

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Literatur menunjukkan bahwa perkembangan supply chain management (SCM) menggunakan e-commerce terus meningkat setiap tahunnya. Penelitian ini menggunakan metode analisis bibliometrik dan mengidentifikasi tiga tahap perkembangan publikasi SCM e-commerce, yaitu tahap embrio (1998–2001), tahap perkembangan stabil (2002–2013), dan tahap perkembangan berkecepatan tinggi (2013–2021). Hasilnya menunjukkan bahwa Cina adalah pemimpin dalam publikasi studi SCM e-commerce, diikuti oleh Amerika Serikat dan Inggris (He, dkk., 2022).

Dalam era digital yang terus berkembang, penerapan teknologi e-commerce telah diidentifikasi sebagai solusi potensial untuk mengatasi berbagai tantangan dalam rantai pasok pertanian (RPP) yang memiliki karakteristik unik. Penelitian yang dilakukan oleh Jian Li, dkk. (2023), mengkaji potensi e-commerce dalam mengatasi masalah rantai pasok pertanian di Cina melalui platform Tудоec. Penelitian ini menggunakan metode studi kasus tunggal dengan data dari wawancara, observasi, dan sumber lain. Hasilnya menunjukkan bahwa aplikasi Tудоec mendukung aspek teknis, gudang, logistik, keuangan rantai pasok, dan asuransi, serta meningkatkan kemampuan rantai pasok melalui interaksi aliran informasi dengan aliran modal dan material. Model ini diklaim dapat mengatasi keterbatasan pertanian tradisional dan mempercepat pengurangan kemiskinan serta program revitalisasi pedesaan yang dicanangkan oleh pemerintah pusat Cina (Li, dkk., 2023). Wu, dkk (2020). juga menyoroti dampak positif e-commerce pada desa-desa terpencil di Cina, seperti di Beishan, Bainiu, dan Qingyanliu, dengan hasil penelitian yang menunjukkan bahwa e-commerce secara signifikan mendukung perkembangan ekonomi dan infrastruktur di desa-desa tersebut (Wu, dkk., 2020).

Seiring meningkatnya jumlah platform e-commerce, penelitian terkait optimasi e-commerce juga semakin berkembang dengan berbagai pendekatan selain pemilihan lokasi pusat logistik. Li (2024) meneliti kinerja rantai pasok pertanian di Zhanjiang, Tiongkok, dan merekomendasikan peningkatan kerja sama, pertukaran informasi, serta perbaikan infrastruktur logistik dan sistem rantai dingin. Richard, dkk. (2024) mengeksplorasi strategi inovatif dalam pengelolaan gudang kapas yang terbukti dapat menekan biaya melalui pendekatan berbasis *gin codes* dan pengelompokan pesanan. Guo, dkk. (2023) menggunakan teori permainan Stackelberg untuk mengoordinasikan koperasi petani dan platform e-commerce, dan menemukan bahwa model keputusan tersentralisasi memberikan keuntungan rantai pasokan yang lebih tinggi. Yan (2024) menekankan pentingnya pengembangan sistem logistik modern untuk produk pertanian melalui integrasi logistik hijau dan pelatihan sumber daya manusia. Dalam bidang teknologi, Ridwan, dkk. (2024) menunjukkan bahwa algoritma Random Forest efektif dalam mencegah kehabisan stok di e-commerce, melampaui metode tradisional. Wei (2024) mengoptimalkan logistik e-commerce lintas batas menggunakan model PCA-RBF yang terbukti lebih akurat dalam memprediksi permintaan rantai dingin dibanding model RBF biasa. Chen dan Zheng (2024) mengusulkan penggunaan *particle swarm algorithm* untuk meningkatkan efisiensi jaringan logistik, sementara Dong, dkk. (2023) mengembangkan model penjadwalan sumber daya berbasis *mobile edge computing* dan algoritma genetika. Berbagai pendekatan ini menunjukkan bahwa optimalisasi e-commerce dapat dilakukan melalui banyak cara, namun penelitian ini secara khusus difokuskan pada pengoptimalan e-commerce melalui pemilihan lokasi pusat logistik, yang berperan penting dalam meningkatkan efisiensi distribusi dan layanan.

Selain berbagai pendekatan tersebut, salah satu strategi penting dalam mengoptimalkan e-commerce, khususnya dalam konteks rantai pasok pertanian, adalah melalui pemilihan lokasi pusat penyimpanan atau pusat logistik dan distribusi. Logistik pertanian mencakup aktivitas manajerial dan operasional seperti transportasi, penyimpanan, pengemasan, distribusi, dan pengolahan data, semua dengan tujuan meningkatkan nilai produk dan mengurangi biaya distribusi (Yan,

2024). Karena berfungsi sebagai penghubung antara pemasok dan pelanggan dan berdampak langsung pada kinerja keseluruhan rantai pasokan, lokasi fasilitas logistik, juga dikenal sebagai gudang, sangat penting dalam rantai pasokan. Pengiriman bahan baku, produk setengah jadi, dan produk jadi adalah komponen penting dari sistem ini. Dengan pengelolaan gudang yang efektif, produksi, transportasi, dan distribusi biaya dapat dikurangi, kualitas produk dapat dipertahankan, inventaris dapat dikelola secara berkelanjutan, pengiriman yang tepat waktu, harga dapat stabil, dan pelanggan dapat lebih puas (Pajić, dkk, 2023). Sebaliknya, daya saing perusahaan dapat terhambat oleh pengelolaan gudang yang buruk (Li, 2024). Oleh karena itu, tabel 2.1 di bawah ini menggambarkan rangkaian penelitian yang telah dilakukan untuk mempelajari metode yang digunakan untuk memilih lokasi gudang yang strategis.

