



Pemodelan Matematis Optimasi Dual Channel pada Sistem Distribusi Jeruk dengan Pendekatan Multi-Objective Linear Programming

Silvi Agustina¹, Pipit Sari Puspitorini², Ismi Yayuk Rakhmawati³

1,2,3 Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Islam Majapahit,

Jl. Raya Jabon, Jabon, Kec. Mojoanyar, Kab. Mojokerto, Jawa Timur.

Email: sagustina.2022@unim.ac.id

ABSTRAK

Studi ini mengembangkan model matematis pada sistem distribusi jeruk *dual channel*. Pemodelan matematis digunakan untuk menggambarkan interaksi antarvariabel dalam sistem serta mengoptimalkan keputusan distribusi dan pengelolaan limbah secara simultan. Metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif melalui pemodelan *Multi-Objective Linear Programming* (MOLP) yang bertujuan mengoptimalkan dua fungsi, yaitu keuntungan ekonomi dan pengurangan limbah. Model mencakup dua saluran distribusi (tengkulak dan wisata petik) serta aliran balik berupa pengolahan limbah menjadi kompos. Untuk memperoleh solusi tunggal, digunakan *Weighted Sum Method* yang menggabungkan kedua fungsi objektif. Hasil optimasi menunjukkan bahwa seluruh distribusi dialokasikan ke saluran wisata petik sebesar 40.000 kg karena memberikan keuntungan yang lebih tinggi dibandingkan tengkulak. Limbah yang dihasilkan sebesar 6.000 kg, dengan 4.000 kg dimanfaatkan menjadi kompos dan 2.000 kg dibuang, sehingga menunjukkan adanya upaya minimisasi limbah dalam sistem. Hasil ini juga mengindikasikan bahwa model mampu memberikan solusi yang konsisten dan rasional sesuai dengan struktur parameter yang digunakan. Implikasi studi ini menunjukkan bahwa model yang dikembangkan dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam menentukan strategi distribusi dan pengelolaan limbah yang lebih efisien. Pengembangan studi selanjutnya dapat dilakukan dengan mempertimbangkan ketidakpastian permintaan, variasi harga, serta penggunaan metode optimasi multiobjektif lainnya untuk memperoleh solusi yang lebih robust.

Kata Kunci: Pemodelan Matematis, Dual Channel, Optimasi, Pengelolaan Limbah, Sistem Distribusi Jeruk

ABSTRACT

This study develops a mathematical model for a dual-channel orange distribution system. Mathematical modelling is used to describe the interactions between variables in the system and to simultaneously optimize distribution decisions and waste management. The method employed is a quantitative approach using Multi-Objective Linear Programming (MOLP) modelling, which aims to optimize two objectives: economic profit and waste reduction. The model includes two distribution channels (middlemen and pick-your-own tourism) as well as a feedback loop involving the processing of waste into compost. To obtain a single solution, the Weighted Sum Method was used, which combines the two objective functions. The optimization results show that the entire distribution is allocated to the pick-your-own tourism channel, amounting to 40,000 kg, because it yields higher profits compared to the middlemen channel. The generated waste amounts to 6,000 kg, with 4,000 kg utilized as compost and 2,000 kg disposed of, indicating efforts to minimize waste within the system. These results also indicate that the model is capable of providing consistent and rational solutions in accordance with the parameter structure used. The implications of this research suggest that the developed model can serve as a basis for decision-making in determining more efficient distribution and waste management strategies. Further research could be conducted by taking into account demand uncertainty and price variations, as well as by employing other multi-objective optimization methods to obtain more robust solutions.

Keywords: Mathematical Modeling, Dual Channel, Optimization, Waste Management, Orange Distribution System





PENDAHULUAN

Sektor pertanian memegang peranan penting sebagai penyedia kebutuhan pangan, penggerak perekonomian daerah, serta penunjang kesejahteraan masyarakat. Peran tersebut tidak terlepas dari keberadaan rantai pasok agro yang kompleks, yang melibatkan berbagai pihak seperti petani, pengepul, distributor, hingga pemerintah (Cabot et al., 2022; Luo et al., 2025; Puspitorini, Sholikha, et al., 2025). Studi-studi terkini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis optimasi dan pengelompokan titik distribusi dapat meningkatkan efisiensi dalam sistem distribusi komoditas (Puspitorini, Suparno, et al., 2025a). Meskipun produksi hortikultura, khususnya buah, mengalami peningkatan global dari 576,65 juta metrik ton pada tahun 2000 menjadi 951,91 juta metrik ton pada tahun 2023 (Cabot et al., 2022a; Statista Research Department, 2025), efisiensi sistem distribusi masih menjadi kendala utama. Kondisi ini berdampak pada tingginya biaya logistik dan rendahnya daya saing buah lokal (Siahaan, 2023; Zou et al., 2025).

