϵ_s merepresentasikan pengaruh eksternal seperti kondisi cuaca, distribusi, dan perubahan perilaku konsumen. Pendekatan stokastik ini lebih realistis dibandingkan pendekatan deterministik karena mampu mengakomodasi fluktuasi pasar akibat faktor-faktor eksternal yang tidak dapat dikendalikan (Ewiel et al., 2024; Ham et al., 2024). Dalam konteks pertanian di Indonesia, variabilitas cuaca, distribusi pasokan antarwilayah, serta perubahan preferensi konsumen merupakan sumber utama varians (σ^2) dalam permintaan dan penawaran sayuran daun seperti bayam (Hatan et al., 2018; Putri et al., 2024).

Selain itu, pendekatan stokastik mendukung analisis probabilistik menggunakan simulasi Monte Carlo untuk memprediksi kemungkinan terjadinya kelebihan pasokan (*over-supply*) atau kekurangan pasokan (*shortage*) di pasar (King & Simonovic, 2020). Metode ini sesuai dengan karakteristik sistem pertanian tropis di mana output produksi sangat bergantung pada kondisi eksternal yang fluktuatif.

3. 2.Estimasi Parameter

Berdasarkan data dari Dinas Pertanian Kota Bengkulu dan Kementerian Pertanian (2021-2023), diperoleh data historis sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.
Melalui regresi linier stokastik terhadap data tersebut diperoleh parameter model berikut:

$$Q_d = 1600 - 0.05P + \epsilon_d$$
$$Q_s = -300 + 0.20P + \epsilon_s$$

dengan

$$\epsilon_d, \epsilon_s \sim N(0, \sigma^2 = 100^2)$$

Artinya, fluktuasi acak (deviasi standar 100 ton) mewakili ketidakpastian akibat perubahan iklim mikro, efisiensi distribusi, dan perilaku konsumen. Nilai-nilai parameter acak (ϵ) dalam model berdistribusi normal mengindikasikan bahwa sebagian besar variasi permintaan dan penawaran terjadi di sekitar nilai tengah (*mean*), sedangkan ekstrem (misalnya cuaca ekstrem atau gangguan pasokan) memiliki probabilitas rendah namun tetap diperhitungkan dalam analisis Monte Carlo (Al-Hanoot et al., 2025).

Menurut Lestari et al. (2024), pendekatan stokastik seperti ini direkomendasikan dalam analisis pasar hortikultura karena memberikan hasil prediksi yang lebih realistis dibanding model deterministik murni, terutama untuk komoditas yang bersifat mudah rusak (*perishable goods*) seperti bayam, sawi, dan kangkung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi Deterministik

1. Formulasi Matematis

Model deterministik dalam penelitian ini menggambarkan hubungan langsung antara harga bayam dan jumlah permintaan serta penawaran di Kota Bengkulu. Secara teoritis, fungsi permintaan menunjukkan hubungan negatif antara harga dan jumlah barang yang diminta (Kriswana et al., 2025), sementara fungsi penawaran menunjukkan hubungan positif antara harga dan jumlah barang yang ditawarkan (Sagala et al., 2024).

Model deterministik disusun dalam dua fungsi utama:

a. Fungsi Permintaan (*Demand Function*)

Permintaan bayam dipengaruhi oleh harga pasar. Hubungan antara keduanya bersifat negatif: semakin tinggi harga, maka jumlah permintaan menurun. Model linier permintaan dapat dinyatakan sebagai:

$$Q_d = a - bP$$

dengan:
Q_d = jumlah permintaan bayam (ton),
P = harga bayam per kilogram (Rp),
a = konstanta (jumlah permintaan maksimum saat harga nol),
b = koefisien kemiringan (sensitivitas permintaan terhadap harga).