Tabel 2.1 Daftar Penelitian dengan Topik Pemilihan Lokasi Strategis

No	Penulis	Metode Optimasi	Metode MCDM	Objek Penelitian
1	Wei et al., 2023	MILP	x	Jaringan transportasi kontainer darat
2	Dupas et al., 2023	MIP	x	Pusat konsolidasi perkotaan (UCCs) di kota Bordeaux, Prancis
3	Yin et al., 2024	MIP	x	Distribusi dan alokasi vaksin di New Jersey, AS
4	Pauli de Bastiani et al., 2024	MILP	x	Fasilitas pencampuran pupuk di Brasil
5	Baghestani et al., 2023	MILP	x	Lokasi dan kapasitas optimal untuk desa logistik di Provinsi Qazvin, Iran
6	Zhou et al., 2023	MILP	x	Lokasi menara crane

Tabel 2.1 Daftar Penelitian dengan Topik Pemilihan Lokasi Strategis (Lanjutan)

No	Penulis	Metode Optimasi	Metode MCDM	Objek Penelitian
7	Liu et al., 2023	x	TOPSIS – MCGP	Gudang Alat dan Mesin Pertanian
8	Pajić et al., 2023	x	MARCOS	Penyedia layanan logistik di Serbia
9	Puška et al., 2023	x	CRADIS	Lokasi pusat distribusi di Distrik Brčko, Bosnia dan Herzegovina
10	Bennani et al., 2022	x	F-VIKOR	Pusat Distribusi Perkotaan (UDCs) di Casablanca, Maroko
11	Pirdaus & Wicaksana, 2024	x	TOPSIS	Pemilihan lokasi gudang untuk PT Dakota Cargo Indonesia
12	Ira Modifa Tarigan et al., 2023	x	TOPSIS	Pemilihan lokasi gudang
13	Akhsani et al., 2023	x	VIKOR	Pemilihan lokasi gudang strategis untuk PT. ABC
14	Waqas Arshad et al., 2024	x	ARAS	Pemilihan lokasi gudang
15	Penelitian ini	MILP	MARCOS	E-Commerce pertanian Indonesia

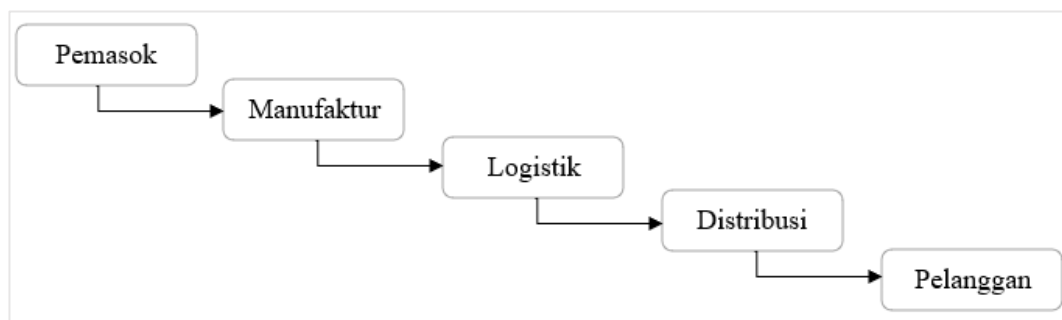
Penelitian ini menawarkan kebaruan dengan mengintegrasikan metode optimasi MILP dengan metode MCDM dalam konteks e-commerce pertanian di Indonesia. Kombinasi ini masih belum ditemukan di sektor pertanian, terutama di hadapan masalah unik dan kompleks dari rantai pasokan berbasis e-commerce di Indonesia. Tujuan dari pengintegrasian metode optimasi MILP dan MCDM (IMF

SWARA untuk penentuan bobot kriteria dan MARCOS untuk pemeringkatan alternatif) adalah untuk menghasilkan solusi yang lebih optimal dalam menentukan lokasi gudang yang strategis. Metode ini tidak hanya memperkaya literatur dengan memasukkan integrasi baru dalam pemilihan lokasi pusat logistik untuk e-commerce pertanian, tetapi juga menawarkan solusi praktis bagi para pengambil keputusan dalam proses pemilihan lokasi gudang yang lebih sistematis dan berbasis data.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Supply Chain Management

Supply Chain Management atau Manajemen Rantai Pasok yang selanjutnya disebut SCM secara sederhana dapat didefinisikan sebagai serangkaian aktivitas yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan konsumen melalui proses yang mengubah bahan awal menjadi barang setengah jadi atau barang jadi (Piantari, dkk, 2020). Pada referensi lain juga disebutkan bahwa SCM merupakan manajemen aliran barang atau material, informasi, dan uang dari pemasok bahan baku hingga konsumen akhir (Pajić, dkk, 2023). SCM mencakup pengalokasian sumber daya internal perusahaan dan integrasi dengan mitra eksternal dalam rantai pasok yang terlibat dalam produksi sampai pengiriman barang. Tujuannya adalah untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas seluruh kegiatan dalam rantai pasok, serta untuk memenuhi kebutuhan konsumen dengan cara yang paling ekonomis. Konsep dasar SCM melibatkan pengelolaan hubungan antara pemasok, manufaktur, logistik, distribusi, dan pelanggan yang di dalamnya terdapat fungsi transaksi (Piantari, dkk, 2020).



