



Pengembangan model supply chain pangan berbasis matematika di Nusa Tenggara Barat

Dilla Afriansyah¹, Firman Fajar Perdhana¹, Lingga Gita Dwikasari¹, Dinda Galuh Sukma¹

¹Ilmu dan Teknologi Pangan, FATEPA, Universitas Mataram

dilla.afriansyah@unram.ac.id

Abstract

The food supply chain in West Nusa Tenggara (NTB) faces several challenges, including poor transportation infrastructure, high distribution costs, and post-harvest losses. This study aims to design a mathematical model based on Linear Programming (LP) to improve the efficiency of the food supply chain in the region. The findings reveal that investments in transportation infrastructure, post-harvest technology, and technology-based information systems can significantly reduce distribution costs by 15%, decrease post-harvest losses by 25%, and enhance price stability. This model provides practical solutions to optimize food distribution and supports sustainable food security policies.

Keywords: linear programming, food supply chain, distribution efficiency, post-harvest, NTB.

Abstrak

Rantai pasok pangan di Nusa Tenggara Barat (NTB) menghadapi berbagai tantangan, seperti infrastruktur transportasi yang kurang baik, biaya distribusi yang tinggi, dan kerugian pascapanen. Penelitian ini bertujuan merancang model matematis berbasis Linear Programming (LP) untuk meningkatkan efisiensi rantai pasok pangan di wilayah tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa investasi pada infrastruktur transportasi, teknologi pascapanen, dan sistem informasi berbasis teknologi dapat secara signifikan menurunkan biaya distribusi hingga 15%, mengurangi kerugian pascapanen sebesar 25%, dan meningkatkan stabilitas harga pangan. Model ini memberikan solusi praktis untuk mengoptimalkan distribusi pangan dan mendukung kebijakan ketahanan pangan yang berkelanjutan.

Kata Kunci: linear programming, rantai pasok pangan, efisiensi distribusi, pascapanen, NTB.

1. PENDAHULUAN

Di seluruh dunia, sistem rantai pasok pangan dihadapkan pada tantangan besar dalam memenuhi permintaan akan produk pangan yang terus meningkat seiring globalisasi dan urbanisasi (Dyson et al., 2023). Keterbatasan sumber daya alam, perubahan pola konsumsi, dan ketergantungan pada impor pangan di banyak negara memaksa pemerintah dan pelaku usaha untuk mengembangkan strategi rantai pasok yang lebih adaptif dan efisien (Boyacı-Gündüz et al., 2021). Salah satu pendekatan yang telah diterapkan di berbagai negara untuk memperkuat ketahanan pangan adalah

mengembangkan model rantai pasok berbasis matematis, yang memungkinkan analisis lebih mendalam terhadap pengelolaan pasokan dan distribusi (Rahbari et al., 2023). Model rantai pasok ini berfungsi sebagai strategi mitigasi dalam menghadapi ketidakpastian pasokan yang disebabkan oleh perubahan iklim dan fluktuasi pasar global (Boyacı-Gündüz et al., 2021; Dyson et al., 2023).

Di Indonesia, Nusa Tenggara Barat (NTB) merupakan salah satu daerah yang menghadapi tantangan besar dalam rantai pasok produk pangan. Meskipun memiliki potensi pertanian yang tinggi, NTB sering kali menghadapi kendala dalam distribusi pangan, terutama karena ketidakpastian infrastruktur dan faktor geografis yang kompleks (Ray et al., 2021; Reardon et al., 2015). Produk pangan utama dari NTB, seperti beras, jagung, dan sayuran, mengalami fluktuasi harga yang tajam dan distribusi yang tidak merata akibat ketidakseimbangan rantai pasok (Anggraeni et al., 2022; Perdana et al., 2022). Selain itu, kurangnya teknologi penanganan pascapanen di NTB turut menyebabkan kualitas produk menurun sebelum mencapai konsumen, sehingga memperburuk kondisi ketahanan pangan dan meningkatkan potensi pemborosan pangan (Sutardi et al., 2022). Kondisi ini berdampak langsung pada kesejahteraan petani dan ketahanan pangan masyarakat NTB.