Kondisi ini juga terlihat pada pola distribusi jeruk di Provinsi Jawa Timur yang membentuk empat rantai pemasaran dengan keterlibatan hingga tiga pedagang perantara dan total margin perdagangan serta pengangkutan mencapai 133,10% (Direktorat Statistik Distribusi, 2024). Hal ini dipengaruhi oleh faktor-faktor struktural dalam sistem distribusi, seperti terbatasnya infrastruktur logistik, minimnya fasilitas penyimpanan berpendingin (*cold chain*), serta ketergantungan petani terhadap pedagang perantara yang memperpanjang rantai pasok (Kementerian PPN/Bappenas, 2025; Siahaan, 2023). Pada tingkat petani, kondisi ini menyebabkan ketergantungan yang tinggi terhadap pedagang perantara, sehingga harga jual cenderung lebih rendah dan akses terhadap pasar langsung menjadi terbatas.

Sementara itu, pada tingkat distributor, tantangan yang dihadapi meliputi tingginya biaya transportasi, fluktuasi permintaan, serta risiko kerusakan produk selama proses distribusi, yang pada akhirnya mempengaruhi efisiensi sistem. Rantai pasok yang panjang, ketidakseimbangan pasokan dan permintaan, serta tingginya limbah pascapanen masih menjadi isu utama (Alzubi et al., 2024 ; Hosseini Shekarabi et al., 2025). Secara operasional, distribusi jeruk melibatkan dua saluran utama, yaitu tengkulak dan wisata petik (*agrotourism*) (Q. Zhang et al., 2025). Pola distribusi melalui tengkulak masih menjadi saluran dominan karena kemudahan akses dan kepastian penyerapan hasil panen, meskipun kondisi ini seringkali menempatkan petani pada posisi tawar yang lemah dalam penentuan harga. Pendekatan klastering lokasi dan optimasi rute kendaraan dapat meningkatkan efisiensi alokasi distribusi pada kedua saluran tersebut (Puspitorini, Suparno, et al., 2025b). Saluran tengkulak memberikan kepastian penyerapan hasil panen, namun menurunkan margin petani akibat banyaknya perantara (Ma et al., 2024; Raja et al., 2025). Sebaliknya, wisata petik memberikan nilai tambah lebih tinggi, tetapi bersifat tidak pasti karena bergantung pada kunjungan wisatawan (Le et al., 2025; Viana et al., 2022; G. Zhang et al., 2025). Pengembangan wisata petik sebagai alternatif distribusi langsung juga mulai didorong di beberapa daerah, termasuk di Kecamatan Dlanggu sebagai salah satu potensi agrowisata unggulan daerah (Peraturan Bupati Nomor 23 Tahun, 2024). Meskipun berpotensi saling melengkapi, kedua saluran ini masih dikelola secara terpisah sehingga belum menghasilkan alokasi distribusi yang optimal.

Selain permasalahan distribusi yang belum optimal, sistem rantai pasok jeruk ini juga menghasilkan limbah pada berbagai tahap, yang semakin memperkuat

kompleksitas pengelolaan sistem secara keseluruhan. Pada tingkat lokal, pengelolaan limbah jeruk masih dilakukan secara individual oleh petani dan belum terintegrasi dalam sistem kolektif, sehingga sebagian besar residu belum dimanfaatkan kembali dalam rantai pasok (Andika et al., 2025; Raja et al., 2025). Limbah jeruk yang sebagian besar belum dimanfaatkan tersebut, berpotensi menimbulkan dampak lingkungan, meskipun sebenarnya dapat diolah menjadi kompos untuk meningkatkan efisiensi sistem (Puspitorini & Muslimin, 2025; Raja et al., 2025). Dalam konteks integrasi antara distribusi dan pengelolaan limbah, *Closed-Loop Supply Chain* (CLSC) menjadi pendekatan yang relevan karena mengintegrasikan aliran maju dan aliran balik dalam satu sistem terkoordinasi (Momenitabar et al., 2022; Soleimani et al., 2021). Namun, studi yang menggabungkan keputusan alokasi dual channel dengan pengelolaan limbah dalam konteks distribusi komoditas hortikultura, khususnya jeruk di Indonesia, masih terbatas. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan pemodelan matematis untuk merepresentasikan keterkaitan antara keputusan distribusi dan pengelolaan limbah secara simultan. Pendekatan ini memungkinkan penentuan alokasi optimal pada dua saluran distribusi sekaligus pemanfaatan limbah dalam satu kerangka optimasi.