Gambar 2.1 Konsep Dasar Supply Chain Management

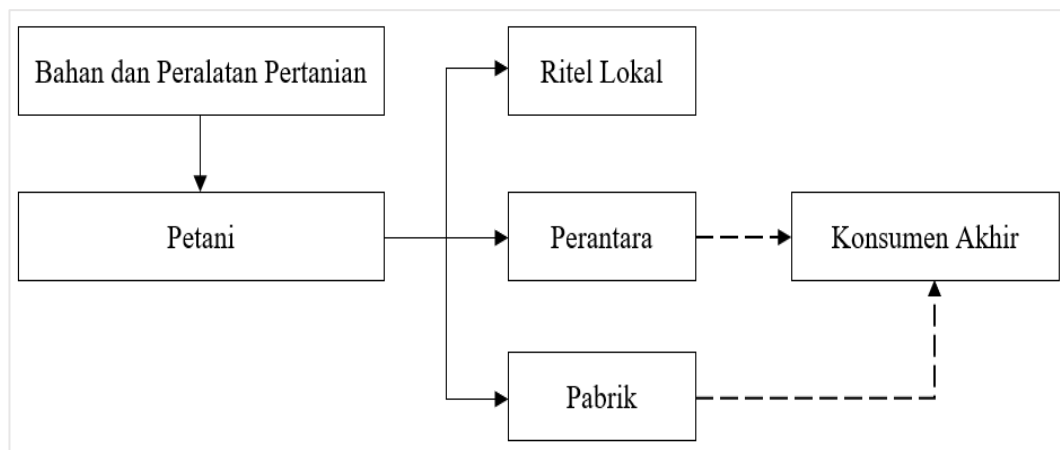
Manfaat utama dari diterapkannya SCM ini yaitu penghematan biaya operasional dan meminimalkan pemborosan sumber daya, dengan meningkatkan efisiensi pada tiap proses di dalamnya (Global System for Mobile Communications Association, 2019; Setiajie Anugrah, dkk, 2022; Yuan, dkk, 2024). Tantangan yang sering dihadapi dalam manajemen rantai pasok meliputi koordinasi antara berbagai pihak, ketidakpastian permintaan, dan ketepatan waktu pengiriman (Altarturi, dkk, 2023; Chen dan Zheng, 2024). Setiap entitas dalam rantai pasok, mulai dari produsen, distributor, pengecer, hingga konsumen, memiliki peran dan kebutuhan yang berbeda, yang harus disinkronkan untuk mencegah terjadinya kekurangan stok atau penumpukan persediaan dan memastikan aliran material berjalan lancar (Li, dkk, 2023).

Teknologi informasi memainkan peran penting dalam manajemen rantai pasok dengan mengotomatisasi proses dan mempercepat aliran informasi. SCM membantu dalam mengkoordinasikan aktivitas antara berbagai peserta dalam rantai pasok, memungkinkan mereka untuk berbagi informasi secara real-time, mengurangi ketidakpastian, dan meningkatkan efisiensi operasional (Wu, dkk, 2020; Aliyev, dkk, 2024). Dengan teknologi seperti *AI*, *cloud computing*, *Blockchain*, dan *big data analysis*, perusahaan dapat memantau dan mengelola rantai pasok mereka dengan lebih efektif, memastikan bahwa produk sampai ke konsumen dengan cepat dan efisien (Song, dkk, 2019; He, dkk, 2022).

2.2.2 Agriculture Supply Chain

Rantai pasok pertanian (RPP) memiliki karakteristik yang berbeda dari rantai pasok di sektor lain, terutama karena sensitivitasnya terhadap pengaruh eksternal seperti kondisi alam dan fluktuasi pasar, serta rantai distribusi yang panjang dan ketergantungan pada lingkungan (Li, dkk, 2023). Produk pertanian memiliki umur simpan yang terbatas, variabilitas permintaan dan harga, serta permasalahan manajemen yang kompleks (Pugara dan Pradana, 2022). Distribusi produk pertanian biasanya melibatkan petani, distributor, dan pengecer, di Indonesia rantai pasok pertanian biasanya produk dijual melalui pihak ketiga sebelum mencapai konsumen (Piantari, dkk, 2020; Altarturi, dkk, 2023). Dalam sistem rantai pasok

pertanian tradisional, petani memiliki akses yang terbatas terhadap pasar dan hanya dapat berinteraksi dengan ritel lokal atau pengepul, broker atau pihak ketiga, dan pabrik, dan harus mengikuti harga yang ditetapkan oleh entitas tersebut (Li, dkk, 2023; Altarturi, dkk, 2023). Selain itu, petani sering mengalami kesulitan mendapatkan pinjaman dari bank karena ketidakstabilan hasil panen, jaminan yang sulit dipenuhi, dan peringkat kredit rendah (Li, dkk, 2023).



Gambar 2.2 Sistem Rantai Pasok Pertanian Tradisional (Li, dkk, 2023)

Peran penting petani, distributor, dan pengecer dalam rantai pasok pertanian sangat mempengaruhi ketersediaan produk di pasar. Petani sebagai produsen utama harus bekerja sama dengan distributor dan pengecer untuk memastikan produk pertanian dapat mencapai konsumen dalam kondisi segar dan tepat waktu (Li, dkk, 2023). Tantangan khusus dalam rantai pasok pertanian meliputi ketidakstabilan harga, keterbatasan infrastruktur, kesulitan logistik dan manajemen pasok, serta kendala transportasi dan penyimpanan yang tinggi biayanya (Piantari, dkk, 2020; Pugara dan Pradana, 2022). Ketergantungan pada distributor pihak ketiga seringkali meningkatkan waktu pengiriman dan mengurangi kesegaran produk (Altarturi, dkk, 2023). Selain itu, transportasi tradisional memiliki keterbatasan dalam akses lokasi pengangkut secara instan, perilaku pengemudi, kondisi cuaca, status kemacetan lalu lintas, dan estimasi waktu pengiriman yang akurat (Setiajie Anugrah, dkk, 2022).