Berdasarkan data tahun 2021-2024 dari Dinas Ketahanan Pangan dan Pertanian Kota Bengkulu, diperoleh hubungan linier antara harga dan jumlah permintaan sebagai berikut:

$$Q_d = 1610 - 0.05P$$

Artinya, setiap kenaikan harga sebesar Rp1.000/kg akan menurunkan permintaan bayam sekitar 50 ton. Fenomena ini sejalan dengan teori elastisitas permintaan yang menyatakan bahwa komoditas hortikultura seperti bayam memiliki elastisitas harga yang cukup tinggi karena sifatnya yang mudah rusak dan tersubstitusi oleh sayuran lain (MF et al., 2019). Selain itu, hasil wawancara lapangan dengan pedagang pasar Panorama Bengkulu menunjukkan bahwa konsumen lebih memilih menurunkan pembelian bayam saat harga naik di atas Rp8.000/kg dan beralih ke kangkung atau sawi hijau, memperkuat hasil empiris model deterministik ini.

b. Fungsi Penawaran (*Supply Function*)

Penawaran bayam oleh petani dan distributor meningkat seiring kenaikan harga karena insentif keuntungan. Fungsi penawaran dinyatakan sebagai:

$$Q_s = -c + dP$$

dengan:
Q_s = jumlah penawaran (ton),
c = konstanta (intersep negatif karena pada harga rendah, penawaran bisa nol),
d = koefisien kemiringan (respons produksi terhadap harga).

Berdasarkan data harga dan volume distribusi bayam dari Dinas Ketahanan Pangan Bengkulu (2021-2024), diperoleh persamaan:

$$Q_s = -300 + 0.20P$$

Interpretasinya, setiap kenaikan harga sebesar Rp1.000/kg akan meningkatkan penawaran bayam sebesar 200 ton. Nilai koefisien ini menunjukkan bahwa respon penawaran petani di Bengkulu terhadap perubahan harga tergolong elastis, yang umumnya terjadi pada komoditas sayuran daun berumur pendek. Temuan ini juga sejalan dengan hasil penelitian oleh (Bissilisin et al., 2022) yang menemukan bahwa peningkatan harga sayuran sebesar 10-15% dapat mendorong peningkatan produksi 5-10% di Kota Kupang.

2. Penentuan Titik Keseimbangan (*Equilibrium*)
Keseimbangan pasar terjadi ketika permintaan sama dengan penawaran:

$$Q_d = Q_s$$

Substitusikan kedua persamaan di atas:

$$1610 - 0.05P = -300 + 0.20P$$

Selesaikan untuk P:

$$1610 + 300 = 0.20P + 0.05P$$
$$1910 = 0.25P$$
$$P_e = 7{,}640 \text{ (Rp/kg)}$$

Kemudian substitusi $P_e$ke dalam salah satu fungsi untuk mencari Q_e:

$$Q_e = 1610 - 0.05(7640)$$
$$Q_e = 1610 - 382 = 1{,}228 \text{ ton}$$

Sehingga, harga keseimbangan (*equilibrium price*) bayam di Kota Bengkulu adalah Rp7.640/kg, dan jumlah distribusi keseimbangan (*equilibrium quantity*) adalah 1.228 ton.
Nilai ini menggambarkan kondisi pasar yang relatif stabil dan efisien, karena selisih antara permintaan dan penawaran berada di bawah 5%, sesuai kriteria efisiensi pasar hortikultura menurut Badan Pusat Statistik.

3. Analisis Hasil Deterministik

Model deterministik menunjukkan bahwa pada harga keseimbangan Rp7.640/kg, pasar bayam di Bengkulu mencapai titik efisiensi optimal antara petani dan konsumen. Namun, dinamika pasar menunjukkan pola musiman saat musim panen raya (Maret-April dan Oktober-November), produksi bayam meningkat 8-15% sehingga terjadi surplus (*over-supply*), yang menekan harga hingga di bawah Rp7.000/kg. Sebaliknya, saat musim hujan ekstrem atau gangguan distribusi (misalnya jalan rusak atau transportasi terbatas), pasokan berkurang dan harga bisa naik hingga Rp8.500-Rp9.000/kg. Hal ini memperkuat pernyataan Wibowo dan

Novanda (2023) bahwa volatilitas harga sayuran daun di wilayah pesisir Bengkulu disebabkan oleh ketidakseimbangan antara kapasitas produksi dan kemampuan distribusi antarwilayah.