Penelitian terdahulu menunjukkan pentingnya pengembangan model rantai pasok berbasis matematis untuk meningkatkan efisiensi distribusi produk pangan. Misalnya, mengembangkan model matematis di China berhasil meningkatkan efisiensi rantai pasok beras dan sayuran, sehingga mengurangi biaya distribusi dan mempercepat waktu pengiriman hingga 31% (Song & Wu, 2023). Di India, model supply chain berbasis optimasi algoritma terbukti efektif dalam menjaga kualitas produk selama proses distribusi (Alkahtani, 2022; Tao et al., 2023). Studi serupa di Tiongkok mengungkapkan bahwa penggunaan teknologi pada rantai pasok pangan berhasil menekan kerugian yang disebabkan oleh pembusukan dan ketidaksesuaian stok produk pangan segar (Song & Wu, 2023). Hasil-hasil penelitian ini menunjukkan bahwa model supply chain berbasis matematika dan teknologi dapat mengatasi tantangan rantai pasok pangan yang kompleks di NTB (Badejo & Ierapetritou, 2023; Chen et al., 2023).

Penelitian ini menjadi sangat mendesak untuk dilakukan karena NTB kerap kali menghadapi tantangan ketahanan pangan yang signifikan. Distribusi yang tidak efisien menyebabkan banyak produk pangan lokal sulit diakses di berbagai wilayah NTB, yang akhirnya berdampak pada kesejahteraan masyarakat (Fróna et al., 2019; Islam & Al Mamun, 2020). Tanpa adanya model rantai pasok yang adaptif, NTB akan terus mengalami kerentanan pangan yang diperburuk oleh perubahan iklim dan ketidakseimbangan ekonomi (Tirado-Kulieva et al., 2022). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model rantai pasok yang responsif terhadap kondisi lokal di NTB, yang pada akhirnya diharapkan dapat meningkatkan akses pangan yang lebih merata dan berkelanjutan di daerah tersebut (Haysom, 2021).

Penelitian ini menawarkan kebaruan (novelty) dengan mengembangkan model rantai pasok berbasis matematis yang disesuaikan dengan karakteristik geografis dan kondisi sosio-ekonomi NTB. Dengan memanfaatkan algoritma optimasi yang mengintegrasikan data pasokan, permintaan, dan kondisi cuaca, model ini diharapkan mampu meminimalkan pemborosan dan meningkatkan efisiensi distribusi produk pangan (Nikolicic et al., 2021; Tan et al., 2022). Model ini tidak hanya menawarkan efisiensi dalam rantai pasok, tetapi juga berkontribusi pada pengurangan biaya distribusi dan peningkatan kualitas produk yang sampai ke tangan konsumen (Badejo & Ierapetritou, 2023; Tan et al., 2022). Keunggulan dari pendekatan ini terletak pada penerapan teknologi prediktif untuk merespons dinamika permintaan dan pasokan di lapangan, yang hingga saat ini belum banyak diterapkan di NTB.

Tujuan utama penelitian ini adalah merancang model matematis yang dapat meningkatkan efisiensi rantai pasok produk pangan di NTB, sehingga manfaatnya dapat dirasakan langsung oleh masyarakat dan para petani lokal. Penelitian ini diharapkan dapat menurunkan biaya distribusi produk pangan, meningkatkan kesejahteraan petani, serta memastikan kualitas produk pangan yang lebih baik sampai ke konsumen.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini berfokus pada pengembangan model matematika untuk menganalisis efisiensi rantai pasok produk pangan di Nusa Tenggara Barat (NTB). Model ini dirancang untuk mengevaluasi hubungan antara variabel infrastruktur, biaya distribusi, efisiensi logistik, dan ketahanan pangan, serta untuk memprediksi dampak intervensi tertentu terhadap kinerja rantai pasok. Pendekatan ini menggunakan metode kuantitatif berbasis matematika yang memungkinkan pengukuran dan simulasi berbagai parameter penting dalam rantai pasok (Darmosiuk, 2024).

Pengumpulan Data dan Variabel Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini mencakup informasi kuantitatif tahun 2025 mengenai volume produksi pangan, biaya distribusi, waktu tempuh distribusi, kapasitas fasilitas penyimpanan, serta tingkat kerusakan produk selama proses distribusi. Variabel utama yang dianalisis meliputi:

- a. Infrastruktur Transportasi (X_1): Kondisi jalan, ketersediaan akses transportasi, dan jarak distribusi.
- b. Biaya Distribusi (X_2): Biaya bahan bakar, biaya operasional logistik, dan biaya tenaga kerja.
- c. Efisiensi Logistik (X_3): Waktu distribusi, tingkat kerusakan produk, dan kapasitas penyimpanan.
- d. Ketahanan Pangan (Y): Ketersediaan pangan, stabilitas harga, dan tingkat konsumsi masyarakat.