Untuk mengatasi tantangan ini, aspek keberlanjutan dalam rantai pasok pertanian perlu diperhatikan, termasuk pemanfaatan teknologi informasi seperti e-

commerce agriculture. E-commerce diharapkan memainkan peran signifikan dengan adanya potensi dari 202 juta pengguna internet di Indonesia, mendorong petani tradisional untuk tetap bersaing di pasar yang dinamis (Piantari, dkk, 2020; Song, dkk, 2019). Perkembangan modernisasi pertanian sangat bergantung pada teknologi internet dan jaringan komunikasi seluler. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengintegrasikan berbagai industri tradisional dengan teknologi informasi seperti big data, IoT, dan cloud computing, menciptakan ekosistem pengembangan baru yang mendukung keberlanjutan rantai pasok pertanian (Rahmadhani Utomo, dkk, 2021). Dengan adopsi solusi digital, petani dapat meningkatkan akses pasar, mengoptimalkan proses logistik, dan meningkatkan efisiensi distribusi produk yang pada akhirnya dapat meningkatkan keuntungannya (Global System for Mobile Communications Association, 2019).

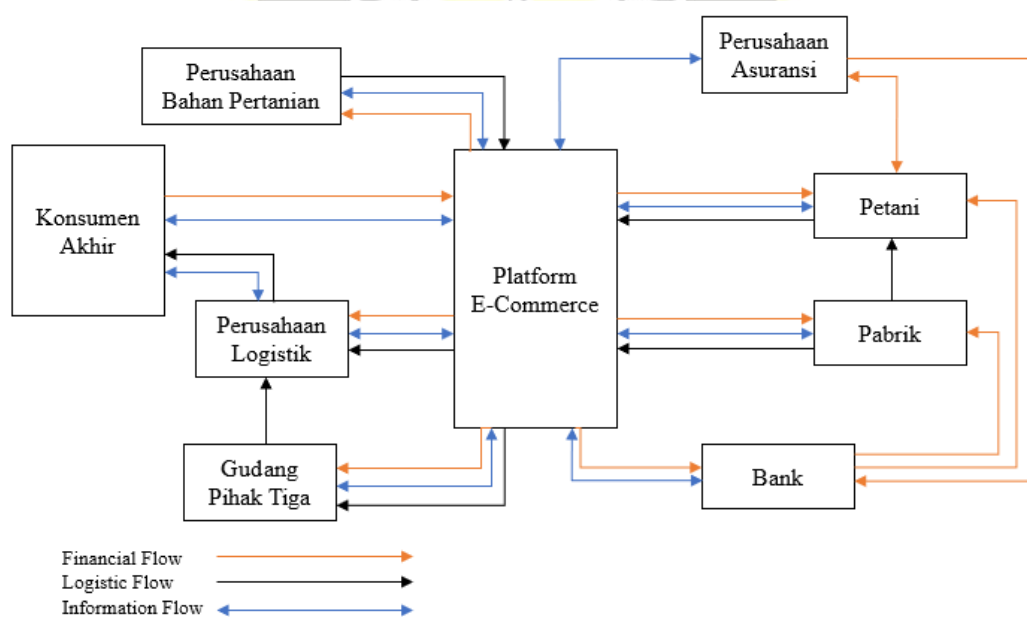
2.2.3 E-Commerce Sebagai Solusi Tantangan Supply Chain Agriculture

E-commerce (perdagangan elektronik) didefinisikan sebagai platform yang mendukung penjualan dan pembelian barang, jasa, dan pengetahuan melalui web internet dan telah berkembang menjadi perdagangan seluler (m-commerce) melalui perangkat seluler seperti ponsel pintar, laptop, dan tablet (Nchimbi, dkk, 2022). Sistem e-commerce berfungsi sebagai platform untuk menampilkan dan menjual produk serta layanan secara online melalui internet, melibatkan berbagai teknologi seperti perangkat lunak, protokol internet, dan sumber daya manusia untuk otomatisasi operasinya (Aliyev, dkk, 2024).

E-commerce mencakup kegiatan membeli, menjual, dan memasarkan barang atau jasa melalui perangkat elektronik, termasuk menerima pesanan, mengelola stok produk, dan pembayaran. Dalam konteks pertanian, e-commerce menjalankan berbagai kegiatan tersebut dengan menghubungkan petani, perusahaan, konsumen, dan entitas lain melalui sebuah sistem yang dapat melakukan pertukaran produk atau material, penyebaran informasi, dan transaksi keuangan (Piantari, dkk, 2020). E-commerce tidak hanya memfasilitasi pembelian dan penjualan barang serta jasa secara digital melalui internet, tetapi juga mencakup otomatisasi seluruh proses

penjualan, pembelian, dan pembayaran, serta menyediakan sistem yang sederhana bagi pelanggan untuk melakukan transaksi (Hussien, dkk, 2022).

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, dalam SCM terdapat tiga aliran utama yaitu aliran produk atau material, aliran informasi, dan aliran keuangan. Aliran produk atau material meliputi pergerakan produk dari pemasok ke konsumen; aliran informasi melibatkan informasi tentang pesanan dan status pengiriman; dan aliran keuangan mencakup jadwal pembayaran, syarat kredit, dan pengaturan tambahan (Pajić, dkk, 2023). Pengintegrasian ketiga aliran utama ini dianggap sebagai kunci keberhasilan dalam penggunaan e-commerce manajemen rantai pasok. Sebagai contoh, terdapat e-commerce Tudouec yang dianggap berhasil mengintegrasikan ketiga aliran ini. Berikut adalah gambaran mengenai proses bisnis e-commerce Tudouec di Cina.



Gambar 2.3 Proses Bisnis E-Commerce Tudouec (Li, dkk, 2023).

Secara keseluruhan, e-commerce Tudouec memiliki fungsi sebagai berikut:

- 1) Pengintegrasian berbagai informasi di dalam supply chain pertanian.
- 2) Pemberi rekomendasi mengenai perencanaan produksi pertanian kepada petani berdasarkan tingkat pasokan dan permintaan industri secara keseluruhan secara real-time.
- 3)

Sebagai platform perdagangan online untuk menghubungkan petani dengan konsumen secara langsung. 4)Penyedia suplemen material pertanian berkualitas seperti bibit, pestisida, pupuk, mesin, aksesoris, perawatan kesehatan tanaman, dan panduan teknik penanaman. 5) Penyedia layanan logistik, gudang, dan penyimpanan dingin (kulkas). 6) Memberikan penawaran untuk layanan pembiayaan dan asuransi untuk petani yang memenuhi kriteria tertentu (Li, dkk, 2023).