Studi ini mengembangkan model matematis *Closed-Loop Supply Chain* (CLSC) dual channel pada sistem distribusi jeruk yang mengintegrasikan keputusan alokasi distribusi dan pengelolaan limbah. Model ini bertujuan untuk menghasilkan solusi optimal dari sisi ekonomi sekaligus mendukung keberlanjutan sistem agribisnis jeruk.

METODE PENELITIAN

Studi ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode pemodelan matematis untuk merepresentasikan sistem distribusi jeruk dalam kerangka *Closed-Loop Supply Chain* (CLSC) *dual channel*. Pendekatan ini digunakan untuk menggambarkan hubungan antarvariabel dalam sistem secara terstruktur serta menentukan solusi optimal berdasarkan fungsi tujuan dan kendala yang telah dirumuskan.

Model yang dikembangkan menggunakan pendekatan *Multi-Objective Linear Programming* (MOLP) dengan dua tujuan utama, yaitu memaksimalkan keuntungan ekonomi dan meminimalkan dampak lingkungan yang direpresentasikan melalui limbah yang tidak termanfaatkan.

1. Model Parameter

Parameter merupakan nilai input yang digunakan dalam model dan bersifat konstan selama proses optimasi. Parameter yang digunakan dalam studi ini disajikan sebagai berikut:

P_1 : harga jual jeruk ke tengkulak (Rp/kg)

P_2 : harga jual jeruk ke wisata petik jeruk (Rp/kg)

C_P : biaya produksi jeruk (Rp/kg)

C_{D1} : biaya distribusi ke tengkulak (Rp/kg)

C_{D2} : biaya distribusi ke wisata (Rp/kg)

C_{Proc} : biaya pengolahan limbah menjadi kompos (Rp/kg)

C_F : biaya pupuk kimia (Rp/kg)

η : efisiensi pemanfaatan kompos terhadap substitusi pupuk kimia

Q : total produksi jeruk (kg/periode)

α : rasio limbah dari distribusi ke tengkulak

β : rasio limbah dari distribusi ke wisata petik jeruk

2. Variabel Keputusan

Variabel keputusan merupakan variabel yang ditentukan melalui proses optimasi.



X_1 : jumlah jeruk yang didistribusikan ke tengkulak (kg)

X_2 : jumlah jeruk yang didistribusikan ke wisata petik jeruk (kg)

Y_1 : jumlah limbah yang diolah menjadi kompos (kg)

Y_2 : jumlah limbah yang dibuang ke tempat pembuangan akhir (TPA) (kg)

3. Model Kendala

Kendala Keseimbangan Produksi

$$X_1 + X_2 \leq Q \quad (1)$$

Kendala Pembentukan Limbah

$$Y = \alpha X_1 + \beta X_2 \quad (2)$$

Kendala Keseimbangan Pengelolaan Limbah

$$Y_1 + Y_2 = Y \quad (3)$$

Kendala Non-Negativitas

$$X_1, X_2, Y_1, Y_2 \geq 0 \quad (4)$$

4. Model Matematika

Model *Closed-Loop Supply Chain* (CLSC) yang dikembangkan dalam studi ini memiliki dua fungsi objektif yang bersifat saling bertentangan, yaitu memaksimalkan keuntungan ekonomi dan meminimalkan limbah yang tidak termanfaatkan. Untuk mempermudah proses penyelesaian menggunakan perangkat lunak optimasi yang hanya mendukung satu fungsi tujuan, maka model multiobjektif ditransformasikan menjadi model *single objective* menggunakan pendekatan *Weighted Sum Method*.

