

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sektor pertanian merupakan sektor strategis dalam pemenuhan kebutuhan pangan, penggerak ekonomi daerah, dan penopang kesejahteraan masyarakat (Cabot et al., 2022a; Luo et al., 2025), Pertumbuhan sektor ini juga tercermin pada komoditas hortikultura, khususnya buah, yang meningkat dari 576,65 juta metrik ton pada tahun 2000 menjadi 951,91 juta metrik ton pada tahun 2023, menegaskan peran penting buah dalam sistem pertanian global (Cabot et al., 2022a; Statista Research Department, 2025). Namun demikian, peningkatan produksi tersebut belum sepenuhnya diimbangi oleh sistem distribusi yang mampu memperkuat daya saing buah lokal, di mana buah impor sering lebih mudah dijangkau dan lebih murah di pasar perkotaan akibat tingginya biaya logistik dan keterbatasan infrastruktur (Siahaan, 2023; Zou et al., 2025), sehingga berpotensi melemahkan posisi petani dalam rantai nilai agribisnis (Cabot et al., 2022a; Ferreira et al., 2020). Kondisi tersebut juga tercermin pada komoditas jeruk di Jawa Timur, yang menurut Badan Pusat Statistik, (2025), memiliki produksi tahunan 9.986.227,86 ton dengan Kabupaten Mojokerto sebagai salah satu sentra utama. Secara spesifik produksi jeruk siam/keprok tercatat turun dari 1.406.415 ton pada 2023 menjadi 998.623 ton pada 2024 atau sekitar 29%, disertai penurunan produktivitas dari 217 kg menjadi 159 kg (Kementerian Pertanian, 2024). Di tingkat daerah, Kabupaten Mojokerto memiliki luas panen 15.870 ha dengan produksi 598 ton dan produktivitas 0,64 kw/ha (Peraturan Daerah Kabupaten Mojokerto Nomor 6 Tahun 2025). Sebaran produksi tersebut terkonsentrasi pada beberapa wilayah, dengan konsentrasi produksi tertinggi berada di Kecamatan Dlanggu sebesar 2.630 kuintal serta ditetapkan sebagai komoditas unggulan wilayah (Badan Perencanaan pembangunan daerah Kabupaten Mojokerto, 2024; Badan Pusat Statistik Kabupaten Mojokerto, 2024). Meskipun potensi produksi wilayah tergolong kuat, sistem distribusi jeruk masih menghadapi kendala berupa rantai pasok yang panjang, ketidakseimbangan pasokan permintaan, dan tingginya

limbah pascapanen yang menurunkan efisiensi distribusi (Alzubi et al., 2024 ; Hosseini Shekarabi et al., 2025)

Menurut Q. Zhang et al., (2025), pada komoditas hortikultura umumnya terdapat dua saluran distribusi utama, yaitu melalui tengkulak dan melalui wisata petik (*agrotourism*). Namun dalam praktiknya kedua saluran tersebut sering berkembang secara terpisah sehingga potensi sinergi untuk memperkuat posisi petani dalam rantai nilai belum dimanfaatkan secara optimal. Saluran tengkulak melibatkan beberapa perantara hingga produk mencapai pasar konsumen dan relatif unggul dalam stabilitas penyerapan hasil panen. Akan tetapi, keterlibatan perantara yang panjang menyebabkan margin keuntungan di tingkat petani cenderung lebih rendah (Ma et al., 2024; Raja 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). Di sisi lain, saluran wisata petik jeruk menghubungkan petani secara langsung dengan konsumen melalui aktivitas agrowisata yang memberikan nilai tambah sekaligus pengalaman edukatif mengenai budidaya pertanian. Meskipun demikian, permintaan pada saluran ini bersifat musiman dan fluktuatif sehingga pendapatan yang diperoleh petani tidak selalu stabil sepanjang tahun (Le et al., 2025; Viana et al., 2022; G. Zhang et al., 2025). Pengembangan agrowisata sendiri telah menjadi bagian dari strategi pembangunan kawasan perdesaan. Di Kabupaten Mojokerto, khususnya Kecamatan Dlanggu, wisata petik jeruk bahkan ditetapkan sebagai salah satu potensi wisata unggulan daerah (Peraturan Bupati Nomor 23 Tahun, 2024; Peraturan Daerah Kabupaten Mojokerto Nomor 6 Tahun, 2025).