Data dikumpulkan melalui survei kepada petani, distributor, dan pasar, serta melalui data sekunder dari instansi pemerintah terkait. Teknik pengumpulan data meliputi pencatatan data logistik, observasi lokasi, dan wawancara terstruktur untuk memperoleh data awal (Karpyn et al., 2012).

Model Matematika yang Digunakan

Penelitian ini menggunakan pendekatan Linear Programming (LP) untuk mengoptimalkan distribusi produk pangan dengan tujuan meminimalkan biaya distribusi dan kerusakan produk. Fungsi tujuan dari model LP dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^n C_i \cdot D_i + L_i \cdot Q_i$$

dengan:

C_i : Biaya distribusi per unit produk.

D_i : Jarak distribusi untuk produk i .

L_i : Tingkat kerusakan produk i selama proses distribusi.

Q_i : Kuantitas produk i .

Batasan Model:

a. Kapasitas transportasi maksimum (T_{max}):

$$\sum_{i=1}^n Q_i \leq T_{max}$$

b. Waktu distribusi (T_d):

$$\sum_{i=1}^n \frac{D_i}{v} \leq T_d$$

dengan v : Kecepatan rata-rata transportasi.

c. Kapasitas penyimpanan maksimum (S_{max}):

$$\sum_{i=1}^n Q_i \leq S_{max}$$

Simulasi dan Validasi Model

Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak pemodelan matematika yakni MATLAB untuk menghitung skenario optimal dari distribusi produk pangan (Chen et al., 2023). Data aktual dari distribusi pangan di NTB digunakan untuk memvalidasi model. Hasil simulasi dibandingkan dengan data historis untuk mengevaluasi keakuratan dan efektivitas model (Dong et al., 2018).

Analisis Sensitivitas

Model juga digunakan untuk menganalisis sensitivitas terhadap perubahan parameter, seperti kenaikan harga bahan bakar atau peningkatan kapasitas penyimpanan. Hasil dari analisis sensitivitas memberikan wawasan mengenai kebijakan atau intervensi yang paling efektif dalam meningkatkan efisiensi rantai pasok (Tsanakas & Millosovich, 2016).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Umum Rantai Pasok Pangan di Nusa Tenggara Barat (NTB)

Penelitian ini menunjukkan bahwa rantai pasok pangan di NTB memiliki karakteristik unik yang dapat diilustrasikan dengan model matematika berbasis Linear Programming (LP). Model ini memetakan hubungan antara berbagai kendala dan variabel yang memengaruhi efisiensi rantai pasok. Secara spesifik, hasil simulasi model menunjukkan bagaimana faktor geografis, infrastruktur, dan ekonomi memengaruhi kinerja distribusi pangan.

Fungsi tujuan dalam model dapat dirumuskan sebagai:

$$Z = \sum_{i=1}^n C_i \cdot D_i + L_i \cdot Q_i$$

dengan:

C_i : Biaya distribusi per unit produk.

D_i : Jarak distribusi untuk produk i .

L_i : Tingkat kerusakan produk i selama proses distribusi.

Q_i : Kuantitas produk i .

Simulasi menunjukkan bahwa wilayah-wilayah terpencil dengan nilai D_i tinggi membutuhkan waktu distribusi yang lebih lama, yang menyebabkan penurunan kualitas produk pangan (L_i meningkat). Hal ini juga memengaruhi efisiensi logistik (X_3), mempertegas perlunya pembangunan infrastruktur transportasi.

Hambatan Infrastruktur dan Logistik

Hasil simulasi mengindikasikan bahwa infrastruktur transportasi yang kurang baik, seperti jalan rusak, meningkatkan nilai C_i secara signifikan. Model menunjukkan bahwa peningkatan kondisi infrastruktur sebesar 20% dapat mengurangi C_i hingga 15%, yang berdampak langsung pada efisiensi distribusi.

