

## Optimasi Alokasi Lahan Padi dan Cabai Merah dengan Program Linear

Andi Susanto<sup>1\*</sup>, Sri Hidayah<sup>2</sup>, Andini Fadillah<sup>3</sup>, Hanifah<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Program Studi Tadris Matematika, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan, UIN Imam Bonjol Padang

Email Corresponding Author: [andisusanto@uinib.ac.id](mailto:andisusanto@uinib.ac.id)

### Info Artikel

#### Article history:

Kirim: 25/07/2025

Perbaikan: 31/08/2025

Terima: 03/09/2026

Publikasi: 25/09/2026

#### Kata-kata kunci:

alokasi lahan;  
cabai merah;  
ketahanan pangan;  
keuntungan usaha tani;  
program linear.

### ABSTRAK

Keterbatasan lahan dan disparitas profitabilitas antara komoditas padi dan cabai merah memicu tantangan dalam penentuan alokasi ruang agrikultur. Strategi yang tepat dibutuhkan guna mengamplifikasi keuntungan finansial tanpa mereduksi kuota ketersediaan pangan lokal. Riset ini diaplikasikan untuk merumuskan proporsi luasan lahan paling optimal bagi kedua jenis tanaman di Kota Padang dengan memanfaatkan *linear programming*. Konstruksi model matematis mengandalkan data sekunder BPS Kota Padang tahun 2024. Sasaran utama (*objective function*) diarahkan pada maksimisasi margin usahatani, yang diikat oleh batasan (*constraints*) berupa total luas area 22.922,11 hektare dan batas bawah (*lower bound*) produksi beras sebanyak 80.092 ton. Perhitungan berbasis presisi membuktikan bahwa luasan paling ideal adalah 14.405 hektare khusus untuk budidaya padi, dan sisanya 8.517,11 hektare dialokasikan bagi cabai merah. Keputusan spasial tersebut berpotensi mengeskalasi proyeksi keuntungan maksimum hingga menembus angka Rp Rp223.558.981.400,00. Konklusi penelitian menunjukkan bahwa pendekatan kuantitatif ini mumpuni untuk menjembatani benturan kepentingan (*trade-off*) antara keamanan pangan dan rasionalisasi ekonomi. Hasil pemodelan ini menyajikan basis analisis pendahuluan untuk perencanaan komoditas, dengan tetap menyadari asumsi kondisi *ceteris paribus* pada variabel harga maupun laju panen.

## 1. PENDAHULUAN

Dalam struktur perekonomian nasional, sektor pertanian menempati kedudukan strategis karena turut menopang ketersediaan pangan, membuka lapangan kerja, dan mendorong peningkatan taraf hidup masyarakat ([Republik Indonesia, 2012](#)). Selain berfungsi menyediakan pangan, sektor ini juga menjadi tumpuan hidup bagi sebagian besar penduduk yang bermukim di wilayah perdesaan ([Republik Indonesia, 2012](#)). Karena itu, pengelolaan sumber daya pertanian yang tepat guna menjadi langkah strategis untuk mendongkrak kesejahteraan petani sekaligus memastikan produksi pangan nasional tetap berkelanjutan ([Republik Indonesia, 2012](#)).

Salah satu permasalahan utama yang sering dihadapi dalam kegiatan usahatani di berbagai daerah adalah keterbatasan sumber daya, khususnya mengenai luas lahan pertanian ([Jamaludin, 2021](#)). Keterbatasan area tanam tersebut menyebabkan para petani harus berpikir cermat untuk menentukan kombinasi komoditas yang paling menguntungkan agar penggunaan

lahan menjadi lebih efisien. Dalam praktiknya, setiap jenis komoditas memiliki tingkat keuntungan yang berbeda-beda sehingga pengambilan keputusan mengenai alokasi lahan berkembang menjadi permasalahan optimasi. Pengalokasian lahan yang kurang tepat di lapangan dapat menyebabkan total keuntungan usahatani tidak maksimal, meskipun seluruh lahan yang tersedia telah dimanfaatkan sepenuhnya. Di Kota Padang, total ketersediaan area pertanian yang secara teknis dapat dialokasikan secara simultan untuk budidaya padi maupun komoditas hortikultura (seperti cabai merah) diasumsikan seluas 22.922,11 hektare. Secara operasional, angka ini bersumber dari agregasi data lahan pertanian pada Tabel Luas Tanah Menurut Jenis Penggunaan ([Badan Pusat Statistik Kota Padang, 2024](#)), yang merepresentasikan ketersediaan lahan baku pertanian riil dan siap dikelola, bukan akumulasi dari luas panen yang dapat terhitung ganda dalam satu periode tanam.

Sebagai bahan pangan pokok, padi memegang posisi strategis dalam menjamin kecukupan kebutuhan konsumsi masyarakat sekaligus menopang stabilitas ketahanan pangan nasional ([Republik Indonesia, 2012](#)). Di sisi lain, cabai merah merupakan salah satu komoditas hortikultura unggulan yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan terbukti mampu memberikan keuntungan yang relatif lebih besar bagi produsen dibandingkan beberapa komoditas pangan lainnya ([Badan Pusat Statistik, 2024](#); [Herianto et al., 2023](#)). Namun demikian, tingginya daya tarik margin usahatani cabai merah tersebut dapat mendorong petani untuk mengonversi dan mengurangi luas tanam padi secara drastis apabila tidak terdapat batasan alokasi tertentu ([Cahyani et al., 2025](#)). Kondisi peralihan fungsi lahan yang tidak terkendali ini berpotensi menurunkan volume produksi padi yang sangat krusial untuk menjaga ketersediaan pangan daerah ([Cahyani et al., 2025](#)). Oleh karena itu, diperlukan suatu model pemecahan masalah yang mampu memaksimalkan keuntungan usahatani tanpa mengabaikan batas produksi minimum padi sebagai komoditas penyangga utama ([Cahyani et al., 2025](#)).