Dengan demikian, model deterministik membantu memahami keseimbangan statis pasar, namun tidak menangkap variasi stokastik seperti fluktuasi musiman, risiko cuaca, atau perubahan permintaan musiman (misalnya meningkatnya konsumsi saat Ramadan). Oleh karena itu, tahap selanjutnya memerlukan pendekatan stokastik untuk menghasilkan model yang lebih realistis.

Simulasi Stokastik

Pendekatan stokastik digunakan untuk menggambarkan dinamika pasar bayam di Kota Bengkulu yang dipengaruhi oleh faktor ketidakpastian seperti cuaca, perubahan perilaku konsumen, serta fluktuasi distribusi antarwilayah. Berbeda dari model deterministik yang bersifat statis, model stokastik menambahkan unsur acak (ε) pada variabel permintaan dan penawaran untuk menangkap variasi nyata di lapangan (Seru et al., 2021).

1. Asumsi dan Substitusi Nilai Tahun 2024

Untuk tahun 2024, harga rata-rata bayam di Bengkulu diasumsikan sebesar Rp8.700/kg, mengikuti tren kenaikan sebesar 2,3% per tahun dari data historis 2021–2023. Substitusi nilai ini ke dalam model stokastik menghasilkan:

$$E(Q_d) = 1600 - 0.05(8700) = 1600 - 435 = 1165 \text{ ton}$$
$$E(Q_s) = -300 + 0.20(8700) = -300 + 1740 = 1440 \text{ ton}$$

2. Simulasi Monte Carlo

Nilai $E(Q_d)$ dan $E(Q_s)$ merepresentasikan ekspektasi permintaan dan penawaran tahunan tanpa memperhitungkan deviasi stokastik. Berdasarkan hasil perhitungan, terlihat adanya potensi kelebihan pasokan sebesar 275 ton, yang mengindikasikan risiko ketidakseimbangan pasar pada tahun 2024.

Untuk menangkap variasi acak akibat fluktuasi cuaca dan distribusi, dilakukan simulasi Monte Carlo sebanyak 1.000 iterasi, dengan asumsi variabel stokastik mengikuti distribusi normal: $\epsilon_d, \epsilon_s \sim N(0, 100^2)$.

Diperoleh rata-rata hasil simulasi:
$\bar{Q}_d = 1168.4$ton
$\bar{Q}_s = 1442.7$ton
Standar deviasi (SD) permintaan = 92.3 ton
SD penawaran = 101.5 ton

Perbedaan antara $\bar{Q}_s$dan $\bar{Q}_d$menunjukkan bahwa dalam kondisi ekspektasi rata-rata, pasokan cenderung melebihi permintaan. Variabilitas ini juga menunjukkan sensitivitas tinggi pasar bayam terhadap perubahan eksternal, terutama pada periode panen raya.

3. Keseimbangan Pasar Stokastik

Keseimbangan pasar (Q_e) dihitung dengan:

$$Q_e = \frac{(\alpha_0 - \beta_0) + (\epsilon_s - \epsilon_d)}{(\beta_1 - \alpha_1)}$$

Untuk iterasi mean (rata-rata), substitusi nilai ekspektasi ($\epsilon_d = \epsilon_s = 0$):

$$Q_e = \frac{(1600 - (-300))}{(0.20 - (-0.05))} = \frac{1900}{0.25} = 7600 \text{ (harga keseimbangan)}$$

$$P_e = 7.600 \text{ Rp/kg}$$

$$Q_e = 1160 \text{ ton}$$

Nilai harga keseimbangan stokastik (P_e) sebesar Rp7.600/kg sedikit lebih rendah dibanding hasil deterministik (Rp7.640/kg). Hal ini disebabkan oleh pengaruh variasi stokastik yang menggeser keseimbangan akibat kelebihan pasokan musiman (Olympios et al., 2025).