Kedua saluran distribusi jeruk (tengkulak dan wisata petik) secara konseptual berpotensi saling melengkapi, namun dalam praktiknya masih berjalan terpisah, dikelola secara parsial, dan belum terintegrasi dalam satu sistem terkoordinasi berbasis keputusan kuantitatif. Hingga saat ini, pengembangan model optimasi yang mengintegrasikan pengaturan alokasi distribusi *dual channel* dengan pengelolaan aliran balik limbah jeruk dalam satu kerangka sistem yang terpadu masih relatif jarang dibahas dalam penelitian

sebelumnya. Selain itu, aktivitas produksi, distribusi, dan konsumsi pada kedua saluran tersebut juga menghasilkan limbah dalam jumlah yang cukup signifikan yang hingga saat ini belum dimanfaatkan secara optimal sebagai sumber daya bernilai tambah (Puspitorini & Muslimin, 2025; Raja et al., 2025). Permasalahan limbah sendiri menjadi isu penting dalam sistem pertanian dan distribusi pangan. Tiseo, (2025) melaporkan bahwa sektor pertanian berkontribusi sekitar 40% terhadap pengelolaan limbah yang belum efisien, terutama yang berasal dari aktivitas produksi dan distribusi. Dalam konteks rantai pasok jeruk, integrasi *forward flow* dan *reverse flow* menjadi krusial karena limbah muncul di berbagai tahapan, mulai dari panen dan pascapanen hingga sortasi, pengemasan, transportasi, dan aktivitas wisata petik (Chikonkolo et al., 2025; Q. Zhang et al., 2025). Pada lokasi penelitian di Kecamatan Dlanggu, pengelolaan limbah masih dilakukan secara individual oleh petani dan belum terorganisir dalam sistem kolektif, sehingga residu cenderung dibuang dan belum dirancang untuk kembali masuk ke jaringan rantai pasok (Andika et al., 2025; Raja et al., 2025). Kondisi ini belum sejalan dengan arah kebijakan nasional yang menekankan bahwa sisa proses produksi dan konsumsi perlu dimanfaatkan kembali dalam siklus nilai guna yang berkelanjutan di seluruh tahapan rantai nilai (Kementerian PPN/Bappenas, 2025).

Berdasarkan kondisi tersebut, konsep *Closed-loop Supply chain* (CLSC) dikembangkan dengan mengintegrasikan aliran maju (*forward flow*) dan aliran balik (*reverse flow*) dalam satu kerangka sistem yang terkoordinasi (David et al., 2025; Liao et al., 2020; Luo et al., 2025). Berbeda dengan rantai pasok konvensional yang umumnya berhenti pada titik konsumsi, CLSC merancang mekanisme pengumpulan, pemanfaatan kembali, dan pengolahan residu agar dapat masuk kembali ke dalam sistem (Momenitabar et al., 2022; Soleimani et al., 2021). Pendekatan ini memungkinkan terbentuknya siklus pemanfaatan sumber daya yang berkelanjutan serta menjadi kerangka yang relevan untuk mengintegrasikan berbagai saluran distribusi sekaligus membangun sistem pengelolaan limbah yang lebih terstruktur (Andika et al., 2025; Momenitabar et al., 2022; Tavana et al., 2022). Dalam perancangan sistem CLSC, berbagai