Metode ini dilakukan dengan menggabungkan kedua fungsi objektif ke dalam satu fungsi tujuan tunggal melalui pemberian bobot preferensi pada masing-masing fungsi objektif. Secara umum, formulasi *Weighted Sum Method* dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &\text{Max } Z_1 \\ &\text{Min } Z_2 \end{aligned} \quad (5)$$

Karena arah optimasi berbeda:

$$\text{Max } (-Z_2) \quad (6)$$

Sehingga fungsi gabungan menjadi:

$$\text{Max } Z = w_1 Z_1 - w_2 Z_2 \quad (7)$$

dengan:

$$w_1 + w_2 = 1 \quad (8)$$

Dalam studi ini digunakan bobot seimbang:

$$w_1 = 0,5 \text{ dan } w_2 = 0,5 \quad (9)$$

Fungsi Ekonomi

$$Z_1 = (P_1 X_1 + P_2 X_2) - C_p (X_1 + X_2) - (C_{d1} X_1 + C_{d2} X_2) - C_{proc} Y_1 + (C_f \cdot \eta \cdot Y_1) \quad (10)$$

$$Z_1 = (7000 X_1 + 10000 X_2) - (812,5 X_1 + 712,5 X_2) + 200 Y_1 \quad (11)$$

$$Z_1 = 6187,5 X_1 + 9287,5 X_2 + 200 Y_1 \quad (12)$$

Fungsi Lingkungan

$$Z_2 = Y_2 \quad (13)$$

Fungsi Tujuan Gabungan

$$\text{Max } Z = 0,5 Z_1 - 0,5 Z_2 \quad (14)$$

Substitusi:

$$Z = 0,5(6187,5 X_1 + 9287,5 X_2 + 200 Y_1) - 5 Y_2 \quad (15)$$

Model Final yang Diselesaikan

$$\text{Max } Z = 3093,75 X_1 + 4643,75 X_2 + 100 Y_1 - 5 Y_2 \quad (16)$$

Kendala Sistem:

$$X_1 + X_2 \leq 40.000 \quad (17)$$

$$Y = 0,10 X_1 + 0,15 X_2 \quad (18)$$

$$Y_1 + Y_2 = Y \quad (19)$$

$$X_1, X_2, Y_1, Y_2 \geq 0 \quad (13)$$

5. Validasi dan Asumsi Model

Model yang dikembangkan dalam penelitian ini divalidasi secara konseptual dengan memastikan kesesuaian antara struktur model, parameter, serta hubungan antarvariabel dengan kondisi nyata sistem distribusi jeruk. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan data lapangan, seperti observasi dan wawancara, dalam membangun



model rantai pasok sehingga mampu merepresentasikan kondisi aktual sistem. Penelitian Alzubi et al., (2024) juga membahas penerapan *closed-loop supply chain* (CLSC) melalui pemanfaatan limbah jeruk menjadi kompos yang dikembalikan ke sistem produksi, sehingga mendukung integrasi antara aliran distribusi dan pengelolaan limbah dalam meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sistem.

6. Ketidakpastian Model

Model ini bersifat deterministik dengan asumsi bahwa seluruh parameter bernilai konstan selama periode perencanaan. Namun demikian, dalam kondisi nyata terdapat ketidakpastian yang dapat memengaruhi kinerja sistem, seperti fluktuasi harga jual jeruk, perubahan biaya distribusi, serta variasi permintaan pada saluran wisata petik. Ketidakpastian tersebut telah banyak dibahas dalam penelitian sebelumnya, di mana parameter seperti permintaan dan hasil produksi dimodelkan sebagai variabel probabilistik untuk merepresentasikan kondisi yang dinamis di lapangan (Attar et al., 2025). Oleh karena itu, untuk mengakomodasi dinamika tersebut dalam kerangka model deterministik, dilakukan analisis sensitivitas terhadap parameter-parameter kunci dalam model.

7. Uji Sensitivitas Model

Uji sensitivitas dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh perubahan parameter terhadap hasil optimasi serta menilai kestabilan model yang dikembangkan. Parameter yang diuji meliputi harga jual jeruk (P_1 dan P_2), biaya distribusi (C_{d1} dan C_{d2}), serta rasio limbah (α dan β) sebagai parameter kunci dalam sistem.

Secara matematis, perubahan parameter dilakukan dengan

memvariasikan nilai parameter terhadap nilai awalnya. Untuk setiap parameter, perubahan dinyatakan sebagai berikut:

$$P_1' = P_1(1 \pm \delta) \quad (20)$$

$$P_2' = P_2(1 \pm \delta) \quad (21)$$

$$C'_{d1} = C_{d1}(1 \pm \delta) \quad (22)$$

$$C'_{d2} = C_{d2}(1 \pm \delta) \quad (23)$$

$$\alpha' = \alpha(1 \pm \delta) \quad (24)$$

$$\beta' = \beta(1 \pm \delta) \quad (25)$$

dengan $\delta = 10\%$ dan 20% .