Permasalahan pengalokasian lahan dengan berbagai keterbatasan variabel ini merupakan salah satu bentuk nyata dari kasus optimasi yang dapat diselesaikan menggunakan program linear ([Badan Pusat Statistik Kota Padang, 2024](#)). Program linear sendiri merupakan suatu metode optimasi matematis yang digunakan untuk menentukan solusi terbaik dari suatu fungsi tujuan dengan mempertimbangkan sejumlah kendala yang membatasi ([Badan Pusat Statistik Kota Padang, 2024](#)). Dalam penelitian ini, fungsi tujuan yang dibangun difokuskan untuk memaksimalkan keuntungan usahatani padi dan cabai merah di Kota Padang ([Badan Pusat Statistik Kota Padang, 2024](#)). Sementara itu, fungsi kendala yang dipertimbangkan meliputi keterbatasan total luas lahan pertanian yang tersedia serta batas minimum produksi padi yang harus dicapai, sehingga solusi yang dihasilkan tidak hanya memberikan keuntungan finansial maksimum tetapi juga mampu mempertahankan eksistensi pangan ([Badan Pusat Statistik Kota Padang, 2024](#)).

Beberapa penelitian terdahulu telah mengaplikasikan optimasi matematis dalam bidang pertanian, namun dengan fokus dan batasan yang bervariasi. Sebagai contoh, [Pratama & Sari \(2024\)](#) menggunakan program linear untuk mengoptimasi kuantitas produksi padi, namun tidak memodelkan persaingan alokasi ruang dengan komoditas hortikultura yang bernilai ekonomi lebih tinggi. Di sisi lain, [Cahyani et al. \(2025\)](#) telah menerapkan program linear untuk

memaksimalkan keuntungan pertanian multikomoditas (padi dan jagung), tetapi model tersebut tidak mengintegrasikan kendala spesifik berupa batas minimum produksi pangan daerah sebagai syarat mutlak. Sementara itu, pada ranah optimasi usaha pangan, ([Herianto et al. \(2023\)](#)) mengimplementasikan *Fuzzy Linear Programming* untuk menentukan kombinasi produksi olahan komersial tanpa melibatkan parameter tata guna lahan spasial. Kondisi pemetaan literatur tersebut menunjukkan adanya kesenjangan (*research gap*); kajian terdahulu belum mengintegrasikan fungsi tujuan maksimisasi keuntungan finansial dengan fungsi kendala ketahanan pangan riil secara simultan. Secara konseptual, pemodelan matematika selalu relevan digunakan sebagai pendekatan esensial untuk merepresentasikan permasalahan riil yang kompleks ke dalam rumusan analitis agar dapat diselesaikan secara sistematis ([Susanto & Rudianto, 2020](#)). Berpijak pada prinsip fundamental tersebut, pemodelan matematis deterministik berupa program linear dirancang dalam penelitian ini untuk menjembatani dua kepentingan strategis (ekonomi dan ketahanan pangan), yang sekaligus menjadi rumusan kebaruan yang akan dievaluasi kelayakan solusinya.

Berdasarkan identifikasi kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk membangun model program linear guna menentukan alokasi luas lahan usahatani padi dan cabai merah yang menghasilkan keuntungan maksimum, dengan tetap tunduk pada kendala keterbatasan lahan riil dan target produksi minimum padi di Kota Padang. Hasil akhir dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi ilustrasi skenario pemodelan kuantitatif yang menyajikan kerangka dasar bagi evaluasi alokasi ruang pertanian. Melalui skenario model deterministik ini, alternatif pemanfaatan lahan dapat dianalisis secara logis dan terukur, sehingga potensi peningkatan margin keuntungan ekonomi usahatani dapat diproyeksikan tanpa harus mengabaikan aspek keberlanjutan pasokan beras lokal sebagai komoditas penyangga.

Program linear adalah teknik optimasi matematis untuk mencari titik maksimum maupun minimum dari sebuah fungsi tujuan, dengan tetap tunduk pada sejumlah batasan yang dinyatakan dalam bentuk persamaan atau pertidaksamaan linear ([Bertsimas & Tsitsiklis, 1997](#); [Bazaraa et al., 2011](#)). Metode ini telah banyak digunakan dalam proses pengambilan keputusan karena kemampuannya yang sangat efektif dalam menghasilkan solusi optimal pada kondisi sumber daya yang terbatas ([Tan & Wong, 2026](#)). Suatu model program linear pada dasarnya dibentuk oleh tiga komponen utama, yaitu fungsi tujuan, variabel keputusan, dan fungsi kendala, yang secara umum dirumuskan sebagai memaksimalkan

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \quad (1)$$

dengan kendala

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1 \quad (2)$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2 \quad (3)$$

⋮

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

$$x_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Variabel dan simbol yang digunakan dalam formulasi model matematika tersebut didefinisikan secara konseptual dengan  $Z$  sebagai fungsi tujuan,  $x_j$  sebagai variabel keputusan,  $c_j$  sebagai koefisien fungsi tujuan,  $a_{ij}$  sebagai koefisien fungsi kendala, dan  $b_i$  sebagai batas kendala yang tersedia. Ciri tersebut selaras dengan cara kerja metode simpleks, yang menelusuri solusi secara bertahap, berpindah dari satu titik basis fisibel ke titik basis fisibel berikutnya di dalam ruang solusi yang layak, sampai akhirnya ditemukan hasil optimal bagi fungsi kendala yang ada ([Hillier & Lieberman, 2021](#); [Taha, 2017](#)). Dalam penelitian ini, model program linear diterapkan secara spesifik untuk menentukan alokasi luas lahan tanaman padi ( $x_1$ ) dan cabai merah ( $x_2$ ) yang paling optimal di Kota Padang, dengan tetap terikat oleh fungsi pembatas keterbatasan total luas lahan riil serta target batas minimum produksi padi guna menjaga stabilitas ketahanan pangan lokal.