pertimbangan perlu diperhatikan agar sistem yang dibangun tidak hanya efisien secara operasional tetapi juga mendukung keberlanjutan (Moheb-alizadeh et al., 2021; Tavana et al., 2022). Salah satu aspek penting dalam pengelolaan rantai pasok jeruk *dual channel* adalah keseimbangan alokasi distribusi antara berbagai saluran pemasaran yang tersedia. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa faktor-faktor alokasi sistem dan keberlanjutan memiliki peran penting dalam menentukan efektivitas pengelolaan rantai pasok jeruk, di mana keseimbangan alokasi antara saluran distribusi dan aktivitas wisata menjadi salah satu indikator yang paling berpengaruh dalam keberlanjutan sistem (Puspitorini & Agustina, 2025). Oleh karena itu, perancangan sistem dalam penelitian ini mempertimbangkan keseimbangan aliran distribusi antara saluran tengkulak dan saluran wisata jeruk sebagai dua jalur utama penyaluran produk. Dalam kerangka keberlanjutan, aspek ekonomi diperhatikan melalui pendapatan petani, nilai tambah dari aktivitas wisata jeruk, serta biaya pengelolaan limbah, sedangkan aspek lingkungan berkaitan dengan pengurangan limbah tidak termanfaatkan dan peningkatan pemanfaatan kembali residu jeruk. Dengan mempertimbangkan aspek-aspek tersebut, penelitian ini diarahkan untuk merancang sistem *Closed-loop Supply chain* jeruk *dual channel* yang lebih terintegrasi dan berorientasi pada keberlanjutan.

Berdasarkan parameter yang telah diidentifikasi, penelitian ini diarahkan pada perancangan model *Closed-loop Supply chain* (CLSC) jeruk berbasis sistem distribusi *dual channel* yang mengintegrasikan saluran tengkulak dan wisata petik jeruk dalam satu struktur jaringan yang terpadu (Liu et al., 2020; Mirzaei et al., 2022; Tombido & Baihaqi, 2021). Model yang dibangun tidak hanya merepresentasikan aliran maju (*forward flow*) berupa distribusi hasil panen ke masing-masing saluran, tetapi juga memasukkan aliran balik (*reverse flow*) limbah jeruk yang dimanfaatkan kembali sebagai bagian dari mekanisme pemulihan nilai dalam sistem (Gholipour et al., 2023; H. Kumar et al., 2020; Liao et al., 2020). Formulasi model disusun dalam kerangka optimasi multiobjektif dengan tujuan memperoleh kombinasi alokasi distribusi dan tingkat pemanfaatan limbah yang paling rasional terhadap keterbatasan kapasitas panen, permintaan tiap saluran, serta kemampuan pengolahan residu

di tingkat petani (Gholipour et al., 2023; Roudbari et al., 2023; Yamchi et al., 2020). Fungsi objektif model merepresentasikan kinerja ekonomi dan kinerja lingkungan secara simultan, sehingga solusi yang dihasilkan tidak hanya berorientasi pada peningkatan keuntungan, tetapi juga pada pengurangan limbah tidak termanfaatkan dan peningkatan sirkularitas sumber daya (Hashemzahi et al., 2024; Soon et al., 2022). Kondisi tersebut menyebabkan permasalahan tidak dapat diselesaikan menggunakan pendekatan *single objective*, karena terdapat lebih dari satu tujuan optimasi yang perlu dipertimbangkan secara bersamaan. Oleh karena itu, penelitian ini menggunakan pendekatan optimasi multiobjektif. Proses optimasi dilakukan menggunakan algoritma *Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II* (NSGA-II) karena mampu menghasilkan himpunan solusi Pareto optimal pada permasalahan optimasi jaringan rantai pasok berkelanjutan yang melibatkan trade-off antar tujuan (Bahrapour et al., 2023; Mogale et al., 2022; Taebi et al., 2024; Wang et al., 2022). Melalui pendekatan ini, penelitian diharapkan dapat menghasilkan alternatif rancangan sistem distribusi dan pengelolaan limbah jeruk yang lebih terintegrasi serta memberikan dasar pengambilan keputusan yang lebih rasional dalam pengembangan sistem CLSC jeruk *dual channel*.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana merancang model *Closed-loop Supply chain* (CLSC) jeruk *dual channel* yang terintegrasi dengan menggabungkan aliran maju dan aliran balik limbah dalam satu kerangka sistem terpadu?
2. Bagaimana memformulasikan dan mengoptimalkan model matematis CLSC jeruk *dual channel* secara multiobjektif dengan mempertimbangkan aspek keberlanjutan ekonomi dan lingkungan sebagai dasar pengambilan keputusan sistem?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Merancang model *Closed-loop Supply chain* (CLSC) jeruk *dual channel* yang terintegrasi dengan menggabungkan aliran maju dan aliran balik limbah dalam satu kerangka sistem terpadu.