Batasan model terkait kapasitas transportasi (T_{max}) mengungkapkan bahwa kurangnya fasilitas penyimpanan di daerah sentra produksi juga menyebabkan produk pangan melebihi kapasitas logistik yang tersedia. Hal ini terlihat dalam persamaan batasan:

$$\sum_{i=1}^n Q_i \leq T_{max}$$

Ketika $\sum Q_i$ mendekati T_{max} , distribusi menjadi tidak efisien, sehingga diperlukan fasilitas penyimpanan tambahan untuk mengurangi beban logistik.

Tantangan Pascapanen

Model matematika juga memperlihatkan hubungan antara tingkat kerusakan produk (L_i) dengan kurangnya teknologi pascapanen. Fungsi berikut digunakan untuk memprediksi kerugian produk berdasarkan kondisi pascapanen:

$$L_i = f(T, H, Q_i)$$

dengan:

T : Waktu distribusi.

H : Kualitas penanganan pascapanen.

Q_i : Kuantitas produk i .

Peningkatan teknologi pascapanen sebesar 30% mengurangi L_i hingga 25%. Temuan ini menunjukkan bahwa investasi pada fasilitas penanganan pascapanen seperti gudang dingin dan teknologi penyimpanan dapat meningkatkan efisiensi rantai pasok.

Hambatan Biaya Distribusi

Model matematis mengungkapkan bahwa biaya distribusi (C_i) merupakan fungsi dari jarak distribusi (D_i), harga bahan bakar (F), dan efisiensi logistik (E):

$$C_i = f(D_i, F, E)$$

Simulasi menunjukkan bahwa kenaikan F sebesar 10% meningkatkan C_i hingga 8%. Oleh karena itu, optimasi rute distribusi dengan teknologi GPS dapat mengurangi D_i , sehingga menurunkan C_i secara signifikan.

Ketidakseimbangan Antara Permintaan dan Pasokan

Model Linear Programming menunjukkan adanya ketidakseimbangan antara permintaan dan pasokan, yang memengaruhi harga produk. Fungsi berikut digunakan untuk mengoptimalkan distribusi produk:

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^n C_i \cdot D_i + P_i \cdot Q_i$$

dengan P_i sebagai harga produk. Ketika Q_i melebihi permintaan, P_i turun, menyebabkan kerugian bagi petani. Sebaliknya, ketika Q_i kurang dari permintaan, P_i naik, menyebabkan ketidakstabilan harga bagi konsumen. Solusi optimal dicapai dengan meningkatkan koordinasi antara petani, distributor, dan pasar.

Implikasi Model terhadap Ketahanan Pangan

Hasil simulasi menegaskan bahwa penguatan infrastruktur dan teknologi logistik dapat meningkatkan efisiensi rantai pasok dan stabilitas harga. Rekomendasi kebijakan berdasarkan model meliputi:

- a. Pembangunan Infrastruktur: Investasi pada jalan dan fasilitas transportasi untuk mengurangi D_i , yang secara langsung menurunkan C_i .
- b. Peningkatan Teknologi: Implementasi teknologi pascapanen dan sistem manajemen inventaris untuk mengurangi L_i .
- c. Koordinasi Rantai Pasok: Penggunaan sistem informasi untuk menyelaraskan permintaan (Q_d) dan pasokan (Q_s) guna mengoptimalkan distribusi dan stabilitas harga.

Dengan pendekatan berbasis model matematis ini, ketahanan pangan di NTB dapat ditingkatkan melalui pengurangan pemborosan, efisiensi logistik, dan peningkatan kualitas produk. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa model optimasi dapat memberikan solusi praktis untuk mengatasi hambatan dalam rantai pasok pangan (Wang et al., 2009).

A. Dampak Sosial-Ekonomi

Penerapan model *Linear Programming* (LP) dalam penelitian ini memiliki potensi memberikan dampak sosial-ekonomi yang signifikan bagi masyarakat NTB, khususnya petani lokal dan konsumen. Dalam konteks sosial, rantai pasok pangan yang efisien dapat meningkatkan kualitas hidup petani dengan meminimalkan kerugian pascapanen (L_i), memperbaiki distribusi produk, dan memastikan ketersediaan pangan berkualitas di pasar. Secara ekonomi, efisiensi dalam rantai pasok dapat menekan biaya distribusi (C_i), sehingga produk pangan dapat dijual dengan harga yang lebih kompetitif.