Salah satu tolak ukur keberhasilan usaha tani secara finansial adalah besarnya keuntungan yang diperoleh. Nilai ini dihitung dari selisih antara pendapatan total saat panen dikurangi keseluruhan pengeluaran yang timbul sepanjang proses produksi ([Nurprihatin et al., 2021](#)). Besarnya keuntungan tersebut sangat dipengaruhi oleh tingkat produktivitas lahan, harga jual hasil panen di pasar, biaya produksi, serta efisiensi penggunaan faktor-faktor produksi seperti lahan, tenaga kerja, dan modal ([Nurprihatin et al., 2021](#)). Padi merupakan komoditas pangan utama yang berperan penting dalam memenuhi kebutuhan pangan masyarakat, sedangkan cabai merupakan komoditas hortikultura yang memiliki nilai ekonomi relatif tinggi sehingga berpotensi memberikan keuntungan yang lebih besar. Perbedaan tingkat keuntungan tersebut menyebabkan petani perlu menentukan alokasi lahan yang tepat agar keuntungan yang diperoleh dapat dimaksimalkan tanpa mengurangi produksi padi sebagai komoditas pangan utama ([Cahyani et al., 2025](#)).

Padi (*Oryza sativa L.*) menempati posisi vital dalam memenuhi kebutuhan pangan penduduk. Sebagai bahan baku beras, padi menjadi salah satu komoditas strategis yang terus diupayakan peningkatan produksinya untuk mendukung ketahanan pangan nasional ([M. F. A. Pratama & Jumali, 2026](#)). Produktivitas padi di lapangan dipengaruhi oleh berbagai faktor operasional, seperti luas lahan, kualitas benih, kesuburan tanah, teknik budidaya, serta kondisi iklim ([Pratama & Sari, 2024](#)). Dalam penelitian ini, padi dipilih sebagai salah satu komoditas karena memiliki peran vital sebagai sumber pangan utama masyarakat Kota Padang ([Leovita & Martadona, 2021](#)), sehingga model program linear yang dibangun tidak hanya bertujuan memaksimalkan keuntungan usahatani, tetapi juga mempertimbangkan produksi minimum padi sebagai salah satu kendala agar kebutuhan pangan tetap dapat terpenuhi ([Pratama & Sari, 2024](#)).

Cabai merah (*Capsicum annuum L.*) sebagai produk hortikultura, cenderung menawarkan margin keuntungan yang lebih menjanjikan bagi petani ([Badan Pusat Statistik, 2024](#)). Permintaan cabai merah yang relatif tinggi serta harga jual yang fluktuatif menjadikan komoditas ini berpotensi memberikan keuntungan yang lebih besar dibandingkan beberapa komoditas pangan lainnya ([Utami & Setiawan, 2023](#)). Namun, pengalokasian lahan yang terlalu besar pada komoditas cabai merah dapat mengurangi luas tanam padi sehingga berpotensi memengaruhi produksi pangan nasional ([Hidayah & Yulianti, 2024](#)). Dalam penelitian ini,

cabai merah dipilih sebagai komoditas pembanding karena memiliki tingkat keuntungan finansial yang lebih kompetitif dibandingkan padi, sehingga variabel luas lahan cabai merah diintegrasikan sebagai salah satu variabel keputusan dalam model program linear untuk menentukan kombinasi penggunaan lahan yang menghasilkan keuntungan maksimum dengan tetap memenuhi kendala keterbatasan lahan dan produksi minimum padi.

Suatu wilayah dapat dikatakan memiliki ketahanan pangan apabila kebutuhan pangan penduduknya terpenuhi secara memadai baik dari sisi jumlah, keamanan, maupun kandungan gizi serta dapat diakses secara berkelanjutan oleh seluruh lapisan masyarakat ([Dardanella et al., 2026](#)). Di tingkat nasional, besar-kecilnya produksi padi turut menentukan ketahanan pangan mengingat beras masih menjadi sumber karbohidrat utama bagi mayoritas penduduk Indonesia ([Dardanella et al., 2026](#)). Upaya mendongkrak keuntungan ekonomi kerap mendorong petani beralih ke komoditas hortikultura yang bernilai jual lebih tinggi, sehingga alokasi lahan yang terlalu berorientasi pada keuntungan jangka pendek berisiko menggerus luas tanam padi dan menurunkan produksi beras lokal ([Isnurdiansyah et al., 2025](#)). Karena itu, dibutuhkan keseimbangan yang terjaga antara pencapaian keuntungan ekonomi petani dan pemenuhan kebutuhan pangan masyarakat melalui pengendalian alokasi lahan pertanian yang terukur ([Isnurdiansyah et al., 2025](#)). Dalam penelitian ini, konsep pembatasan tersebut diterapkan secara matematis ke dalam model program linear sebagai fungsi kendala produksi minimum padi agar optimasi keuntungan tidak mengorbankan ketersediaan pangan pokok di Kota Padang.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan model pemrograman linear (*linear programming*) untuk menentukan alokasi lahan optimal antara komoditas padi dan cabai merah di Kota Padang. Model yang dibangun diselesaikan menggunakan metode simpleks dengan pendekatan Big-M. Uraian sub bagian metode penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

### Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif terapan (*applied quantitative research*) yang menggunakan pendekatan pemrograman linear untuk memodelkan dan menyelesaikan permasalahan optimasi alokasi lahan pertanian. Model dirancang dengan dua variabel keputusan, yaitu luas lahan padi dan luas lahan cabai merah, kemudian diselesaikan menggunakan metode simpleks dengan algoritma Big-M.

### Unit Analisis dan Harmonisasi Data

Unit analisis dalam penelitian ini adalah alokasi proporsi luasan lahan pertanian baku (bukan luas panen kumulatif) di Kota Padang yang berpotensi dimanfaatkan untuk usahatani padi maupun cabai merah. Data sekunder yang dikumpulkan menggunakan periode dasar tahun 2024. Aturan harmonisasi tahun diterapkan dengan menyelaraskan seluruh rujukan nilai moneter (seperti estimasi keuntungan per hektare yang diperoleh dari literatur penunjang) agar

ekuivalen dan diasumsikan merepresentasikan kondisi kelayakan harga pasar pada tahun dasar 2024.