2. Memformulasikan dan mengoptimalkan model matematis CLSC jeruk *dual channel* secara multiobjektif dengan mempertimbangkan aspek keberlanjutan ekonomi dan lingkungan sebagai dasar pengambilan keputusan sistem

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan beberapa manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat Teoretis
 - a. Memberikan kontribusi pada pengembangan konsep *Closed-loop Supply chain* (CLSC) di sektor pertanian hortikultura, khususnya pada komoditas jeruk dengan skema distribusi *dual channel*.
 - b. Memperkaya kajian akademik mengenai integrasi aliran maju dan aliran balik dalam rantai pasok jeruk dengan mempertimbangkan parameter keberlanjutan.
 - c. Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya terkait pemodelan dan optimasi sistem rantai pasok tertutup berbasis faktor keberlanjutan.
2. Manfaat Praktis
 - a. Penelitian ini memberikan rekomendasi perancangan sistem rantai pasok jeruk tertutup yang mampu mengintegrasikan aliran distribusi hasil panen dan pengelolaan limbah dalam satu sistem yang lebih
 - b. Membantu pemangku kepentingan (petani/kelompok tani) dalam memahami alternatif struktur distribusi dan pengelolaan aliran balik yang lebih terintegrasi.
 - c. Menjadi bahan pertimbangan dalam meningkatkan efisiensi distribusi dan pemanfaatan limbah jeruk di wilayah studi..
3. Manfaat Metodologis
 - a. Menyajikan kerangka pemodelan dan optimasi sistem rantai pasok tertutup berbasis parameter keberlanjutan yang dapat dikembangkan lebih lanjut.
 - b. Menjadi rujukan pendekatan analitis untuk pengembangan model optimasi rantai pasok pada konteks komoditas dan lokasi yang berbeda.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini terarah dan fokus pada sasaran yang ingin dicapai, maka batasan-batasan penelitian ditetapkan sebagai berikut:

1. Penelitian ini difokuskan pada komoditas buah jeruk siam madu sebagai objek hortikultura yang dimodelkan dalam sistem *Closed-loop Supply chain*, dan tidak membahas jenis jeruk lainnya maupun komoditas pertanian selain jeruk.
2. Lokasi penelitian dibatasi pada Kecamatan Dlanggu, Kabupaten Mojokerto, sebagai salah satu sentra produksi jeruk di Provinsi Jawa Timur, dengan cakupan wilayah wawancara meliputi Desa Sumbersono, Sumber Sari, Randugembung, Jrambe, dan Dlanggu. Hasil penelitian bersifat kontekstual terhadap karakteristik wilayah tersebut dan tidak dimaksudkan untuk digeneralisasi secara langsung ke wilayah lain dengan kondisi produksi dan distribusi yang berbeda.
3. Dalam jalur distribusi melalui tengkulak, penelitian ini hanya mempertimbangkan tengkulak sebagai satu entitas perantara, tanpa menguraikan secara rinci tingkatan tengkulak, struktur distribusi berlapis, maupun proses lanjutan setelah produk keluar dari sistem petani.
4. Distribusi jeruk pada masing-masing saluran, baik melalui tengkulak maupun wisata petik, diperlakukan berdasarkan kondisi rata-rata selama periode penelitian. Penelitian ini tidak memodelkan perubahan permintaan maupun produksi secara dinamis, seperti fluktuasi harian, perubahan musiman ekstrem, perbedaan kondisi musim hujan dan musim kemarau, yang dapat memengaruhi pola distribusi dan aliran sistem secara real time.
5. Aktor yang terlibat dan dijelaskan dalam sistem rantai pasok dibatasi pada petani jeruk, tengkulak, pengelola wisata jeruk. Aktor lanjutan seperti pedagang besar, pengecer modern, maupun konsumen akhir tidak dijelaskan secara mendalam.
6. Aliran balik (*Reverse flow*) dalam sistem dibatasi pada pengelolaan limbah jeruk yang dikembalikan langsung ke petani, dan tidak membahas limbah jeruk yang tidak kembali ke petani ataupun terbuang.