E-commerce secara umum memiliki manfaat yang luas seperti pemulihan ekonomi dan pengentasan kemiskinan, seperti yang terlihat di platform Taobao.com di Cina, yang telah meningkatkan pendapatan penduduk desa selama 15 tahun terakhir (Wu, dkk, 2020). Selain itu, e-commerce meningkatkan pertumbuhan usaha offline ke online dengan mendigitalisasi serta mengintegrasikannya melalui platform web dan aplikasi seluler, yang menciptakan lebih banyak jalur komunikasi dengan pelanggan (Bening, dkk, 2023). E-commerce juga memungkinkan siapapun dapat mengakses pasar global, dan berpartisipasi dalam perdagangan global (Aliyev, dkk, 2024). Di Eropa, e-commerce dinilai telah meningkatkan daya saing, menciptakan lapangan kerja, dan mendorong inovasi (Roszko-Wójtowicz, dkk, 2024). Banyak perusahaan manufaktur beralih ke e-commerce dan mendirikan platform e-commerce berkelanjutan untuk berkomunikasi dengan pengguna dan pemangku kepentingan lainnya guna meningkatkan pemahaman terhadap kebutuhan pengguna, produk, dan layanan. Hal ini dipicu oleh perubahan lingkungan menuju era industri manufaktur cerdas dan digital (Hu, dkk, 2020).

Dalam konteks rantai pasok pertanian, E-commerce meningkatkan efisiensi logistik dan distribusi dengan cara mengintegrasikan pasokan, produksi, pengolahan, penjualan, dan penyimpanan, serta mengurangi biaya transaksi dan produksi (Piantari, dkk, 2020; Yuan, dkk, 2024; Bao, dkk, 2024), menghubungkan petani langsung dengan konsumen melalui fungsi perdagangan online, meluaskan akses pasar, dan meningkatkan keuntungan (Zhang dan Berghäll, 2021; Zhong dan Ferrand, 2023; Guo, dkk, 2023), beberapa platform e-commerce juga membantu petani mendapatkan akses kredit dan produk keuangan lainnya untuk meningkatkan

produktivitas (Li, dkk, 2023; Global System for Mobile Communications Association, 2019). Dengan memanfaatkan e-commerce pada rantai pasok pertanian, ini berarti mempercepat proses informatisasi pertanian yang merupakan salah satu pendorong utama untuk pengembangan modernisasi pertanian di masa mendatang (Song dan Dong, 2021).

Di dalam *E-Commerce* terdapat 4 model bisnis yang umum digunakan yaitu Business to Business (B2B), Business to customer (B2C), Customer to business (C2B), dan Customer to customer (C2C) (Piantari, dkk, 2020) (Pugara dan Pradana, 2022). Beberapa penelitian lain juga menyebutkan beberapa model baru dalam e-commerce pertanian yaitu Farmer to Consumer (F2C), Farmer to Association to Business (F2G2B), dan Online to Offline (O2O) (Altarturi, dkk, 2023). Apapun model bisnis yang digunakan, manajemen rantai pasok yang optimal sangat penting untuk operasi e-commerce yang efisien, mencakup seluruh proses mulai dari bahan baku hingga pengiriman produk. SCM yang terintegrasi dapat meningkatkan efisiensi, mengurangi biaya, dan mempercepat distribusi produk dengan mengkoordinasikan aktivitas di antara pemasok, produsen, mitra logistik, distributor, pengecer, dan konsumen (Aliyev, dkk, 2024).

2.2.4 Optimasi Logistik pada E-Commerce Agriculture

Asosiasi Logistik Eropa pada tahun 1984 mendefinisikan logistik sebagai perencanaan, implementasi, dan kontrol dari transportasi, pengaturan, dan operasi terkait dalam sistem untuk mencapai tujuan tertentu. Logistik pada produk pertanian merupakan rangkaian aktivitas yang melibatkan manajemen organisasi dan perencanaan operasional yang mencakup transportasi, penyimpanan, kemasan, distribusi, dan pemrosesan informasi yang bertujuan untuk meningkatkan nilai dan mengurangi biaya sirkulasi produk pertanian dari tempat produksi hingga ke tempat konsumsi (Yan, 2024). Lokasi untuk serangkaian aktivitas logistik (gudang) memiliki peran penting dalam rantai pasok dalam menghubungkan pemasok dan pelanggan serta mempengaruhi kinerja keseluruhan rantai pasokan. Penyimpanan barang dari bahan baku hingga produk jadi atau setengah jadi merupakan bagian integral dari rantai pasokan, dan manajemen gudang yang efektif dapat membantu

mengurangi biaya produksi, transportasi, dan distribusi, serta memastikan pengiriman produk berkualitas sesuai spesifikasi, manajemen inventaris yang berkelanjutan, perlindungan produk, pengiriman tepat waktu, stabilisasi harga, optimisasi operasi, dan pengalaman pelanggan yang positif (Pajić, dkk, 2023). Namun, gudang yang tidak dikelola dengan baik dapat menghambat kemampuan bisnis untuk bersaing secara efektif (Barasin, dkk, 2024).

Masalah penempatan fasilitas (Facility Location Problem/FLP) melibatkan pemodelan, formulasi, dan penyelesaian dalam menentukan lokasi terbaik atau optimal untuk menempatkan fasilitas tertentu. Teori lokasi ini pertama kali dikaji oleh Alfred Weber pada tahun 1909, yang mempertimbangkan penempatan gudang untuk meminimalkan jarak dengan pelanggan. FLP sering muncul dalam konteks logistik, manufaktur, atau pengiriman layanan, dan melibatkan pemilihan lokasi untuk memenuhi kriteria tertentu yang ditentukan. Keputusan penempatan fasilitas ini mempengaruhi biaya operasional rantai pasokan dan membantu merancang sistem logistik yang efisien (Pajić, dkk, 2023).

