E-Jurnal Matematika Vol. 15(4), November 2026, pp. 277-285 ISSN: 2303-1751
DOI: https://doi.org/10.24843/MTK.2026.v15.i04.p531

# PENERAPAN *BRANCH AND BOUND* ALGORITHM UNTUK OPTIMISASI KEUNTUNGAN PRODUKSI BUKET BUNGA PADA TOKO BUNGA BLOOM

Cokorda Istri Sintya Dwi Mirah Cahyani[1§], Ni Nyoman Yenliana Putri[2], Ni Ketut Tari Tastrawati[3]

[1]Program Studi Matematika, Universitas Udayana [Email: cahyani.2208541047@student.unud.ac.id]
[2]Program Studi Matematika, Universitas Udayana [Email: yenliputri17@gmail.com]
[3]Program Studi Matematika, Universitas Udayana [Email: tastrawati@unud.ac.id]
[§]*Corresponding Author*

***ABSTRACT***

*This study examines Toko Bunga Bloom, a micro, small, and medium enterprise in the creative industry that seeks to maximize profit from flower bouquet production. The purpose of this research is to determine the optimal production combination of small, medium, and large bouquets using the Integer Linear Programming (ILP) approach solved by the Branch and Bound method. The optimization model considers several operational constraints, including raw material availability and production time. The results show that the proposed model can support production planning and decision-making. The optimal solution is achieved by producing 1 small bouquet and 66 medium bouquets, while large bouquets are not produced, resulting in a maximum profit of Rp6,625,000.00. Sensitivity analysis shows that the availability of light pink roses is the only resource that limits production, and a comparison with alternative production strategies shows that the optimal solution yields a higher profit. These findings indicate that the Branch and Bound method is effective in determining optimal production strategies under limited resources and can be applied as a decision-support tool for creative industry MSMEs.*

***Keywords***: *Integer Linear Programming, Branch and Bound, Production Optimization, Profit Maximization, Flower Bouquet Production*

## 1. PENDAHULUAN

Industri kreatif melalui usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM) memiliki kontribusi besar dalam menciptakan nilai estetika sekaligus mendorong pertumbuhan ekonomi pada tingkat lokal dan nasional (Rahmawati & Sucitra, 2023). Buket bunga merupakan salah satu produk pada sektor ini yang banyak digunakan untuk keperluan seremonial dan dekoratif. Seiring meningkatnya apresiasi masyarakat terhadap produk kreatif, usaha toko bunga terus berkembang karena kontribusinya dalam menyediakan produk bernilai tambah serta mendukung ekosistem ekonomi kreatif (Khumair & Yazid, 2025). Selain itu, variasi harga buket bunga yang disesuaikan dengan ukuran produk menjadikannya dapat dijangkau oleh berbagai kalangan sehingga permintaannya cenderung stabil dan perputaran pasarnya relatif cepat.

Sebagai salah satu pelaku usaha di bidang ini, Toko Bunga Bloom berupaya memenuhi permintaan pasar melalui penyediaan buket bunga dalam berbagai ukuran, yaitu ukuran kecil, ukuran sedang, dan ukuran besar. Namun demikian, pengelolaan produksi yang dilakukan tidak selalu berjalan secara efisien. Beberapa kendala operasional yang dihadapi dalam proses produksi meliputi keterbatasan waktu produksi untuk setiap ukuran buket serta ketersediaan bahan baku dekoratif. Keterbatasan tersebut dapat menyebabkan alokasi sumber daya kurang efisien sehingga keuntungan yang diperoleh belum tentu mencapai tingkat maksimum. Selama ini, penentuan jumlah produksi harian masih dilakukan secara intuitif tanpa perhitungan yang sistematis. Kondisi tersebut berpotensi menyebabkan alokasi sumber daya yang kurang efisien, pemborosan waktu, serta keuntungan yang belum mencapai tingkat maksimal. Penggunaan sumber daya yang tidak optimal dapat menurunkan efisiensi produksi dan memengaruhi pencapaian keuntungan

perusahaan (Heizer et al., 2020).