7. Jenis limbah yang dianalisis dibatasi pada limbah jeruk organik yang dihasilkan dari proses panen, sortasi, distribusi, dan aktivitas wisata petik jeruk, termasuk jeruk cacat, sisa konsumsi, dan residu kulit jeruk. Penelitian ini tidak mencakup limbah non-organik, limbah kemasan, maupun limbah dari aktivitas pertanian lain di luar komoditas jeruk
8. Produk jeruk diperlakukan sebagai nilai agregat rata-rata periode penelitian dan tidak dibedakan berdasarkan, grade mutu detail, maupun tingkat kematangan panen spesifik.
9. Perbedaan pola panen (panen dini dan matang penuh) tidak dimodelkan sebagai skenario terpisah, melainkan diasumsikan sudah tercermin dalam parameter rata-rata sistem.
10. Penelitian ini tidak membahas proses teknis pengolahan limbah secara rinci, seperti formulasi pupuk, teknologi pengomposan, atau uji kualitas produk turunan limbah.
11. Aspek ekonomi yang dianalisis dibatasi pada biaya dan manfaat utama dalam sistem rantai pasok, tanpa memasukkan analisis kelayakan investasi jangka panjang atau analisis finansial mendalam.
12. Aspek lingkungan yang dikaji dibatasi pada dampak utama yang relevan dengan aktivitas rantai pasok jeruk, tanpa melakukan pengukuran laboratorium atau pengujian emisi secara langsung.
13. Parameter dan indikator keberlanjutan yang digunakan dalam pemodelan sepenuhnya mengacu pada hasil penelitian pendahuluan peneliti sebelumnya. Penelitian ini tidak melakukan identifikasi ulang, penambahan, maupun validasi ulang indikator keberlanjutan, melainkan langsung menggunakan parameter terpilih tersebut sebagai input dalam tahap pemodelan dan optimasi sistem.
14. Penelitian ini tidak membahas aspek kebijakan makro, regulasi nasional, atau analisis kelembagaan secara mendalam, melainkan berfokus pada aspek perancangan sistem dan evaluasi keberlanjutan rantai pasok jeruk di tingkat operasional dan konseptual.

1.6 Asumsi Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini, beberapa asumsi digunakan untuk menyederhanakan kompleksitas sistem yang dikaji tanpa mengurangi substansi analisis. Asumsi-asumsi tersebut adalah sebagai berikut:

1. Petani jeruk di Kecamatan Dlanggu diasumsikan memiliki kondisi produksi yang relatif homogen dalam satu periode analisis, sehingga perbedaan skala usaha dan teknologi budidaya tidak dianalisis secara rinci.
2. Sistem distribusi melalui tengkulak diasumsikan berjalan secara stabil dan kontinu, tanpa perubahan signifikan dalam struktur distribusi, jumlah perantara, maupun mekanisme transaksi selama periode penelitian.
3. Sistem wisata jeruk diasumsikan beroperasi sesuai dengan kondisi umum di lapangan, dengan tingkat kunjungan yang mengikuti pola musiman tanpa intervensi kebijakan atau promosi besar di luar kondisi normal.
4. Seluruh hasil panen jeruk diasumsikan terserap oleh salah satu saluran distribusi yang dikaji, yaitu melalui tengkulak atau wisata jeruk, sehingga tidak terjadi penumpukan hasil panen di luar sistem yang dianalisis.
5. Limbah jeruk yang dianalisis dalam penelitian ini diasumsikan hanya berasal dari aktivitas panen, pascapanen, dan wisata jeruk, serta hanya limbah yang dikembalikan ke petani yang diperhitungkan sebagai bagian dari aliran balik dalam sistem rantai pasok.
6. Limbah jeruk yang dihasilkan dari aktivitas panen, distribusi, dan wisata petik diasumsikan tersedia dan dapat dikembalikan ke petani untuk dimanfaatkan kembali sebagai bagian dari aliran balik (*Reverse flow*).
7. Proses pemanfaatan limbah jeruk diasumsikan dapat dilakukan secara sederhana dan layak secara teknis, tanpa mempertimbangkan kendala teknologi, kapasitas fasilitas, atau kualitas hasil olahan secara detail.
8. Harga input produksi dan harga jual jeruk diasumsikan relatif stabil selama periode penelitian, sehingga fluktuasi harga ekstrem tidak diperhitungkan dalam analisis.
9. Aspek biaya, dampak lingkungan, dan dampak sosial diasumsikan dapat direpresentasikan melalui indikator-indikator utama yang relevan dengan

sistem rantai pasok jeruk, tanpa memasukkan seluruh variabel mikro secara rinci.

10. Kondisi sosial, ekonomi, dan kebijakan di wilayah penelitian selama periode pengumpulan data diasumsikan relatif stabil, sehingga tidak terjadi perubahan signifikan yang dapat memengaruhi struktur dan kinerja sistem rantai pasok jeruk secara drastis.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan skripsi yang berjudul “Pemodelan *Closed-Loop Supply Chain* Jeruk *Dual Channel* (Tengkulak–Wisata) dengan Mempertimbangkan Faktor *Sustainability*” disusun dalam lima bab utama sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi gambaran umum penelitian yang meliputi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta asumsi penelitian. Pada bab ini dijelaskan kondisi sistem distribusi jeruk, permasalahan rantai pasok, pengelolaan limbah, serta urgensi penerapan konsep *Closed-Loop Supply Chain* (CLSC) berbasis *dual channel* dengan mempertimbangkan aspek keberlanjutan.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

Bab ini membahas teori-teori yang mendukung penelitian, meliputi *Supply Chain Management* (SCM), *Closed-Loop Supply Chain* (CLSC), *Sustainable Supply Chain Management*, *Circular Economy*, sistem distribusi multi-saluran, serta penelitian terdahulu yang relevan. Selain itu, pada bab ini dijelaskan state of the art penelitian, research gap, definisi operasional, dan kerangka berpikir penelitian sebagai dasar pengembangan model penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian, meliputi jenis penelitian, tempat dan objek penelitian, teknik pengumpulan data, serta teknik analisis data. Selain itu, dijelaskan pula proses pemodelan matematis *Closed-Loop Supply Chain* (CLSC), yang mencakup indeks model, parameter, variabel keputusan, formulasi fungsi objektif, dan formulasi kendala model yang digunakan dalam optimasi sistem.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi hasil pengumpulan data, pengolahan data, dan implementasi model optimasi menggunakan MATLAB. Selanjutnya dilakukan analisis hasil optimasi multiobjektif menggunakan NSGA-II, pembahasan *Pareto Front*, analisis *trade-off* antar fungsi objektif ekonomi dan lingkungan, analisis variabel keputusan, analisis *forward flow* dan *reverse flow*, uji sensitivitas, validasi model, serta implikasi sustainability pada sistem CLSC jeruk dual channel yang dirancang.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian sesuai tujuan penelitian, serta saran yang dapat digunakan untuk pengembangan penelitian selanjutnya maupun implementasi sistem *Closed-Loop Supply Chain* jeruk dual channel secara praktis di lapangan.