### Asumsi Model

Sebagai sebuah studi pemodelan optimasi deterministik, formulasi program linear ini dibangun atas empat asumsi dasar operasional. Pertama, model mengasumsikan kondisi kepastian (*certainty*), di mana seluruh parameter meliputi tingkat keuntungan usahatani, total ketersediaan lahan, dan produktivitas dinilai konstan dan tidak terpengaruh oleh dinamika pasar selama periode analisis. Kedua, asumsi proporsionalitas diterapkan untuk memastikan bahwa kontribusi setiap variabel keputusan terhadap fungsi tujuan dan kendala berjalan secara linier dan sebanding dengan besaran luasan yang dialokasikan. Ketiga, model menerapkan asumsi aditivitas, yang memposisikan total keuntungan usahatani sebagai akumulasi linier murni antara komoditas padi dan cabai merah tanpa memperhitungkan adanya interaksi silang biologis atau ekonomi antar keduanya. Terakhir, asumsi divisibilitas dipenuhi dengan mengizinkan variabel keputusan (luas lahan) bersifat kontinu, sehingga hasil alokasi optimal dapat berupa angka desimal yang presisi secara matematis.

### Instrumen dan Parameter Pemodelan

Instrumen utama dalam penelitian ini adalah tabulasi parameter kuantitatif yang menjadi basis pembentukan variabel keputusan  $x_1$  (luas lahan padi) dan  $x_2$  (luas lahan cabai merah). Data parameter mencakup estimasi keuntungan usahatani, total batas lahan, serta variabel produksi dan produktivitas padi yang disarikan dari publikasi resmi Badan Pusat Statistik (BPS) Kota Padang dan literatur empiris terkait. Ringkasan parameter penelitian disajikan pada [Tabel 1](#).

**Tabel 1. Data Parameter Penelitian**

| Parameter                        | Nilai           | Satuan      |
|----------------------------------|-----------------|-------------|
| Keuntungan usahatani padi        | Rp3.694.373,38  | per hektare |
| Keuntungan usahatani cabai merah | Rp20.000.000,00 | per hektare |
| Luas lahan Kota Padang           | 22.922,11       | hektare     |
| Produksi padi Kota Padang        | 80.092          | ton         |
| Produktivitas padi               | 5,56            | ton/hektare |

### Teknik Analisis Data

Data parameter yang telah dihimpun dianalisis menggunakan metode pemrograman linear melalui algoritma *Metode Simpleks Pendekatan Big-M*. Mengingat model ini melibatkan dua variabel keputusan ( $x_1$  dan  $x_2$ ) serta dua fungsi kendala utama, verifikasi analitik atau uji grafis disertakan sebagai pembanding awal untuk memastikan kelayakan wilayah solusi (*feasible region*). Secara sistematis, prosedur analitis operasional diawali dengan memformulasikan seluruh fungsi kendala pertidaksamaan ke dalam bentuk baku (*standard form*). Kendala pertama ( $x_1 + x_2 \leq 22.922,11$ ) dikonversi dengan menambahkan variabel *slack* ( $s_1$ ), sedangkan kendala kedua ( $5,56x_1 \geq 80.092$ ) dikonversi dengan mengurangi

variabel *surplus* ( $s_2$ ) serta menambahkan variabel artifisial ( $a_1$ ) guna membentuk basis identitas awal.

Langkah operasional dilanjutkan dengan menetapkan konvensi baris fungsi tujuan (*objective row*) melalui modifikasi fungsi maksimisasi yang memasukkan konstanta penalti tak hingga ( $-M$ ) pada variabel artifisial  $a_1$ , yang kemudian dirumuskan secara konsisten dalam bentuk implisit  $-Z + \sum c_j x_j = 0$ . Proses penyelesaian iteratif dijalankan melalui Operasi Baris Dasar (OBE) pada tabel simpleks secara transparan agar mudah diaudit. Pemilihan variabel masuk (*entering variable*) didasarkan pada koefisien positif terbesar pada baris penanda fungsi tujuan  $-Z$ , sementara uji rasio (*ratio test*) antara nilai sisi kanan (*Right-Hand Side* / RHS) terhadap koefisien kolom pivot positif terkecil diterapkan secara konsisten untuk menetapkan variabel keluar (*leaving variable*). Akhirnya, seluruh rangkaian iterasi dihentikan secara mutlak ketika seluruh koefisien pada baris fungsi tujuan  $-Z$  bernilai nol atau negatif ( $\leq 0$ ), yang menandakan bahwa solusi optimal global telah tercapai.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Hasil Penelitian

#### Pembentukan Model Program Linear

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan alokasi lahan tanam padi dan cabai merah yang mampu memberikan keuntungan maksimum dengan tetap mempertahankan target produksi minimum padi di Kota Padang. Untuk mencapai tujuan tersebut, langkah pertama yang dilakukan adalah mengidentifikasi parameter-parameter utama yang akan digunakan dalam pemodelan program linear ([Badan Pusat Statistik Kota Padang, 2024](#)), sebagaimana telah dirangkum pada [Tabel 1](#).

Berdasarkan parameter yang telah diidentifikasi pada [Tabel 1](#), model matematika dibentuk dengan menetapkan dua variabel keputusan utama, yaitu  $x_1$  = luas lahan padi (hektare) dan  $x_2$  = luas lahan cabai merah (hektare).

Fungsi tujuan dari penelitian ini adalah memaksimalkan total keuntungan bersih (*net profit*) per satu musim tanam yang diperoleh dari usahatani kedua komoditas tersebut ([Nurprihatin et al., 2021](#)). Berdasarkan penelusuran literatur dan penyesuaian asumsi harga riil, koefisien keuntungan bersih untuk komoditas padi ditetapkan sebesar Rp3.694.373,38 per hektare per musim tanam, sedangkan estimasi keuntungan bersih cabai merah adalah Rp20.000.000,00 per hektare per musim tanam ([Herianto et al., 2023](#)). Guna memastikan kesebandingan (komparabilitas) parameter dalam pemodelan, kedua nilai koefisien yang bersumber dari kompilasi studi terdahulu tersebut telah dinormalisasi silang ke dalam estimasi harga pasar lokal Kota Padang pada tahun dasar 2024. Dengan demikian, fungsi tujuan untuk memaksimalkan keuntungan ( $Z$ ) secara matematis beroperasi pada periode waktu dan basis nilai ekonomi yang setara, yang dirumuskan sebagai berikut:

*Maksimumkan*

$$Z = 3.694.373,38 x_1 + 20.000.000,00 x_2$$

Pencapaian nilai fungsi tujuan tersebut dibatasi oleh serangkaian fungsi kendala yang merepresentasikan kondisi ketersediaan sumber daya riil. Kendala pertama berkaitan dengan total luas lahan pertanian baku di Kota Padang yang tercatat seluas 22.922,11 hektare ([Badan Pusat Statistik Kota Padang, 2024](#)), sehingga alokasi area gabungan untuk kedua komoditas tidak boleh melampaui ambang batas spasial tersebut. Kendala kedua merupakan konstrain ketahanan pangan, yang dibentuk berdasarkan kewajiban untuk memenuhi target produksi padi minimum sebesar 80.092 ton ([Badan Pusat Statistik Kota Padang, 2024](#)). Angka ini tidak ditetapkan semata-mata dari produksi aktual historis, melainkan digunakan sebagai basis normatif pemenuhan agregat kebutuhan konsumsi beras minimum penduduk Kota Padang dalam satu tahun. Dengan tingkat produktivitas rata-rata sebesar 5,56 ton per hektare, area esensial yang mutlak dipertahankan untuk mengamankan suplai pangan tersebut dibulatkan menjadi seluas 14.405 hektare (merujuk pada tabel optimal simpleks). Angka ini merupakan skenario dasar (*baseline scenario*) yang deterministik, di mana analisis sensitivitas diaplikasikan untuk menguji ketahanan model terhadap fluktuasi kebijakan atau perubahan laju konsumsi masyarakat. Selain itu, seluruh variabel keputusan wajib tunduk pada syarat non-negatif (*non-negativity constraint*) mengingat entitas fisik lahan tidak mungkin bernilai di bawah nol. Formulasi himpunan fungsi kendala tersebut disusun sebagai berikut:

$$\begin{aligned}x_1 + x_2 &\leq 22.922,11 \\5,56 x_1 &\geq 80.092 \rightarrow x_1 \geq 14.405 \\x_1 &\geq 0, x_2 \geq 0\end{aligned}$$

### Penyelesaian Model

Penyelesaian model program linear dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode simpleks (*simplex method*), yaitu suatu prosedur iteratif yang mampu menentukan solusi optimal dari model program linear dengan jumlah variabel keputusan berapa pun, sehingga tidak terbatas hanya pada dua variabel keputusan sebagaimana pada metode grafik ([Taha, 2017](#); [Hillier & Lieberman, 2021](#)). Metode simpleks bekerja dengan mengubah seluruh fungsi kendala pertidaksamaan ke dalam bentuk baku (*standard form*) berupa persamaan, kemudian melakukan iterasi pada tabel simpleks dari satu solusi basis fisibel menuju solusi basis fisibel lainnya hingga diperoleh nilai fungsi tujuan yang optimal ([Bertsimas & Tsitsiklis, 1997](#); [Susanto et al., 2026](#)).

Kendala pertama yang berbentuk pertidaksamaan  $\leq$  diubah menjadi persamaan dengan menambahkan variabel slack  $s_1$ , sedangkan kendala kedua yang berbentuk pertidaksamaan  $\geq$  diubah menjadi persamaan dengan mengurangi variabel surplus  $s_2$  serta menambahkan variabel artifisial  $a_1$  agar diperoleh solusi basis awal yang fisibel ([Bazaraa et al., 2011](#)). Oleh karena variabel artifisial tidak boleh muncul pada solusi akhir, digunakan pendekatan Big-M dengan memberikan koefisien penalti  $-M$  pada variabel tersebut di dalam fungsi tujuan ([Bertsimas & Tsitsiklis, 1997](#)). Dengan demikian, model program linear dalam bentuk baku dirumuskan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Maksimumkan} \\Z &= 3.694.373,38 x_1 + 20.000.000 x_2 + 0 s_1 + 0 s_2 - M a_1 \\x_1 + x_2 + s_1 &= 22.922,11\end{aligned}$$

$$x_1 - s_2 + a_1 = 14.405$$

$$x_1, x_2, s_1, s_2, a_1 \geq 0$$

Solusi basis awal (Iterasi 0) diperoleh dengan menetapkan variabel *slack*  $s_1$  dan variabel artifisial  $a_1$  sebagai variabel basis murni, sedangkan seluruh variabel keputusan asli dan variabel *surplus* bernilai nol pada awal pengerjaan. Tabel simpleks Iterasi 0 sebelum penyesuaian fungsi tujuan disajikan pada [Tabel 2](#) berikut:

**Tabel 2.** Tabel Murni Awal Sebelum Substitusi Variabel Basis

| Basis | $x_1$        | $x_2$      | $s_1$ | $s_2$ | $a_1$ | RHS       |
|-------|--------------|------------|-------|-------|-------|-----------|
| $-Z$  | 3.694.373,38 | 20.000.000 | 0     | 0     | -M    | 0         |
| $s_1$ | 1            | 1          | 1     | 0     | 0     | 22.922,11 |
| $a_1$ | 1            | 0          | 0     | -1    | 1     | 14.405    |

Setelah dilakukan substitusi untuk menghilangkan nilai  $-M$  pada kolom basis  $a_1$  di baris fungsi tujuan melalui Operasi Baris Dasar (OBE), diperoleh kondisi kesiapan hitung sebagaimana disajikan pada [Tabel 3](#):

**Tabel 3.** Tabel Simpleks Big-M Iterasi 0

| Basis | $x_1$              | $x_2$      | $s_1$ | $s_2$ | $a_1$ | RHS       |
|-------|--------------------|------------|-------|-------|-------|-----------|
| $-Z$  | $3.694.373,38 + M$ | 20.000.000 | 0     | $-M$  | 0     | $14.405M$ |
| $s_1$ | 1                  | 1          | 1     | 0     | 0     | 22.922,11 |
| $a_1$ | 1                  | 0          | 0     | -1    | 1     | 14.405    |

Baris  $-Z$  pada [Tabel 3](#) menunjukkan bahwa kolom  $x_1$  memiliki koefisien positif terbesar ( $3.694.373,38 + M$ ), sehingga variabel  $x_1$  ditetapkan sebagai variabel masuk (*entering variable*). Uji rasio (*ratio test*) dilakukan dengan membagi nilai RHS dengan koefisien kolom  $x_1$  yang bersesuaian, yaitu  $22.922,11 \div 1 = 22.922,11$  untuk baris  $s_1$  dan  $14.405 \div 1 = 14.405$  untuk baris  $a_1$ . Karena rasio pada baris  $a_1$  lebih kecil, maka baris  $a_1$  bertindak sebagai baris pivot. Melalui transformasi OBE menggunakan baris pemandu tersebut, matriks simpleks berkembang menuju tahap berikutnya seperti yang disajikan pada [Tabel 4](#):