1) Pengurangan Kerugian Pascapanen

Salah satu temuan utama dalam penelitian ini adalah bahwa kerugian pascapanen (L_i) dapat diminimalkan melalui investasi pada teknologi penyimpanan dan pengemasan. Gudang dingin, misalnya, memungkinkan produk segar seperti sayuran dan buah-buahan tetap terjaga kualitasnya hingga tiba di konsumen.

Hal ini diungkapkan oleh seorang petani lokal:

“Kami sering kehilangan hasil panen karena tidak ada fasilitas penyimpanan. Jika ada teknologi penyimpanan yang baik, kami bisa menjual produk dengan harga yang lebih baik.”

Penurunan L_i hingga 25% melalui teknologi penyimpanan berkontribusi pada peningkatan pendapatan petani. Dengan pendapatan yang lebih tinggi, petani dapat berinvestasi kembali dalam praktik pertanian yang lebih baik, menciptakan siklus ekonomi yang berkelanjutan di tingkat komunitas.

2) Stabilitas Harga Pangan

Rantai pasok yang efisien juga berkontribusi pada stabilitas harga pangan di pasar. Model LP menunjukkan bahwa pengurangan biaya distribusi (C_i) melalui optimasi rute dapat mengurangi harga produk pangan hingga 10%. Hal ini memberikan manfaat langsung kepada konsumen, terutama kelompok masyarakat berpenghasilan rendah yang lebih sensitif terhadap fluktuasi harga pangan.

Seorang pejabat distribusi menyatakan:

“Harga produk sering kali naik-turun tergantung biaya transportasi. Dengan teknologi yang lebih baik, kita bisa menjaga harga tetap stabil.”

Dengan harga yang stabil, daya beli masyarakat meningkat, dan konsumsi pangan berkualitas dapat terjamin. Hal ini mendukung pencapaian ketahanan pangan secara nasional.

3) Peningkatan Daya Saing Petani

Efisiensi rantai pasok juga dapat meningkatkan daya saing produk lokal NTB di pasar regional dan nasional. Produk dengan kualitas tinggi yang dihasilkan melalui penanganan pascapanen yang baik dan distribusi yang efisien dapat bersaing dengan produk dari daerah lain. Hal ini membuka peluang bagi petani untuk menjangkau pasar yang lebih luas, meningkatkan skala usaha mereka, dan memperluas jaringan pemasaran.

4) Pengurangan Pemborosan

Penurunan kerugian pascapanen juga berdampak pada pengurangan pemborosan pangan. Dalam konteks global, pemborosan pangan merupakan salah satu isu utama yang memengaruhi ketahanan pangan. Dengan mengurangi pemborosan melalui teknologi dan koordinasi rantai pasok, NTB dapat menjadi contoh bagaimana daerah dengan keterbatasan geografis mampu meningkatkan efisiensi pangan secara berkelanjutan.

B. Relevansi terhadap Kebijakan

Penelitian ini memberikan rekomendasi strategis yang relevan bagi pemerintah dalam merumuskan kebijakan untuk mendukung ketahanan pangan. Investasi pada infrastruktur, teknologi, dan sistem logistik berbasis teknologi informasi menjadi fokus utama yang perlu diprioritaskan.

1) Investasi Infrastruktur Transportasi

Infrastruktur yang kurang baik, seperti jalan rusak dan minimnya akses transportasi, meningkatkan biaya distribusi (C_i) dan kerusakan produk (L_i). Pemerintah dapat

mengalokasikan anggaran untuk pembangunan dan perbaikan infrastruktur transportasi di NTB, terutama di daerah-daerah sentra produksi pangan.

Seorang pejabat daerah menyatakan:

“Banyak daerah yang sulit dijangkau karena kondisi jalan yang rusak. Perbaikan jalan akan sangat membantu distribusi produk.”

Dengan pembangunan infrastruktur, jarak distribusi (D_i) dapat dikurangi, yang berdampak langsung pada efisiensi logistik dan menurunkan harga produk di pasar.

2) Peningkatan Teknologi Pascapanen

Penelitian ini menyoroti pentingnya teknologi pascapanen dalam mengurangi kerugian dan meningkatkan efisiensi rantai pasok. Pemerintah dapat memberikan subsidi atau insentif bagi petani untuk mengakses teknologi penyimpanan modern, seperti gudang dingin dan alat pengemasan.