Kondisi ini menjadi semakin penting untuk diatasi karena persaingan pasar di industri kreatif semakin kompetitif dan pelaku usaha dituntut untuk lebih cermat dalam mengelola sumber daya agar dapat mempertahankan margin keuntungan (Kusumawardhani et al., 2025). Dengan demikian, peningkatan efisiensi produksi menjadi faktor utama bagi perusahaan untuk mempertahankan dan memperluas pangsa pasar. Untuk mengidentifikasi kombinasi produksi yang tepat dan memaksimalkan keuntungan, diperlukan analisis matematis yang mampu mempertimbangkan berbagai kendala operasional secara akurat.

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Integer Linear Programming* (ILP) melalui metode *Branch and Bound*. ILP digunakan untuk memodelkan fungsi tujuan dan kendala secara linear dengan variabel keputusan yang berbentuk bilangan bulat (Hillier & Lieberman, 2021). Penggunaan variabel bilangan bulat menjadi penting karena jumlah buket bunga tidak mungkin dinyatakan dalam pecahan. Sementara itu, metode *Branch and Bound* digunakan untuk membagi permasalahan optimasi menjadi beberapa submasalah yang lebih kecil melalui proses pencabangan dan pembatasan guna memperoleh solusi bilangan bulat yang layak dan optimal dengan tetap memenuhi seluruh kendala yang ditetapkan, seperti keterbatasan bahan baku dan waktu produksi (Taha, 2017).

Penelitian mengenai optimasi produksi menggunakan metode *Branch and Bound* telah dilakukan pada berbagai bidang usaha. Ayunda et al. (2021) menunjukkan bahwa penerapan *Integer Linear Programming* dengan metode *Branch and Bound* dapat membantu menentukan kombinasi produksi yang memberikan keuntungan maksimum pada usaha buket bunga. Sementara itu, Basriati (2018) menerapkan pendekatan *Integer Linear Programming* dengan metode *Cutting Plane* dan *Branch and Bound* untuk mengoptimalkan produksi tahu. Kedua penelitian tersebut menunjukkan penerapan metode optimasi dalam membantu pengambilan keputusan produksi dengan mempertimbangkan keterbatasan sumber daya dan ketentuan variabel keputusan berupa bilangan bulat.

Secara lebih khusus, penelitian Ayunda et al. (2021) pada Toko Bunga QuinnaStory memodelkan dua jenis produk, yaitu buket ukuran kecil dan besar, dengan mempertimbangkan keterbatasan sumber daya, tenaga kerja, serta fasilitas pemotongan bunga. Hasil penelitian tersebut memperoleh kombinasi produksi optimal sebanyak 36 buket kecil dan 31 buket besar dengan keuntungan maksimum sebesar Rp2.764.000,00. Berangkat dari penelitian tersebut, penelitian ini mengembangkan model optimasi pada kasus produksi yang mencakup tiga variasi ukuran buket, yaitu kecil, sedang, dan besar. Model yang disusun mempertimbangkan sepuluh jenis bahan baku dan komponen kemasan dengan kebutuhan yang berbeda pada setiap ukuran buket, serta keterbatasan total waktu produksi harian yang mencakup tahap memotong, wrapping, dan finishing. Selain menentukan kombinasi produksi yang memberikan keuntungan maksimum, penelitian ini juga dilengkapi dengan analisis sensitivitas untuk mengetahui pengaruh perubahan ketersediaan sumber daya terhadap kombinasi produksi dan keuntungan yang diperoleh. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berfokus pada penentuan jumlah produksi optimal, tetapi juga mengevaluasi dampak perubahan kapasitas sumber daya terhadap hasil optimasi.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menyusun model optimisasi keuntungan produksi pada Toko Bunga Bloom menggunakan pendekatan *Integer Linear Programming* yang diselesaikan dengan metode *Branch and Bound*. Model tersebut digunakan untuk menentukan kombinasi jumlah produksi buket ukuran kecil, sedang, dan besar dengan mempertimbangkan keterbatasan bahan baku dan waktu produksi. Selanjutnya, analisis sensitivitas dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh perubahan ketersediaan sumber daya terhadap hasil optimasi. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai alokasi sumber daya yang optimal serta menjadi bahan pertimbangan dalam perencanaan produksi buket bunga.