Lokasi pusat logistik adalah titik kunci dalam sistem logistik yang menentukan tata letak keseluruhan sistem, memengaruhi efisiensi dan biaya (Huang, dkk, 2022). Pengambilan keputusan lokasi fasilitas merupakan bagian penting dalam perencanaan strategis perusahaan dan mempengaruhi banyak keputusan operasional dan logistik. Karena biaya yang terkait dengan perolehan properti dan pembangunan fasilitas adalah investasi jangka panjang, solusi untuk masalah penempatan fasilitas memerlukan metode yang tepat untuk menyeimbangkan biaya, efisiensi, dan responsif agar dapat mempengaruhi keseluruhan daya saing dan kesuksesan perusahaan (Pajić, dkk, 2023).

Dalam konteks e-commerce pertanian, terdapat tiga bentuk utama jaringan logistik dan model operasional untuk ritel e-commerce makanan segar: 1) Model penyimpanan depan, di mana platform e-commerce mendirikan beberapa gudang kecil di dekat komunitas yang terkonsentrasi konsumen, dan kurir menyediakan layanan pengiriman instan dari gudang utama ini. 2) Model integrasi gudang dan toko, di mana toko berfungsi sebagai supermarket makanan segar kecil yang

memenuhi pesanan online dan menyediakan layanan pengiriman ekspres. 3) Model pembelian kelompok komunitas, di mana platform e-commerce menginisiasi pembelian kelompok, meringkas pesanan, dan mendistribusikan produk kepada pelanggan di komunitas melalui pemimpin pembelian grup, sementara platform e-commerce bertanggung jawab atas pengadaan, transportasi, dan layanan purna jual makanan segar (Zhang, dkk, 2023).

Dengan demikian, optimasi logistik pada e-commerce pertanian dapat dilakukan melalui pemilihan lokasi gudang yang strategis. Pemilihan lokasi gudang yang optimal dapat mengurangi biaya operasional, meningkatkan efisiensi distribusi, dan memastikan pengiriman produk yang tepat waktu, yang pada akhirnya mendukung daya saing dan kesuksesan perusahaan dalam menghadapi tantangan logistik dalam e-commerce pertanian.

2.2.5 Metode Optimasi Mixed-Integer Linear Programming

Metode Mixed-Integer Linear Programming atau MILP merupakan pengembangan dari metode Linear Programming (LP) yang merupakan metode optimasi yang digunakan untuk mencari solusi optimal dari suatu model matematika dengan persyaratan yang direpresentasikan oleh hubungan linear. Metode ini memanfaatkan fungsi tujuan, yang berupa persamaan linear yang menggabungkan variabel keputusan, serta kendala berupa persamaan atau ketidaksamaan linear yang membatasi ruang solusi agar tetap berada dalam batasan yang telah ditetapkan. Dalam hal pemilihan lokasi gudang, LP digunakan untuk merancang dan mengoptimalkan lokasi gudang agar mencapai tujuan, dan untuk penelitian ini tujuan yang ingin dicapai adalah minimisasi biaya, seperti biaya transportasi, penyimpanan, dan distribusi, serta untuk memastikan ketersediaan produk tepat waktu di berbagai titik permintaan (Bridgelall, 2024).

MILP adalah metode optimasi yang menggabungkan variabel integer, biner, dan kontinu dalam model linear, menjadikannya alat yang kuat untuk memecahkan masalah optimasi dengan kendala dan fungsi tujuan yang bersifat linear. MILP digunakan untuk mengatasi berbagai keputusan yang melibatkan variabel diskrit, seperti pemilihan lokasi fasilitas, alokasi sumber daya, dan penjadwalan, yang tidak

dapat diselesaikan hanya dengan variabel kontinu. Model ini mempertahankan linearitas dalam fungsi tujuan dan kendala, memungkinkan efisiensi perhitungan meskipun melibatkan kombinasi variabel yang berbeda. Sebagai contoh, penelitian yang dilakukan oleh Boonmee & Thoenburin (2024) menggunakan MILP untuk menentukan lokasi zona keselamatan sementara selama polusi kabut. Model ini bertujuan meminimalkan biaya operasional dan memaksimalkan perlindungan publik dengan mengalokasikan sumber daya secara efisien. MILP digunakan karena mampu menggabungkan variabel biner untuk keputusan pembukaan zona dan variabel kontinu untuk alokasi sumber daya. Sementara itu, Lee dkk. (2024) juga menerapkan MILP dalam menentukan lokasi dan kapasitas fasilitas produksi hidrogen di Korea Selatan, guna meminimalkan biaya pembangunan dan distribusi berdasarkan kapasitas dan permintaan di berbagai wilayah.

Keunggulan utama MILP terletak pada kemampuannya untuk menangani keputusan diskrit dan kontinu secara simultan, sehingga sangat efektif dalam menyelesaikan masalah kompleks yang membutuhkan pengambilan keputusan strategis dan operasional. Dengan tetap mempertahankan linearitas, MILP memberikan solusi optimal dengan pendekatan yang efisien dan terukur, menjadikannya pilihan yang tepat dalam konteks optimasi yang memerlukan penggabungan berbagai jenis variabel keputusan (Boonmee & Thoenburin, 2024; Lee, dkk, 2024; Wei, dkk, 2023).