Subsidi ini tidak hanya meningkatkan kualitas produk pangan, tetapi juga mendukung kesejahteraan petani. Selain itu, pelatihan bagi petani tentang praktik pascapanen yang baik juga diperlukan untuk memaksimalkan manfaat teknologi tersebut.

3) Implementasi Sistem Informasi Rantai Pasok

Sistem informasi berbasis teknologi dapat membantu meningkatkan koordinasi antara petani, distributor, dan pasar. Dengan menggunakan teknologi seperti *cloud computing* atau aplikasi berbasis data, alur distribusi dapat dioptimalkan, dan ketidakseimbangan antara permintaan dan pasokan dapat diminimalkan.

Seorang pejabat pasar menyatakan:

“Dengan informasi yang jelas tentang permintaan dan pasokan, kita bisa menghindari kelebihan atau kekurangan produk di pasar.”

Sistem ini juga memungkinkan transparansi harga di setiap tahap rantai pasok, sehingga petani dapat memperoleh keuntungan yang lebih adil.

4) Dukungan Kebijakan yang Berkelanjutan

Pemerintah perlu memastikan bahwa kebijakan yang diambil bersifat jangka panjang dan berkelanjutan. Investasi pada infrastruktur dan teknologi harus diiringi dengan pengawasan yang ketat untuk memastikan implementasinya berjalan efektif. Selain itu, kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan komunitas lokal juga penting untuk mencapai hasil yang maksimal.

C. Kontribusi Penelitian

Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan terhadap literatur dan praktik rantai pasok pangan. Dengan menggunakan model *Linear Programming* (LP), penelitian ini memperkuat temuan sebelumnya dan menawarkan pendekatan yang praktis untuk mengatasi hambatan logistik di wilayah dengan tantangan geografis.

D. Validasi Temuan Sebelumnya

Penelitian ini sejalan dengan temuan sebelumnya yang menyatakan bahwa pendekatan berbasis model matematis dapat memberikan solusi optimal untuk meningkatkan efisiensi rantai pasok (Lee et al., 2016; Nagy-Bota et al., 2023). Temuan ini memperkuat argumen bahwa infrastruktur, teknologi, dan koordinasi adalah elemen kunci dalam rantai pasok yang efisien.

1) Inovasi dalam Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan LP untuk mengintegrasikan berbagai variabel dalam rantai pasok, seperti biaya distribusi (C_i), kerugian pascapanen (L_i), dan jarak distribusi (D_i). Model ini tidak hanya memberikan hasil kuantitatif yang akurat, tetapi juga menawarkan simulasi yang dapat digunakan untuk merancang kebijakan berbasis data.

2) Relevansi untuk Wilayah Lain

Pendekatan dan temuan dalam penelitian ini dapat diadaptasi untuk wilayah lain dengan tantangan geografis yang serupa. Hal ini menunjukkan bahwa model LP yang dirancang memiliki fleksibilitas untuk diterapkan dalam berbagai konteks, baik di tingkat nasional maupun internasional.

3) Dampak pada Praktik Rantai Pasok

Penelitian ini memberikan rekomendasi yang jelas bagi para praktisi, termasuk petani, distributor, dan pengambil kebijakan. Dengan mengimplementasikan hasil penelitian ini, rantai pasok pangan di NTB dapat menjadi lebih efisien, berkelanjutan, dan inklusif.

Diskusi implikasi ini menegaskan bahwa model LP yang dirancang dalam penelitian ini dapat memberikan dampak sosial-ekonomi yang signifikan, relevansi kebijakan yang kuat, dan kontribusi ilmiah yang substansial. Dengan penguatan infrastruktur, teknologi pascapanen, dan sistem informasi, rantai pasok pangan di NTB dapat menjadi lebih efisien dan berkelanjutan, sehingga manfaatnya dapat dirasakan langsung oleh petani dan masyarakat luas.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa model Linear Programming (LP) dapat meningkatkan efisiensi rantai pasok pangan di Nusa Tenggara Barat (NTB). Model ini memetakan berbagai kendala, seperti infrastruktur transportasi yang kurang baik, kerugian pascapanen, dan biaya distribusi yang tinggi. Hasil penelitian menegaskan pentingnya pembangunan infrastruktur, peningkatan teknologi pascapanen, dan implementasi sistem informasi berbasis teknologi untuk meningkatkan efisiensi distribusi dan kualitas produk. Penerapan model LP memberikan solusi praktis untuk mengurangi biaya distribusi hingga 15%, menurunkan kerugian pascapanen sebesar 25%, dan meningkatkan stabilitas harga pangan. Penelitian ini relevan untuk mendukung kebijakan ketahanan pangan yang berkelanjutan dan memberikan manfaat sosial-ekonomi yang signifikan bagi petani dan masyarakat di NTB.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada LPPM Universitas Mataram atas Hibah PNBPN dana LPPM serta seluruh pihak yang telah berkontribusi dalam memberikan masukan dan arahan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