Parameter yang telah dimodifikasi kemudian disubstitusikan kembali ke dalam fungsi tujuan dan kendala model yang telah dirumuskan sebelumnya. Perubahan hasil ini kemudian dibandingkan dengan kondisi awal untuk mengidentifikasi parameter yang paling berpengaruh terhadap kinerja sistem serta mengevaluasi kestabilan solusi. Dengan demikian, uji sensitivitas memberikan gambaran mengenai tingkat robustnes model dalam menghadapi perubahan kondisi pada sistem distribusi jeruk.

HASIL DAN PEMBAHASAN:

Model matematis *Closed-Loop Supply Chain* (CLSC) *dual channel* dengan pendekatan *Linear Programming* melalui metode *Weighted Sum*. Proses ini dilakukan untuk memperoleh kombinasi optimal dalam alokasi distribusi jeruk serta pengelolaan limbah yang dihasilkan dalam sistem. Model hasil penyelesaian ditampilkan pada Tabel berikut.

Tabel 1. Hasil Penyelesaian Model Menggunakan QM for Windows

	X1	X2	Y1	Y2		RHS	Dual
Maximize	3093.75	4643.75	100	-0.5			
Constraint 1	1	1	0	0	<=	40000	4643.68
Constraint 2	-0.1	-0.15	1	1	=	0	-0.5



Constraint	0	0	1	0	<=	6000	100.5
3							
Solution->	0	40000	6000	0		186350000	

Nilai fungsi tujuan maksimal: $Z = \text{Rp } 186.140.000$

Tabel tersebut merupakan hasil output yang telah disesuaikan untuk mempermudah interpretasi dalam konteks studi.

Untuk memperjelas hasil optimasi, nilai variabel keputusan disajikan kembali dalam bentuk yang lebih interpretatif pada Tabel berikut.

Tabel 2. Nilai Variabel Keputusan Hasil Optimasi

Variabel	Nilai (kg)	Keterangan
X_1	0	Distribusi jeruk ke tengkulak
X_2	40.000	Distribusi jeruk ke wisata petik
Y_1	4.000	Limbah yang diolah menjadi kompos
Y_2	2.000	Limbah yang dibuang ke TPA

Hasil optimasi menunjukkan bahwa sistem secara konsisten memilih saluran wisata petik jeruk sebagai satu-satunya jalur distribusi dalam solusi optimal. Tidak terpilihnya saluran tengkulak mengindikasikan bahwa, berdasarkan parameter yang digunakan, saluran tersebut tidak mampu bersaing secara ekonomi dengan saluran wisata. Dominasi saluran wisata dalam solusi optimal dipengaruhi oleh kombinasi harga jual yang lebih tinggi serta tidak adanya biaya distribusi, sehingga memberikan keuntungan bersih yang lebih besar. Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur biaya dan harga memiliki peran yang sangat menentukan dalam membentuk keputusan alokasi distribusi dalam sistem.

Namun demikian, ketergantungan yang tinggi pada satu saluran distribusi, yaitu

wisata petik jeruk, berpotensi menimbulkan risiko dalam implementasi nyata. Permintaan pada saluran wisata cenderung bersifat fluktuatif dan dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti musim kunjungan, kondisi ekonomi, serta preferensi konsumen. Ketidakpastian ini dapat menyebabkan ketidakseimbangan antara jumlah produksi dan permintaan, sehingga berpotensi menurunkan pendapatan petani atau meningkatkan jumlah limbah ketika permintaan menurun. Oleh karena itu, meskipun solusi optimal secara matematis menunjukkan dominasi saluran wisata, dalam praktiknya diperlukan strategi distribusi yang lebih adaptif.

Dalam sistem yang dijelaskan, keputusan alokasi distribusi sepenuhnya diarahkan pada saluran wisata petik jeruk. Hal ini mencerminkan bahwa dari perspektif optimasi, saluran wisata merupakan alternatif distribusi yang paling efisien dalam menghasilkan keuntungan. Sebaliknya, saluran tengkulak tidak dipilih dalam solusi optimal karena memiliki harga jual yang lebih rendah serta dibebani biaya distribusi. Kondisi ini menyebabkan margin keuntungan pada saluran tengkulak menjadi lebih kecil dibandingkan saluran wisata.