**Tabel 4.** Tabel Simpleks Big-M Iterasi 1

| Basis | $x_1$ | $x_2$      | $s_1$ | $s_2$              | $a_1$           | RHS                  |
|-------|-------|------------|-------|--------------------|-----------------|----------------------|
| $-Z$  | 0     | 20.000.000 | 0     | $3.694.373,38 - M$ | $-3.694.373,38$ | $-53.217.448.538,90$ |
| $s_1$ | 0     | 1          | 1     | 1                  | -1              | 22.922,11            |
| $a_1$ | 1     | 0          | 0     | -1                 | 1               | 14.405               |

Pada [Tabel 4](#), baris indikator  $-Z$  masih memuat nilai positif, di mana kolom  $x_2$  memuat nilai positif terbesar yaitu sebesar 20.000.000. Berdasarkan kriteria algoritma simpleks, hal ini menandakan bahwa variabel  $x_2$  terpilih sebagai variabel masuk (*entering variable*) untuk mengoptimalkan nilai fungsi tujuan. Selanjutnya, dilakukan kalkulasi OBE berikutnya untuk mengeliminasi koefisien positif pada kolom  $x_2$ , yang kemudian menghasilkan kondisi akhir ruang tabel sebagaimana dipaparkan pada [Tabel 5](#):

**Tabel 5. Tabel Simpleks Big-M Iterasi 2 (Optimal)**

| Basis | $x_1$ | $x_2$ | $s_1$       | $s_2$          | $a_1$                | RHS                 |
|-------|-------|-------|-------------|----------------|----------------------|---------------------|
| $-Z$  | 0     | 0     | -20.000.000 | -16.305.626,62 | $-M + 16.305.626,62$ | -223.559.648.538,90 |
| $s_1$ | 0     | 1     | 1           | 1              | -1                   | 8.517,11            |
| $a_1$ | 1     | 0     | 0           | -1             | 1                    | 14.405              |

Berdasarkan paparan data pada [Tabel 5](#), kriteria optimalitas algoritma simpleks untuk kasus maksimisasi telah terpenuhi secara paripurna. Mengacu secara eksplisit pada konvensi baris  $C_j - Z_j$ , kondisi optimal ini ditunjukkan oleh seluruh koefisien variabel non-basis pada baris fungsi tujuan yang telah bernilai negatif atau nol ( $C_j - Z_j \leq 0$ ). Di samping itu, koefisien pada kolom variabel artifisial juga bernilai sangat negatif akibat pengenaan penalti tak hingga ( $-M$ ), yang memastikan variabel tersebut tidak lagi layak masuk ke dalam basis.

Sebagai bentuk validasi solusi, pemeriksaan kelayakan primal (*primal feasibility check*) telah dilakukan; seluruh nilai variabel basis pada iterasi akhir terbukti bernilai non-negatif dan memenuhi seluruh persamaan kendala awal secara presisi. Selain itu, nilai fungsi objektif maksimal juga telah dihitung ulang secara manual dengan menyubstitusikan nilai variabel keputusan dari solusi akhir ke dalam persamaan fungsi tujuan awal. Hasil perhitungan ulang tersebut konsisten dengan perolehan nilai pada tabel simpleks. Oleh karena itu, proses iterasi dihentikan karena perolehan nilai fungsi tujuan sudah optimum dan tidak dapat ditingkatkan lagi secara matematis ([Hillier & Lieberman, 2021](#)).

Melalui baris fungsi tujuan pada tabel optimal ([Tabel 5](#)), diperoleh nilai akhir  $-Z = -223.559.648.538,90$ . Melalui pembuktian persamaan fungsi tujuan murni awal:

$$-Z = -3.694.373,38x_1 - 20.000.000,00x_2$$

Dengan melakukan substitusi balik terhadap nilai tingkat keluaran optimal variabel yang tertera pada kolom RHS tabel optimal (yaitu nilai variabel pada baris kedua sebesar 8.517,11 dan baris ketiga sebesar 14.405):

$$-Z = -3.694.373,38(14.405) - 20.000.000,00(8.517,11)$$

$$-Z = -53.217.448.538,90 - 170.342.200,000,00$$

$$-Z = -223.559.648.538,90$$

Perhitungan aljabar di atas menunjukkan hasil yang konsisten dan klop dengan nilai RHS tabel optimal. Guna memperoleh nilai mutlak dari keuntungan maksimum ( $Z$ ), kedua ruas dikalikan dengan  $-1$  sehingga didapatkan nilai keuntungan optimal sebesar  $Z = \text{Rp}223.559.648.538,90$ .

Secara ekonomi pertanian, runutan transformasi matriks dari [Tabel 2](#) hingga [Tabel 5](#) merepresentasikan proses pencarian titik alokasi sumber daya lahan yang paling efisien. Solusi pada tahapan Iterasi 1 ([Tabel 4](#)) menyajikan tingkat pendapatan transisi senilai  $\text{Rp}53.217.448.538,90$ . Tingkat efisiensi ekonomi dan profitabilitas tertinggi baru dicapai secara maksimal pada Iterasi 2 ([Tabel 5](#)). Kombinasi alokasi ruang tersebut membuktikan secara ilmiah bahwa pemanfaatan lahan untuk komoditas padi ( $x_1$ ) dan komoditas cabai merah ( $x_2$ ) berdasarkan proporsi nilai RHS tersebut mampu memaksimalkan keuntungan produsen hingga mencapai titik tertinggi senilai  $\text{Rp}223.559.648.538,90$ .

## Analisis Sensitivitas Target Ketahanan Pangan

Untuk merespons ketidakpastian target konsumsi pangan di masa depan, analisis sensitivitas dilakukan dengan menguji fluktuasi target produksi minimum padi dari skenario dasar (*baseline*). Pengujian dilakukan terhadap skenario pesimis (penurunan target -5% menjadi 76.087,40 ton) dan skenario optimis (kenaikan target +5% menjadi 84.096,60 ton akibat proyeksi pertumbuhan populasi). Ringkasan simulasi sensitivitas disajikan pada [Tabel 6](#).