## 2. METODE PENELITIAN

Data dikumpulkan melalui pengamatan langsung di Toko Bunga Bloom. Informasi yang diperoleh dari observasi ini merupakan data primer, yang kemudian dilengkapi dengan hasil pencatatan wawancara. Seluruh data tersebut disajikan dalam Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 1. Data Keuntungan Buket Bunga Per Ukuran

| Jenis Produk | Jumlah Produksi | Keuntungan (Rp) |
|---|---|---|
| Kecil | 1 | Rp25.000 |
| Sedang | 1 | Rp100.000 |
| Besar | 1 | Rp170.000 |

Tabel. 1, Data Kebutuhan dan Ketersediaan Bahan Baku

| Bahan Baku | Buket Bunga | | | Ketersedia-an |
|---|---|---|---|---|
| | Kecil | Sedang | Besar | |
| Mawar Merah Muda | 5 | 12 | 25 | 800 |
| Mawar Merah | 3 | 6 | 12 | 600 |
| Mawar Peach | 2 | 5 | 10 | 500 |
| Krisan Putih | 4 | 8 | 15 | 700 |
| Baby's Breath | 1 | 2 | 3 | 300 |
| Lily Putih | 0 | 1 | 2 | 150 |
| Daun Hijau (Filler) | 2 | 4 | 8 | 300 |
| Kertas Wrapping | 1 | 2 | 3 | 200 |
| Tulle Transparan | 1 | 2 | 3 | 200 |
| Pita Dekorasi | 1 | 1 | 1 | 100 |

Sumber: Hasil wawancara dengan pemilik Toko Bunga Bloom, 2025

Tabel 3. Data Waktu Proses Produksi dan Ketersediaan

| Proses Produksi | Buket Bunga | | | Ketersediaan |
|---|---|---|---|---|
| | Kecil | Sedang | Besar | |
| Memotong | 1 Tangkai/ Detik | 1 Tangkai/ Detik | 1 Tangkai/ Detik | – |
| Wrapping | 30 Detik | 40 Detik | 50 Detik | – |
| Finishing | 40 Detik | 50 Detik | 55 Detik | – |
| Total | 87 Detik | 128 Detik | 180 Detik | 10.800 detik |

Sumber: Hasil wawancara dengan pemilik Toko Bunga Bloom, 2025

Toko Bunga Bloom merupakan salah satu pelaku usaha yang memproduksi buket bunga dengan tiga variasi ukuran, yaitu ukuran kecil, ukuran sedang, dan ukuran besar. Setiap jenis buket memiliki kebutuhan bahan baku dan waktu produksi yang berbeda-beda. Berdasarkan data studi kasus, diketahui bahwa buket bunga ukuran kecil membutuhkan 5 tangkai mawar merah muda, 3 tangkai mawar merah, 2 tangkai mawar peach, 4 tangkai krisan putih, 1 tangkai baby's breath, 2 tangkai daun hijau (filler), serta dilengkapi dengan 1 lembar kertas pembungkus, 1 lembar tulle transparan, dan 1 pita dekorasi. Waktu memotong dihitung dari jumlah tangkai pada setiap buket dengan kecepatan 1 tangkai per detik (buket kecil 17 tangkai, sedang 38 tangkai, dan besar 75 tangkai). Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu unit buket kecil adalah 87 detik (memotong 17 detik, wrapping 30 detik, dan finishing 40 detik) atau setara dengan 0,0242 jam.