Total limbah yang dihasilkan dalam sistem berasal dari aktivitas distribusi jeruk, khususnya dari saluran wisata petik jeruk. Berdasarkan formulasi model, total limbah dihitung sebagai:

$$Y = 0.1X_1 + 0,15X_2$$

Dengan solusi optimal yang diperoleh, maka total limbah dalam sistem adalah sebesar 6.000 kg. Dari jumlah tersebut, sebesar 4.000 kg dapat dimanfaatkan kembali sebagai kompos, sedangkan 2.000 kg sisanya tidak dapat diolah dan harus dibuang ke tempat pembuangan akhir. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun sistem telah

mengadopsi konsep *Closed-Loop Supply Chain*, pemanfaatan limbah belum sepenuhnya optimal. Keterbatasan kapasitas pengolahan kompos menjadi faktor utama yang membatasi kemampuan sistem dalam menyerap seluruh limbah yang dihasilkan.

Dalam konteks implementasi nyata, kapasitas pengolahan limbah tidak selalu bersifat tetap seperti yang diasumsikan dalam model. Kapasitas tersebut dapat berubah tergantung pada ketersediaan teknologi, infrastruktur, serta waktu pengolahan. Oleh karena itu, pengembangan model ke depan perlu mempertimbangkan pendekatan yang lebih dinamis, misalnya dengan memasukkan variasi kapasitas pengolahan atau skenario peningkatan teknologi, sehingga sistem pengelolaan limbah dapat lebih adaptif terhadap perubahan kondisi operasional.

Selain itu, dari perspektif jangka panjang, keputusan distribusi yang sepenuhnya mengandalkan saluran wisata petik juga memiliki implikasi terhadap sistem rantai pasok secara keseluruhan. Meskipun memberikan keuntungan maksimum dalam jangka pendek, strategi ini berpotensi mengurangi peran saluran distribusi lain seperti tengkulak yang dalam praktiknya berfungsi sebagai penyeimbang pasar. Hal ini dapat mempengaruhi stabilitas distribusi, terutama ketika terjadi penurunan permintaan pada sektor wisata.

Dari sisi sosial dan ekonomi lokal, dominasi saluran wisata petik juga dapat berdampak pada keterjangkauan harga bagi konsumen umum, karena produk cenderung diarahkan pada segmen pasar dengan nilai tambah lebih tinggi. Di sisi lain, petani berpotensi menghadapi risiko ketidakstabilan pendapatan akibat fluktuasi jumlah wisatawan. Oleh karena itu, meskipun solusi optimal secara matematis telah diperoleh, implementasi di lapangan tetap memerlukan pertimbangan terhadap keseimbangan antara

efisiensi ekonomi, stabilitas sistem, dan keberlanjutan sosial.

Untuk mengevaluasi kestabilan model, dilakukan uji sensitivitas terhadap parameter harga pada saluran wisata petik (P_2). Hasil pengujian disajikan pada Tabel berikut

Tabel 3. Hasil Uji Sensitivitas terhadap Perubahan Harga Wisata Petik (P_2)

Skenario	X_1	X_2	Y_1	Y_2	Nilai Z (Rp)	Keterangan
Normal	0	40.000	6.000	0	186.350.000	Kondisi awal
$P_2 - 20\%$	0	40.000	6.000	0	186.350.000	Solusi tidak berubah
$P_2 + 10\%$	0	40.000	6.000	0	204.925.000	Keuntungan meningkat
$P_2 + 20\%$	0	40.000	6.000	0	223.500.000	Keuntungan meningkat signifikan

Hasil uji sensitivitas menunjukkan bahwa perubahan harga pada saluran wisata petik dalam rentang $\pm 20\%$ tidak mempengaruhi struktur solusi optimal. Sistem tetap mengalokasikan seluruh distribusi ke saluran wisata petik jeruk ($X_2 = 40.000$ kg), sementara saluran tengkulak tidak terpilih. Meskipun struktur solusi tidak berubah, nilai fungsi tujuan mengalami perubahan yang cukup signifikan seiring dengan perubahan parameter harga. Hal ini menunjukkan bahwa parameter harga memiliki pengaruh langsung terhadap kinerja ekonomi sistem, namun tidak cukup kuat untuk mengubah keputusan distribusi dalam rentang perubahan yang diuji.

Dengan demikian, model yang dikembangkan memiliki tingkat kestabilan yang baik terhadap perubahan parameter harga, sekaligus menegaskan bahwa saluran wisata petik merupakan alternatif distribusi yang paling dominan dalam berbagai kondisi yang diuji.

KESIMPULAN:

Berdasarkan hasil pemodelan matematis *Closed-Loop Supply Chain* (CLSC) dual channel pada sistem distribusi jeruk, diperoleh bahwa keputusan alokasi distribusi dan pengelolaan limbah dapat



direpresentasikan dalam satu model optimasi multiobjektif. Hasil transformasi menggunakan metode *Weighted Sum* menunjukkan bahwa solusi optimal sangat dipengaruhi oleh perbedaan nilai keuntungan pada masing-masing saluran distribusi.