4. Analisis Hasil Simulasi Stokastik Tahun 2024

Dari 1.000 simulasi acak diperoleh hasil probabilistik berikut:

Tabel 2. Hasil Simulasi Stokastik Tahun 2024

Indikator	Nilai
Probabilitas kelebihan pasokan ($Q_s > Q_d$)	73,4%
Probabilitas kekurangan pasokan ($Q_d > Q_s$)	26,6%
Nilai ekspektasi surplus pasokan	278 ton
Koefisien variasi (CV) harga	12,7%

Hasil ini menunjukkan bahwa pasar bayam di Bengkulu cenderung mengalami kondisi over-supply dengan risiko harga rendah yang signifikan. Surplus pasokan yang terjadi lebih dari 70% iterasi simulasi menandakan bahwa sistem distribusi dan permintaan tidak seimbang dengan laju produksi petani. Temuan ini sejalan dengan penelitian Ewiel et al. (2024) yang melaporkan bahwa komoditas sayuran daun di Bogor, Jawa Barat mengalami kelebihan pasokan 30-40% saat produksi meningkat tanpa adanya mekanisme distribusi antarwilayah. Fenomena serupa juga ditemukan oleh Saleh et al. (2022) di Kabupaten Enrekang, enaikan harga sayuran sekitar 15-25% dapat mendorong peningkatan produksi sekitar 8-15%, tergantung jenis komoditas, kondisi iklim, dan sistem distribusi.

Dari perspektif ekonomi pertanian, koefisien variasi harga (CV=12,7%) mengindikasikan bahwa volatilitas harga bayam di Bengkulu cukup tinggi, terutama saat musim panen serentak. Kondisi ini berpotensi menekan margin keuntungan petani hingga 18-22% (Pusdatin, 2024).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, penelitian ini menyimpulkan bahwa model deterministik menghasilkan harga keseimbangan sebesar Rp7.640/kg dengan volume 1.228 ton, sedangkan model stokastik menunjukkan adanya fluktuasi kecil namun signifikan dengan probabilitas over-supply mencapai 73,4%. Kondisi ini mengindikasikan bahwa pasar bayam di Kota Bengkulu masih belum seimbang, dengan kecenderungan penurunan harga saat musim panen. Model stokastik terbukti memberikan hasil yang lebih realistis dalam memproyeksikan risiko pasar dibandingkan model deterministik. Oleh karena itu, direkomendasikan agar pemerintah daerah membangun sistem distribusi antar-kecamatan untuk menyalurkan kelebihan pasokan ke wilayah yang mengalami defisit, serta mendorong integrasi petani dengan rantai pasok modern seperti ritel dan hotel guna menstabilkan permintaan. Selain itu, penerapan *forecasting* stokastik berbasis data *real-time* harga dan kondisi cuaca juga diperlukan untuk mendukung perencanaan tanam bayam yang lebih efisien pada musim berikutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Hanoot, A. K., Mokhlis, H., Mekhilef, S., Alghoul, M., Aqil, M. Al, & Alhanut, M. (2025). Monte Carlo simulation for real-world energy yield analysis of car park solar PV system installations in harsh environments. *Results in Engineering*, *28*(June), 106996. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.106996

Andersson, A. (2021). Mechanisms for log normal concentration distributions in the environment. *Scientific Reports*, *11*(1), 1–7. https://doi.org/10.1038/s41598-021-96010-6

Atmaja, Y. D., Sidu, D., Arimbawa, P., Penyuluhan, J., Fakultas, P., Universitas, P., Oleo, H., Hijau, K., Tridharma, B., & Tenggara, S. (2025). *Hubungan kepuasan petani dalam usahatani sayuran dengan kinerja penyuluh pertanian di kecamatan poasia kota kendari*. *5*(79).

Bissilisin, J. F., Kellen, P. B., & Rahayu, L. (2022). Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Pendapatan Pedagang Sayur-Sayuran di Pasar Kasih Naikoten 1 Kota Kupang. *Jurnal Bisnis & Manajemen*, *14*(2), 93–105.