Selain itu, MILP juga memiliki beberapa keterbatasan yaitu semakin banyak variabel dan kendala yang dimasukkan ke dalam model, semakin tinggi pula kompleksitas komputasi yang dibutuhkan, baik dari segi waktu maupun sumber daya perangkat keras. MILP juga cenderung kurang efisien ketika diterapkan pada skala besar, misalnya dalam kasus dengan banyak alternatif lokasi yang harus dianalisis secara bersamaan. Selain itu, MILP kurang fleksibel dalam menghadapi ketidakpastian yang dinamis, seperti perubahan mendadak dalam permintaan atau kondisi lingkungan, serta sangat sensitif terhadap kualitas data yang digunakan (Boonmee & Thoenburin, 2024). Berdasarkan pertimbangan tersebut, dalam penelitian ini MILP difokuskan untuk mengoptimalkan variabel yang paling krusial

dalam proses pemilihan lokasi gudang, yaitu aspek biaya dan jarak. Sementara itu, variabel lainnya yang bersifat kualitatif atau memerlukan pertimbangan multi-kriteria akan dianalisis menggunakan metode MCDM, yakni IMF SWARA dan MARCOS, guna menjaga efisiensi pemodelan dan menghasilkan rekomendasi yang lebih komprehensif dan praktis.

Elemen dasar dalam MILP sama dengan LP yang meliputi variabel keputusan, fungsi tujuan, dan kendala, berikut adalah penjelasan untuk masing – masing elemen dasar dalam metode optimasi linear programming:

1. Variabel keputusan adalah elemen yang merepresentasikan pilihan-pilihan yang harus diambil untuk mencapai hasil optimal, seperti jumlah produk yang harus diproduksi atau dikirim.
2. Fungsi tujuan adalah persamaan linear yang menggambarkan apa yang ingin dioptimalkan, misalnya memaksimalkan keuntungan atau meminimalkan biaya. Fungsi ini terdiri dari variabel keputusan yang dikalikan dengan koefisien tertentu yang mencerminkan nilai kontribusi masing-masing variabel terhadap tujuan tersebut.
3. Kendala dalam LP adalah batasan-batasan yang harus dipenuhi dalam penyelesaian masalah, seperti ketersediaan sumber daya, batas kapasitas, atau kebutuhan permintaan. Kendala ini dinyatakan dalam bentuk persamaan atau ketidaksamaan linear yang membatasi ruang solusi sehingga hanya solusi yang memenuhi semua batasan yang dianggap valid. Kombinasi elemen-elemen ini memungkinkan LP untuk secara sistematis mengevaluasi berbagai alternatif dan menemukan solusi yang paling efisien.

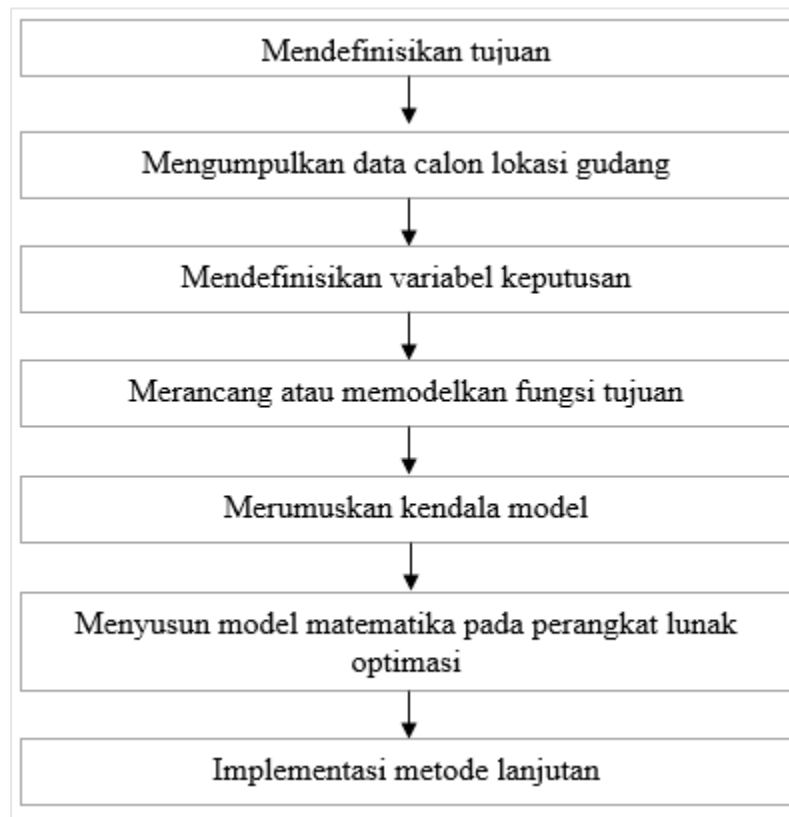
Implementasi MILP dalam penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan platform Google Collaboratory dengan bahasa pemrograman berbasis Python secara cloud-based tanpa perlu instalasi lokal. Platform ini mendukung berbagai pustaka optimasi dan solver open-source, serta memberikan fleksibilitas dalam menjalankan model secara efisien. Terdapat tiga solver utama yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

1. CBC (Coin-or Branch and Cut): Solver open-source yang cepat dan stabil untuk skala menengah, namun kurang optimal untuk kasus kompleks berskala besar.
2. GLPK (GNU Linear Programming Kit): Ringan dan mudah digunakan, tetapi memiliki performa komputasi yang lebih lambat.
3. SCIP (Solving Constraint Integer Programming): Efisien untuk masalah dengan banyak kendala, namun lebih kompleks dalam integrasi dan membutuhkan sumber daya lebih besar.

Dengan menggunakan ketiga solver ini, validasi model MILP dapat dilakukan dengan membandingkan hasil yang diperoleh dari masing-masing solver untuk menilai konsistensi dan stabilitas solusi (Saukh & Puchko, 2024).