**Tabel 6. Analisis Sensitivitas Perubahan Target Produksi Minimum**

| Skenario      | Target Produksi Padi (Ton) | Kebutuhan Lahan Padi (x1) (Ha) | Sisa Lahan Cabai (x2) (Ha) | Proyeksi Keuntungan Maksimum (Z) (Rp) |
|---------------|----------------------------|--------------------------------|----------------------------|---------------------------------------|
| Pesimis (-5%) | 76.087,40                  | 13.684,78                      | 9.237,33                   | 235.303.287.214,35                    |
| Baseline (0%) | 80.092,00                  | 14.405,00                      | 8.517,11                   | 223.559.648.538,90                    |
| Optimis (+5%) | 84.096,60                  | 15.125,29                      | 7.796,82                   | 211.814.594.510,75                    |

Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa fungsi tujuan maksimisasi keuntungan sangat sensitif terhadap perubahan target produksi padi. Setiap kenaikan target produksi beras sebesar 5% akan memaksa pergeseran alokasi lahan seluas  $\approx 720,29$  hektare dari cabai merah ke padi. Konversi luasan ini berimplikasi pada penurunan peluang keuntungan wilayah (*opportunity cost*) sebesar kurang lebih Rp11,74 miliar, mengingat margin laba komoditas cabai merah jauh mendominasi dibandingkan komoditas padi.

## Pembahasan

Hasil perhitungan optimasi mengindikasikan bahwa kombinasi alokasi penggunaan lahan yang diproyeksikan dapat memaksimalkan keuntungan finansial usahatani di Kota Padang pada skenario ini adalah seluas 14.405,00 hektare untuk tanaman padi dan 8.517,11 hektare untuk cabai merah. Secara matematis, alokasi spasial ini mengestimasi pencapaian total proyeksi keuntungan hingga menyentuh angka Rp223.559.648.538,90. Walau demikian, proyeksi optimalitas ini sangat bergantung pada asumsi deterministik yang membatasi representasi kondisi pertanian riil di lapangan, seperti asumsi homogenitas kesuburan lahan, divisibilitas area, serta kekakuan variabel harga maupun hasil panen. Pemodelan ini merupakan bentuk penyederhanaan operasional yang belum mengakomodasi variabel pembatas krusial lainnya, seperti fluktuasi ketersediaan air irigasi, kapasitas tenaga kerja, keterbatasan modal, pola rotasi tanam, risiko kegagalan panen, maupun kompetisi ruang dengan komoditas substitusi lainnya.

Alokasi pada skenario ini memperlihatkan bahwa proporsi lahan yang signifikan direkomendasikan untuk dialokasikan pada komoditas padi guna memenuhi batasan skenario target produksi beras daerah yang ditetapkan sebesar 80.092 ton ([Badan Pusat Statistik Kota Padang, 2024](#)). Dengan asumsi tingkat produktivitas rata-rata padi konstan pada 5,56 ton per

hektare, penyediaan lahan seluas 14.405,00 hektare bertindak murni sebagai batas bawah (*lower bound*) dalam kerangka pembatas model matematis ini. Penurunan alokasi lahan padi di bawah ekuilibrium rasio tersebut, apabila tidak diimbangi dengan intervensi teknologi peningkatan produktivitas atau tanpa adanya validasi penyesuaian angka kebutuhan konsumsi oleh pemangku kepentingan terkait, berpotensi menurunkan estimasi kapasitas penyediaan pangan lokal di bawah parameter target yang telah diasumsikan di dalam model.

Di sisi lain, integrasi sisa area seluas 8.517,11 hektare untuk budidaya cabai merah memberikan kontribusi yang sangat dominan dalam eskalasi margin finansial secara agregat. Meskipun luasan spasial cabai merah lebih kecil secara proporsi dibandingkan area padi, komoditas ini mendongkrak akumulasi profitabilitas wilayah karena estimasi margin keuntungannya secara riil terpaut jauh lebih tinggi ([Herianto et al., 2023](#)). Fenomena disparitas keuntungan ini mencerminkan karakteristik cabai merah sebagai produk hortikultura komersial unggulan yang memainkan peranan esensial dalam upaya rasionalisasi ekonomi guna mengakselerasi peningkatan kesejahteraan serta pendapatan rumah tangga petani.

Temuan operasional dari pemodelan ini mengonfirmasi secara kuantitatif keberadaan *trade-off* yang signifikan antara profitabilitas komersial dan pemenuhan kuota ketahanan pangan lokal. Berbeda dengan studi [Pratama & Sari, \(2024\)](#) yang hanya berfokus pada kuantitas produksi padi tanpa memodelkan persaingan alokasi ruang hortikultura, atau ([Cahyani et al., 2025](#)) yang memaksimalkan profit multikomoditas tanpa mengintegrasikan kendala batas minimum produksi pangan daerah, model ini mengukur secara eksplisit biaya peluang (*opportunity cost* atau *shadow price* spasial) yang harus dikorbankan saat mempertahankan luasan lahan padi. Sebagaimana telah dibuktikan melalui analisis sensitivitas sebelumnya, model ini memiliki sensitivitas yang tinggi; setiap fluktuasi pada target penyediaan beras akan memicu pergeseran alokasi lahan dan menggerus proyeksi keuntungan. Kondisi ini mendemonstrasikan batasan *robustness* model terhadap dinamika kebijakan. Secara keseluruhan, pemodelan ini menyajikan kerangka analisis pendahuluan yang koheren dalam menjembatani dualisme kepentingan antara rasionalisasi ekonomi usahatani dan imperatif stabilitas pangan nasional.

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil membangun fungsi tujuan dan fungsi kendala dalam model program linear untuk menentukan alokasi luas lahan usahatani padi dan cabai merah yang mampu memberikan keuntungan maksimum dengan tetap mempertimbangkan batas kritis keterbatasan lahan serta target produksi minimum padi di Kota Padang. Berdasarkan hasil perhitungan optimasi menggunakan metode simpleks, kombinasi penggunaan lahan yang paling terbaik adalah dengan mengalokasikan area seluas 14.405 hektare untuk tanaman padi dan memanfaatkan sisa lahan seluas 8.517,11 hektare untuk tanaman cabai merah. Alokasi spasial yang presisi tersebut sukses menghasilkan perolehan keuntungan ekonomi maksimum mencapai Rp223.559.648.538,90.