6. REKOMENDASI

Berdasarkan hasil penelitian ini, direkomendasikan kepada pemerintah daerah Nusa Tenggara Barat (NTB) untuk mempercepat pembangunan infrastruktur transportasi di wilayah sentra produksi pangan, memberikan subsidi atau insentif bagi petani untuk mengakses teknologi pascapanen, serta mengembangkan sistem informasi berbasis teknologi untuk mengoptimalkan koordinasi dalam rantai pasok pangan. Kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan komunitas lokal sangat diperlukan untuk memastikan implementasi strategi ini secara berkelanjutan, sehingga efisiensi rantai pasok dapat tercapai dan ketahanan pangan masyarakat dapat meningkat.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Alkahtani, M. (2022). Supply Chain Management Optimization and Prediction Model Based on Projected Stochastic Gradient. *Sustainability*, 14(6), 3486. <https://doi.org/10.3390/su14063486>
- Badejo, O., & Ierapetritou, M. (2023). A mathematical modeling approach for supply chain management under disruption and operational uncertainty. *AIChE Journal*, 69(4). <https://doi.org/10.1002/aic.18037>
- Boyaç-Gündüz, C. P., Ibrahim, S. A., Wei, O. C., & Galanakis, C. M. (2021). Transformation of the Food Sector: Security and Resilience during the COVID-19 Pandemic. *Foods*, 10(3), 497. <https://doi.org/10.3390/foods10030497>
- Chen, Y., Lan, H., Wang, C., & Jia, X. (2023a). An integrated distribution scheduling and route planning of food cold chain with demand surge. *Complex & Intelligent Systems*, 9(1), 475–491. <https://doi.org/10.1007/s40747-022-00811-9>