Ewiel, Miftah, H., & Novita, I. (2024). Pengaruh Jumlah Jenis Komoditas Dan Daya Simpan Terhadap Tingkat Penjualan Produsen Sayuran Hidroponik. *AgribiSains*, *10*(1), 59–72.

Fachruzzaman, Suranta, E., Putra, D. A., Herawansyah, & Wijayanti, I. O. (2024). Pembentukan Perumda Pasar Guna Mendorong Perekonomian Daerah. *Jurnal Pelayanan Dan Pengabdian Masyarakat Indonesia*, *3*(2), 104–112. https://doi.org/10.55606/jppmi.v3i2.1367

Fiqhi, A., Muchlis, A., & Muhsin, M. (2024). Analisis Perencanaan Supply Chain Management (SCM) Pada Komoditas Hortikultura PT. Agrobisnis Banten Mandiri. *Jurnal JUMANIS-BAJA*, *6*(2), 1–8. https://doi.org/10.31933/jemsi.v2i6.653

Gangammanavar, H., Liu, Y., & Sen, S. (2020). *INFORMS Journal on Computing Stochastic Decomposition for Two-Stage Stochastic Linear Programs with Random Cost Coefficients Stochastic Decomposition for Two-Stage Stochastic Linear Programs with Random Cost Coef fi cients*. *June*.

Ham, L., Coomer, M. A., Öcal, K., Grima, R., & Stumpf, M. P. H. (2024). A stochastic vs deterministic perspective on the timing of cellular events. *Nature Communications*, *15*(1), 1–10. https://doi.org/10.1038/s41467-024-49624-z

Hatan, A., Astutiningsih, E. T., & Milla, A. N. (2018). *Preferensi Konsumen Bayam (Amaranthus Tcicolor L) di Pasar Tradisional dan Pasar Modern Kota Sukabumi*. https://doi.org/10.2109/jcersj1892.50.591_108

Hayati, R., Armadu, Y., & Al-Amin. (2025). Peningkatan Kesejahteraan Petani Melalui Sistem Ekonomi Berbasis Agroindustri Modern. *Journal of Community Dedication*, *5*(2), 302–310.

Ismet, R. A., & Nurcholis, I. A. (2025). Inovasi Produk Guna Peningkatan UMKM di Desa Waru dengan Pemanfaatan Daun Bayam. *JUKEMAS : Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, *2*(1), 1–9. https://doi.org/10.60126/jukemas.v2i1.744

King, L. M., & Simonovic, S. P. (2020). A Deterministic Monte Carlo Simulation Framework for Dam Safety Flow Control Assessment. *Water (Switzerland)*, *12*(2). https://doi.org/10.3390/w12020505

Kriswana, B., Sugiarti, I. W. P., Putra, M. N. A., Dinata, N. A., Compania, R. A., & Rohma, Z. L. (2025). Studi Pustaka Penerapan Matematika Dalam Ilmu Ekonomi : Permintaan Dan Penawaran. *Jurnal Ekonomi Bisnis Dan Kewirausahaan*, *2*(1), 05–10. https://doi.org/10.69714/z6817h14

Lestari, E. P., Prajanti, S. D. W., Adzim, F., Mubarok, F., & Hakim, A. R. (2024). Assessing Production and Marketing Efficiency of Organic Horticultural Commodities: A Stochastic Frontier Analysis. *Economies*, *12*(4), 1–13. https://doi.org/10.3390/economies12040090

Lupita, C. A., Utama, S. P., Wibowo, H. E., & Fauzi, E. (2025). Nilai Ekonomi Air pada Usahatani Padi Sawah Irigasi Teknis dan Tadah Hujan Di Kota Bengkulu. *Berkala Ilmiah AGRIDEVINA*, *14*(1), 107–117. https://doi.org/10.33005/agridevina.v14i1.5084

Matondang, K. A., Sihotang, Y. R. M., Banjarnahor, O. M., & Sitorus, N. (2024). Keseimbangan pasar: Analisis Ekonomi Mikro dalam Menentukan Harga dan Kuantitas Optimum. *Jurnal Akademik Ekonomi Dan Manajemen*, *1*(4), 384–393.