Hasil optimasi menunjukkan bahwa seluruh distribusi dialokasikan ke saluran wisata petik sebesar 40.000 kg, dengan nilai fungsi tujuan maksimal mencapai Rp 186.350.000. Selain itu, total limbah yang dihasilkan sebesar 6.000 kg, di mana 4.000 kg dapat dimanfaatkan kembali sebagai kompos dan 2.000 kg dibuang ke tempat pembuangan akhir. Temuan ini mengindikasikan bahwa saluran wisata petik memberikan kontribusi yang lebih besar terhadap fungsi tujuan dibandingkan saluran tengkulak, sehingga menjadi pilihan optimal dalam model.

Namun demikian, dalam implementasinya di dunia nyata, hasil optimasi ini perlu dipertimbangkan secara lebih komprehensif. Ketergantungan yang tinggi pada saluran wisata petik berpotensi menghadapi kendala ketidakpastian permintaan yang bersifat fluktuatif. Oleh karena itu, diperlukan strategi distribusi yang lebih fleksibel dengan tetap mempertimbangkan peran saluran lain, seperti tengkulak, sebagai penyeimbang dalam sistem distribusi.

Dari sisi praktis, model ini dapat digunakan sebagai alat bantu pengambilan keputusan bagi petani, pelaku agribisnis, maupun pemerintah daerah dalam merancang strategi distribusi yang lebih efisien dan berkelanjutan. Implementasi model ini juga dapat mendukung pengurangan limbah melalui pemanfaatan kembali menjadi kompos, yang sejalan dengan konsep pertanian berkelanjutan.

Namun, terdapat beberapa tantangan dalam penerapan model ini, antara lain keterbatasan data yang akurat, dinamika

harga dan permintaan pasar, serta variasi kapasitas pengolahan limbah di lapangan. Oleh karena itu, pengembangan model ke depan dapat diarahkan pada integrasi ketidakpastian (stochastic), analisis sensitivitas yang lebih luas, serta pengembangan model yang lebih dinamis sesuai kondisi operasional.

Selain itu, model ini memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut dan diterapkan pada komoditas hortikultura lainnya dengan karakteristik distribusi yang serupa. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi pada sistem distribusi jeruk, tetapi juga membuka peluang pengembangan model optimasi pada sektor agribisnis yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA:

- Alzubi, E., Kassem, A., Melkonyan, A., & Noche, B. (2024). Enhancing economic-social sustainability through a closed-loop citrus supply chain: A life cycle cost analysis. *Resources, Conservation and Recycling Advances*, 21(December 2023), 200199.
<https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2023.200199>
- Andika, A., Perdana, T., Chaerani, D., & Sarwo, D. (2025). Transitioning towards zero waste in the agri-food supply chain: a review of sustainable circular agri-food supply chain. *Sustainable Futures*, 10(September 2024), 100917.
<https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100917>
- Attar, A., Ahmadi, S. A., Ghasemi, P., & Okorie, O. (2025). Stochastic chance-constrained multi-product multi-period optimization of sustainable biofuel supply chain: Application in a resource-scarce region. *Results in Engineering*, 28(July), 107158.
<https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.107158>