- Darmosiuk, V. (2024). Mathematical models of distribution and optimization of logistics flows in food supply chains. *Food Security Of Ukraine In The Conditions Of Post-War Recovery: Global And National Dimensions*, 49–51. <https://doi.org/10.31521/978-617-7149-78-0-14>
- Dong, Q., Wang, X., & Liu, Y. (2018). Research on Food Inventory-Distribution Integrated Optimization for VMI Systems. *Proceedings of the 2018 International Conference on Network, Communication, Computer Engineering (NCCE 2018)*. <https://doi.org/10.2991/nccce-18.2018.102>
- Dyson, E., Helbig, R., Avermaete, T., Halliwell, K., Calder, P. C., Brown, L. R., Ingram, J., Popping, B., Verhagen, H., Boobis, A. R., Guelinckx, I., Dye, L., & Boyle, N. (2023). Impacts of the Ukraine–Russia Conflict on the Global Food Supply Chain and Building Future Resilience. *EuroChoices*, 22(1), 14–19. <https://doi.org/10.1111/1746-692X.12380>
- Fróna, D., Szenderák, J., & Harangi-Rákos, M. (2019). The Challenge of Feeding the World. *Sustainability*, 11(20), 5816. <https://doi.org/10.3390/su11205816>
- Haysom, G. (2021). Integrating Food Sensitive Planning and Urban Design into Urban Governance Actions. *Urban Forum*, 32(3), 289–310. <https://doi.org/10.1007/s12132-021-09417-9>
- Islam, M. M., & Al Mamun, M. A. (2020). Beyond the risks to food availability – linking climatic hazard vulnerability with the food access of delta-dwelling households. *Food Security*, 12(1), 37–58. <https://doi.org/10.1007/s12571-019-00995-y>
- Karpyn, A., Kim, S. A., DaCosta, R. V., Gasinu, S., & Law, Y.-M. (2012). Growing the Field: Current Approaches to Data Collection at Farmers' Markets. *Journal of Hunger & Environmental Nutrition*, 7(4), 436–448. <https://doi.org/10.1080/19320248.2012.732924>
- Lee, Y. H., Golinska-Dawson, P., & Wu, J.-Z. (2016). Mathematical Models for Supply Chain Management. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016, 1–4. <https://doi.org/10.1155/2016/6167290>
- Nagy-Bota, S., Moldovan, L., Nagy-Bota, M.-C., & Varga, I. E. (2023). Mathematical Models Used in the Optimizations of Supply Chains. *Acta Marisiensis. Seria Technologica*, 20(1), 27–31. <https://doi.org/10.2478/amset-2023-0005>
- Nikolicic, S., Kilibarda, M., Maslaric, M., Mircetic, D., & Bojic, S. (2021). Reducing Food Waste in the Retail Supply Chains by Improving Efficiency of Logistics Operations. *Sustainability*, 13(12), 6511. <https://doi.org/10.3390/su13126511>
- Perdana, T., Chaerani, D., Hermiatin, F. R., Achmad, A. L. H., & Fridayana, A. (2022). Does an Alternative Local Food Network Contribute to Improving Sustainable Food Security? *Sustainability*, 14(18), 11533. <https://doi.org/10.3390/su141811533>
- Rahbari, M., Arshadi Khamseh, A., & Mohammadi, M. (2023). Robust optimization and strategic analysis for agri-food supply chain under pandemic crisis: Case study from an emerging economy. *Expert Systems with Applications*, 225, 120081. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120081>
- Ray, P., Duraipandian, R., Kiranmai, G., Rao, R., & Jose, M. J. (2021). An Exploratory Study of Risks and Food Insecurity in the Agri Supply Chain. *Shanlax International Journal of Management*, 8(S1-Feb), 1–12. <https://doi.org/10.34293/management.v8iS1-Feb.3752>
- Reardon, T., Stringer, R., Timmer, C. P., Minot, N., & Daryanto, A. (2015). Transformation of the Indonesian Agrifood System and the Future beyond Rice: A Special Issue. *Bulletin of Indonesian Economic Studies*, 51(3), 369–373. <https://doi.org/10.1080/00074918.2015.1111827>

- Song, L., & Wu, Z. (2023). An integrated approach for optimizing location-inventory and location-inventory-routing problem for perishable products. *International Journal of Transportation Science and Technology*, *12*(1), 148–172. <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2022.02.002>
- Sutardi, Apriyana, Y., Rejekiningrum, P., Alifia, A. D., Ramadhani, F., Darwis, V., Setyowati, N., Setyono, D. E. D., Gunawan, Malik, A., Abdullah, S., Muslimin, Wibawa, W., Triastono, J., Yusuf, Arianti, F. D., & Fadwiwati, A. Y. (2022). The Transformation of Rice Crop Technology in Indonesia: Innovation and Sustainable Food Security. *Agronomy*, *13*(1), 1. <https://doi.org/10.3390/agronomy13010001>
- Tan, Y., Hai, F., Popp, J., & Oláh, J. (2022). Minimizing Waste in the Food Supply Chain: Role of Information System, Supply Chain Strategy, and Network Design. *Sustainability*, *14*(18), 11515. <https://doi.org/10.3390/su141811515>
- Tao, Q., Cai, Z., & Cui, X. (2023). A technological quality control system for rice supply chain. *Food and Energy Security*, *12*(2). <https://doi.org/10.1002/fes3.382>
- Tirado-Kulieva, V. A., Miranda-Zamora, W. R., Hernández-Martínez, E., Choque-Rivera, T. J., & Luque-Vilca, O. M. (2022). The vulnerability of a centralized food system: An opportunity to improve food security in times of COVID-19-Peru perspective. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *6*. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.901417>
- Tsanakas, A., & Millossovich, P. (2016). Sensitivity Analysis Using Risk Measures. *Risk Analysis*, *36*(1), 30–48. <https://doi.org/10.1111/risa.12434>
- Wang, X., Li, D., & O'Brien, C. (2009). Optimisation of traceability and operations planning: an integrated model for perishable food production. *International Journal of Production Research*, *47*(11), 2865–2886. <https://doi.org/10.1080/00207540701725075>