Temuan penelitian ini secara empiris menegaskan bahwa model program linear efektif digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan alokasi lahan yang optimal, tanpa mengesampingkan keberlangsungan padi sebagai bahan pangan pokok utama. Oleh karena itu,

formulasi model ini dapat dipertimbangkan sebagai salah satu alternatif instrumen pendukung pengambilan keputusan (*decision-support tool*) yang valid bagi para petani maupun instansi pemerintah daerah dalam merencanakan pemanfaatan ruang pertanian secara berkelanjutan. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mengembangkan model linear ini secara lebih luas dengan menambahkan variasi variabel kendala operasional lainnya, seperti keterbatasan jumlah tenaga kerja, rincian biaya produksi musiman, kebutuhan debit air irigasi, maupun dinamika fluktuasi harga komoditas di pasar agar diperoleh hasil simulasi yang jauh lebih mendekati kondisi nyata di lapangan.

## REFERENSI

- Badan Pusat Statistik. (2024). *Statistik Hortikultura 2024*. Badan Pusat Statistik.
- Badan Pusat Statistik Kota Padang. (2024). *Kota Padang Dalam Angka 2024*. BPS Kota Padang.
- Bazaraa, M. S., Jarvis, J. J., & Sherali, H. D. (2011). *Linear Programming and Network Flows* (4th ed.). Hoboken: John Wiley & Sons.
- Bertsimas, D., & Tsitsiklis, J. N. (1997). *Introduction to Linear Optimization*. Belmont: Athena Scientific.
- Cahyani, A. I., Meida, I. N., Hasanah, I., Alfian, M. R., & Maharani, A. E. S. H. (2025). Optimasi Keuntungan Pertanian Melalui Program Linear : Studi Kasus pada Pertanian Padi dan Jagung. *Semeton Mathematics Journal*, 2(2). <https://doi.org/10.29303/semeton.v2i2.318>
- Dardanella, D., Hidayati, N., & Irawan, S. (2026). Optimalisasi Persediaan Komoditas Cabai untuk Memaksimalkan Keuntungan Menggunakan Linear Programming dan Analisis Sensitivitas di Pasar X. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)*, 5(2), 1271–1279. <https://doi.org/10.55826/jtmit.v5i2.1759>
- Herianto, T. J., Feren, Nurhalimah, A., Br. Sembiring, M. M., & Sembiring, J. P. (2023). Implementation of Fuzzy Linear Programming (FLP) on Optimizing the Production of Vegetable Rice and Lontong in Warung Makan Ibu Eni. *Journal of Research in Mathematics Trends and Technology*, 5(2), 12–18. <https://doi.org/10.32734/jormtt.v5i2.16833>
- Hidayah, A. C., & Yulianti, N. (2024). Perencanaan dan Jadwal Induk Produksi Keripik Cabe Menggunakan Metode Linear Programming dan Hax and Meal. *JOURNAL OF INDUSTRIAL AND MANUFACTURE ENGINEERING*, 8(1), 27–38. <https://ojs.uma.ac.id/index.php/jime/article/view/10292/5620>
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2021). *Introduction to Operations Research* (11th ed.). New York: McGraw-Hill.
- Isnurriansyah, I., Tinaprilla, N., & Utami, A. D. (2025). Determinant Factors Of Climate-Smart Rice Cultivation Production In Pasuruan: Translog Production Function Approach. *Journal of Indonesian Agribusiness*, 13(1), 223–240. <https://doi.org/10.29244/jai.2025.13.1.223-240>
- Jamaludin, M. (2021). Optimization of Rice Distribution Using a Linear Programming Model at Perum Bulog, West Java Regional Division, Indonesia. *Webology*, 18(2), 183–198. <https://doi.org/10.14704/WEB/V18I2/WEB18315>

DOI: <https://doi.org/10.63976/jimat.v7i3.1509>

- Leovita, A., & Martadona, I. (2021). Analisis Pendapatan Usahatani Padi di Kecamatan Kuranji Kota Padang Sumatera Barat. *Mimbar Agribisnis*, 7(2), 1609–1617. <https://doi.org/10.25157/ma.v7i2.5536>
- Nurprihatin, F., Regina, T., & Rembulan, G. (2021). Optimizing rice distribution routes in Indonesia using a two-step linear programming considering logistics costs. *Journal of Physics: Conference Series*, 1811, 12010. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1811/1/012010>
- Pratama, A. R., & Sari, D. N. (2024). Penerapan Metode Dynamic Programming dan Fuzzy Linear Programming dalam Mengoptimasi Keuntungan serta Jumlah Produksi Padi. *Journal of Mathematics, Computations and Statistics*, 7(2).
- Pratama, M. F. A., & Jumali, M. A. (2026). Optimasi Lahan Padi dan Jagung di Jawa Timur dengan Linear Programming. *Metode: Jurnal Teknik Industri*, 12(1), 62–72. <https://doi.org/10.33506/mt.v12i1.5104>
- Republik Indonesia. (2012). *Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2012 tentang Pangan*. Sekretariat Negara Republik Indonesia.
- Susanto, A., Ramadhani, A. R., Angriani, D., & Mutia. (2026). Optimasi Biaya dan Gizi Bahan Pangan Mentah Program MBG Siswa SMP Padang Menggunakan Simpleks-Python. *FARABI: Jurnal Matematika Dan Pendidikan Matematika*, 9(1), 77–85. <https://doi.org/10.47662/farabi.v9i1.1452>
- Susanto, A., & Rudianto, B. (2020). Kestabilan Titik Keseimbangan Model Dua Pemangsa Satu Mangsa dengan Kriteria Routh-Hurwitz. *MAp (Mathematics and Applications) Journal*, 2(1), 75–87. <https://doi.org/10.15548/map.v2i1.1642>
- Taha, H. A. (2017). *Operations Research: An Introduction* (10th ed.). Pearson.