Dalam penelitian ini, studi kasus yang digunakan adalah sebuah perusahaan e-commerce yang bergerak di bidang pertanian sedang mempertimbangkan pemilihan lokasi gudang logistik di Semarang untuk meningkatkan efisiensi distribusi produk pertanian, yaitu beras. Perusahaan ingin memastikan bahwa produk dapat dikirimkan secara cepat dan dengan biaya rendah ke berbagai wilayah konsumen di sekitar Semarang. Saat ini, perusahaan memiliki beberapa calon lokasi gudang di berbagai titik di Semarang yang masing-masing memiliki karakteristik berbeda, seperti kapasitas penyimpanan, biaya sewa, dan aksesibilitas.

Tantangan yang dihadapi perusahaan adalah memilih lokasi gudang yang optimal untuk meminimalkan biaya pembukaan dan jarak distribusi ke titik-titik permintaan. Berdasarkan studi kasus di atas, berikut adalah langkah – langkah yang akan dilakukan dalam pengimplementasian metode optimasi linear programming (Wei et al., 2023; Dupas et al., 2023; Yin et al., 2024; Zhou et al., 2023):



Gambar 2.4 Proses Implementasi Metode Linear Programming

2.2.6 Metode Improved Fuzzy Stepwise Weighted Assessment Ratio Analysis (IMF SWARA)

Metode Improved Fuzzy Stepwise Weighted Assessment Ratio Analysis atau yang selanjutnya disebut IMF SWARA merupakan varian dari metode fuzzy SWARA yang digunakan untuk menilai bobot kriteria dengan mengatasi ketidakpastian dalam penalaran dan preferensi pengambil keputusan. IMF SWARA menggabungkan pendekatan logika fuzzy dengan konsep evaluasi berurutan, sehingga mampu menangkap ambiguitas dalam penilaian pakar dan memberikan hasil pembobotan yang lebih realistis. Metode ini mempertimbangkan derajat kepentingan relatif antar kriteria dengan menggunakan angka fuzzy dan mengubahnya menjadi bobot numerik yang terstandarisasi. Dalam konteks pemilihan lokasi gudang, IMF SWARA digunakan untuk menentukan bobot kriteria berdasarkan urutan kepentingan kriteria dari yang paling penting hingga yang paling kurang penting. Berikut adalah langkah-langkah yang dilakukan pada

tahap implementasi metode IMF SWARA (Pajić, dkk, 2023; Puška, dkk, 2023; Xu, dkk, 2023):

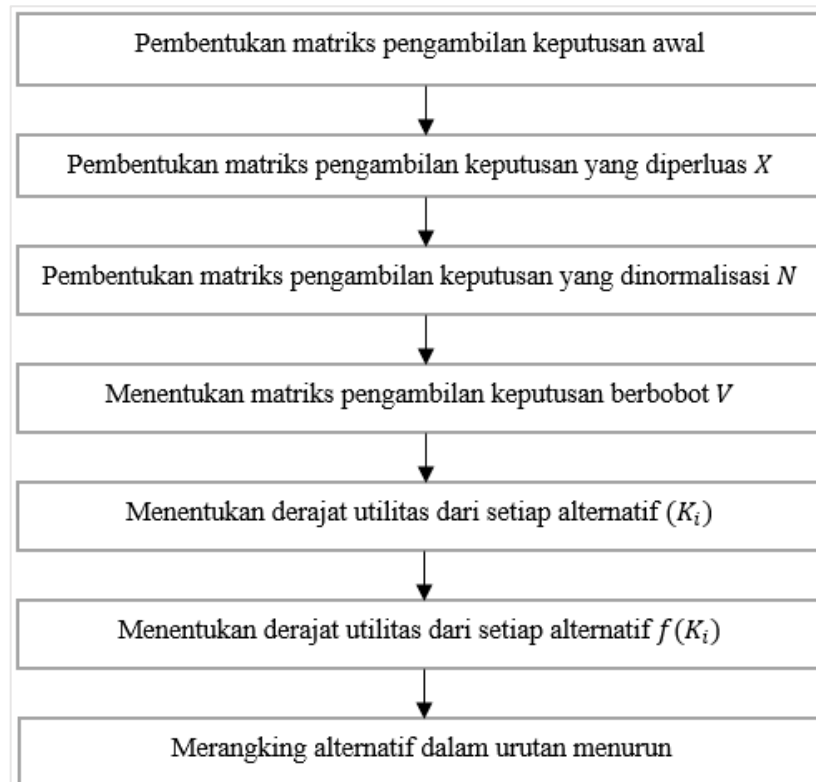


Gambar 2.5 Proses Implementasi Metode IMF SWARA

2.2.7 Metode Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution (MARCOS)

Metode Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution (MARCOS) menentukan hubungan antara alternatif dengan nilai referensi ideal dan anti-ideal untuk menghasilkan fungsi utilitas dan peringkat kompromi. MARCOS didasarkan pada prinsip bahwa alternatif terbaik adalah yang paling dekat dengan solusi ideal dan paling jauh dari solusi anti-ideal. Pendekatan ini memungkinkan penilaian yang lebih seimbang karena mempertimbangkan kedua kutub referensi secara simultan, sehingga menghasilkan evaluasi yang lebih komprehensif. Metode MARCOS juga dikenal mampu menjaga konsistensi preferensi dalam kondisi multi-kriteria karena mengintegrasikan preferensi keputusan ke dalam perhitungan fungsi utilitas secara langsung. Proses ini membuat MARCOS unggul dalam hal stabilitas hasil dan akurasi dalam pemeringkatan alternatif. Selain itu, MARCOS mempertimbangkan solusi ideal dan anti-ideal sejak awal pembentukan matriks keputusan, yang menjadikan perhitungan nilai

utilitas lebih akurat dan terstruktur. Berikut adalah langkah–langkah dalam implementasi metode MARCOS (Pajić, dkk, 2023; Laksana, dkk, 2023):



Gambar 2.6 Proses Implementasi Metode MARCOS

SEMARANG
SEKOLAH PASCASARJANA