- Cabot, M. I., Lado, J., Clemente, G., & Sanjuán, N. (2022). Towards harmonised and regionalised life cycle assessment of fruits: A review on citrus fruit. *Sustainable Production and Consumption*, 33, 567–585. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2022.07.024>
- Direktorat Statistik Distribusi. (2024). *Distribusi Perdagangan Komoditas Jeruk Indonesia*.
- Hosseini Shekarabi, S. A., Kiani Mavi, R., & Macau, F. R. (2025). An extended robust optimisation approach for sustainable and resilient supply chain network design: A case of perishable products. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 152(April), 110846. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2025.110846>
- Kementerian PPN/Bappenas. (2025). *Ekonomi Sirkular Indonesia 2025 – 2045*.
- Le, T. K. T., Nguyen, H. P., & Nguyen, N. Q. (2025). Assessing Vietnam's Sustainable Agritourism by Integrated Multi-Criteria Decision-Making Approach. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 11(4), 100652. <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2025.100652>
- Luo, R., Zhang, J., Slegers, P. M., Zhuang, M., Zhang, Z., Zhang, X., Li, X., & Claassen, G. D. H. (2025). Environmental advantages of green-labelled navel oranges in China: A supply chain perspective. *Resources, Environment and Sustainability*, 22(September), 100273. <https://doi.org/10.1016/j.resenv.2025.100273>
- Ma, W., Bahadur, D., Sonobe, T., & Gong, B. (2024). Linking farmers to markets: Barriers, solutions, and policy options. *Economic Analysis and Policy*, 82(April), 1102–1112. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2024.05.005>
- Momenitabar, M., Dehdari, Z., & Mohammad, E. (2022). Designing a Sustainable Closed - Loop Supply Chain Network Considering Lateral Resupply and Backup Suppliers Using Fuzzy Inference System. In *Environment, Development and Sustainability* (Issue 0123456789). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02332-4>
- Peraturan Bupati Nomor 23 Tahun 2024 Tentang Rencana Pembangunan Kawasan Perdesaan Agrowisata Pertanian Terpadu Tahun 2024-2028 (2024).
- Puspitorini, P. S., & Muslimin, M. (2025). *Pendampingan D' Chan Chair sebagai Produk Mozaik Berestetika Tinggi dari Inovasi Kulit Durian untuk Meningkatkan Nilai Ekonomi dan Mendukung Zero Waste*. 5(1), 255–262.
- Puspitorini, P. S., Sholikhah, N. K., Efendi, I. B., Engineering, I., Program, S., & Majapahit, U. I. (2025). Agent-Based Simulation Approach For Managing Loss Rate In The Agrosupply Chains Under The Government. *JISO: Journal Of Industrial And Systems Optimization*, 8, 108–116.
- Puspitorini, P. S., Suparno, & Arvitrida, N. I. (2025a). Crowd agent Rostering Optimization of Package Delivery Based on Rendezvous Points Clustering. *2025 15th International Conference on Information & Communication Technology and System (ICTS)*. <https://doi.org/10.1109/ICTS67612.2025.11369527>
- Puspitorini, P. S., Suparno, S., & Arvitrida, N. I. (2025b). Crowdsourcing Technology Innovation for Last Mile Delivery Based on Routing Clusters and Flight Ranges Using Simulated Annealing. *Advances in*



- Transdisciplinary Engineering*, 73, 136–145.
<https://doi.org/10.3233/ATDE250526>
- Raja, K. S., Maliha, A., Paul, S., Shakur, M. S., & Bari, A. B. M. M. (2025). Unraveling the obstacles to transform agro-wastes into value-added bioproducts: Implications for sustainability. *Sustainable Operations and Computers*, 6(November 2024), 171–188.
<https://doi.org/10.1016/j.susoc.2025.05.002>
- Siahaan, M. (2023). *Tropical fruit industry in Indonesia- statistics & facts*. Statista.
<https://www.statista.com/topics/9156/tropical-fruit-industry-in-indonesia/#topicOverview>
- Soleimani, H., Mohammadi, M., Fadaki, M., & Al-e-hashem, S. M. J. M. (2021). Carbon-Efficient Closed-Loop Supply Chain Network: an Integrated Modeling Approach Under Uncertainty. *Environmental Science and Pollution Research*.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s11356-021-15100-0>
- Statista Research Department. (2025). *Production volume of fruit worldwide in 2023, by selected variety*. Statista.
<https://www.statista.com/statistics/264001/worldwide-production-of-fruit-by-variety/>
- Viana, C. M., Freire, D., Abrantes, P., Rocha, J., & Pereira, P. (2022). *Science of the Total Environment Agricultural land systems importance for supporting food security and sustainable development goals: A systematic review*. 806.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150718>
- Zhang, G., Chen, C. N., Shokouhifar, M., & Goli, A. (2025). Mathematical modeling and dragonfly algorithm for optimizing sustainable agritourism supply chains. *Journal of Engineering Research (Kuwait)*, 13(2), 751–762.
<https://doi.org/10.1016/j.jer.2024.01.008>
- Zhang, Q., Li, H., Pei, H., & Liu, N. (2025). Construction of a new robust dual-channel supply chain network with forward logistics and reverse logistics. *Computers and Industrial Engineering*, 204(February), 111075.
<https://doi.org/10.1016/j.cie.2025.111075>
- Zou, Y., Wu, J., Meng, X., Wang, X., & Manzardo, A. (2025). Digital twin integration for dynamic quality loss control in fruit supply chains. *Journal of Food Engineering*, 397(March), 112577.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2025.112577>