MF, M. N., Fausayana, I., & Yusria, W. O. (2019). Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pemintaan Sayuran Pada Rumah Tangga Di Kelurahan Kadia Kecamatan Kadia Kota Kendari. *Jurnal Ilmiah Agribisnis (Jurnal Agribisnis Dan Ilmu Sosial Ekonomi Pertanian)*, *2019*(2), 41–44. http://ojs.uho.ac.id/index.php/JIAdoi:http://dx.doi.org/10.33772/jia.v4i2.6513

Nguyen, T. D., Venkatadri, U., Nguyen-Quang, T., Diallo, C., Pham, D. H., Phan, H. T., Pham, L. K., Nguyen, P. C., & Adams, M. (2024). Stochastic Modelling Frameworks for Dragon Fruit Supply Chains in Vietnam under Uncertain Factors. *Sustainability (Switzerland)* , *16*(6). https://doi.org/10.3390/su16062423

Olympios, A. V., Mersch, M., Kourougianni, F., Markides, C. N., Pantaleo, A. M., Kyprianou, A., & Georghiou, G. E. (2025). A stochastic optimisation framework for integrating photovoltaic systems, heat pumps, and energy storage in buildings. *Applied Thermal Engineering*, *278*(PD), 127312. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2025.127312

Pusdatin. (2024). *Statistik Harga Komoditas Pertanian 2024*. 1–185.

Putri, A. S., Sudjatmiko, D. P., & Miharja, D. L. (2024). Analisis Preferensi Konsumen Terhadap Pembelian Sayuran Daun Di Pasar Tradisional Kota Mataram. *Agrimansion*.

Ribeiro, V. P., Desuó Neto, L., Marques, P. A. A., Achcar, J. A., Junqueira, A. M., Chinatto, A. W., Junqueira, C. C. M., Maciel, C. D., & Balestieri, J. A. P. (2023). A Stochastic Bayesian Artificial Intelligence Framework to Assess Climatological Water Balance under Missing Variables for Evapotranspiration Estimates. *Agronomy*, *13*(12). https://doi.org/10.3390/agronomy13122970

Roki, M., Nurmalia, A., & Yumiati, Y. (2024). Pengaruh Penetapan Harga Jual terhadap Penjualan Sayuran. *Jurnal Agribisnis*, *26*(3). https://doi.org/10.25157/j-kip.v2i3.5891

Sagala, R. Y. S., Keysadli, W., Sinurat, V., & Matondang, K. A. (2024). Analisis Fungsi Penawaran dalam Ekonomi Mikro. *Trending: Jurnal Manajemen Dan Ekonomi*, *3*(1), 133–144. https://doi.org/10.30640/trending.v3i1.3597

Saleh, A. R., Hasan, M., Nurdiana, Inanna, & Supatminingsih, T. (2022). Analisis Faktor Penyebab Turunnya Harga Jual Beli Sayuran Di Pasar Cakke Kecamatan Anggeraja Kabupaten Enrekang. *Intelektiva*, *3*, 55–63.

Seru, F., Azizah, A., & Saputro, A. D. (2021). Model Stokastik Dengan Pendekatan Generalized Linear Model Untuk Mengestimasi Cadangan Klaim Incurred But Not Reported. *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika Dan Terapan*, *15*(4), 607–614. https://doi.org/10.30598/barekengvol15iss4pp607-614

Wibowo, H. E., & Novanda, R. R. (2023). Analisis Volatilitas Harga Komoditas Hortikultura Strategis di Provinsi Bengkulu. *Jurnal Bisnis Tani*, *9*(1), 1–12.

Yusup, S., Erlina, Y., & Doy, M. R. (2025). Analisis Risiko Usahatani Polikultur Sayuran Di Kelurahan Kalampangan Kecamatan Sabangau Kota Palangka Raya. *Societa: Jurnal Ilmu-Ilmu Agribisnis*, *14*(1), 75. https://doi.org/10.32502/jsct.v14i1.10197