Sementara itu, untuk ukuran sedang, dibutuhkan lebih banyak bahan, yaitu 12 tangkai mawar merah muda, 6 tangkai mawar merah, 5 tangkai mawar peach, 8 tangkai krisan putih, 2 tangkai baby's breath, 1 tangkai lily putih, 4 tangkai daun hijau, 2 lembar kertas pembungkus, 2 lembar tulle transparan, dan 1 pita dekorasi. Waktu produksi per unit buket sedang adalah 128 detik (memotong 38 detik, wrapping 40 detik, dan finishing 50 detik) atau sekitar 0,0356 jam. Adapun buket ukuran besar merupakan jenis produk dengan kebutuhan bahan baku paling tinggi, yakni 25 tangkai mawar merah muda, 12 tangkai mawar merah, 10 tangkai mawar peach, 15 tangkai krisan putih, 3 tangkai baby's breath, 2 tangkai lily putih, 8 tangkai daun hijau, 3 lembar kertas pembungkus, 3 lembar tulle transparan, dan 1 pita dekorasi. Proses pembuatan satu buket besar memakan waktu 180 detik (memotong 75 detik, wrapping 50 detik, dan finishing 55 detik) atau setara dengan 0,0500 jam.

Ketersediaan total bahan baku yang dimiliki oleh Toko Bunga Bloom mencakup 800 tangkai mawar merah muda, 600 tangkai mawar merah, 500 tangkai mawar peach, 700 tangkai krisan putih, 300 tangkai baby's breath, 150 tangkai lily putih, 300 tangkai daun hijau, 200 lembar kertas pembungkus, 200 lembar tulle transparan, dan 100 pita dekorasi. Total alokasi waktu produksi yang tersedia dalam sehari adalah sebesar 10.800 detik atau setara dengan 3 jam. Waktu tersebut diperlakukan sebagai satu kendala gabungan, dengan asumsi proses memotong, wrapping, dan finishing dikerjakan secara berurutan oleh satu pekerja sehingga waktu produksi per buket merupakan penjumlahan waktu ketiga tahap tersebut.

Keuntungan yang dihasilkan dari setiap unit produksi masing-masing adalah sebesar Rp25.000 untuk buket ukuran kecil, Rp100.000 untuk ukuran sedang, dan Rp170.000 untuk

ukuran besar. Seluruh data yang diperoleh akan digunakan sebagai dasar dalam membangun model matematis dengan pendekatan *Integer Linear Programming* (ILP) dan diselesaikan menggunakan metode *Branch and Bound* untuk memperoleh solusi bilangan bulat yang optimal. Tujuan dari pengolahan data ini adalah untuk menentukan jumlah produksi yang paling menguntungkan, dengan tetap mempertimbang kan keterbatasan bahan baku dan waktu produksi yang tersedia

**Metode *Integer Linear Programming***

Metode *Integer Linear Programming* digunakan dalam penelitian ini untuk memperoleh kombinasi produksi yang memberikan keuntungan maksimum dengan tetap memenuhi seluruh kendala yang ditetapkan. Secara matematis, model optimasi ini dirumuskan untuk memaksimalkan fungsi tujuan dengan sekumpulan batasan linear sebagai berikut:

Maksimumkan :

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + \cdots + c_nx_n \quad (1)$$

dengan fungsi kendala:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \cdots + a_{1n}x_n \leq b_1 \quad (2)$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \cdots + a_{2n}x_n \leq b_2 \quad (3)$$

$$a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + a_{i3}x_3 + \cdots + a_{in}x_n \leq b_i \quad (4)$$

dengan $x_j \geq 0; x_j \in \mathbb{Z}$. Di mana $Z$ merupakan nilai total keuntungan, $c_j$ adalah keuntungan per unit produk ke-$j$, $x_j$ mewakili jumlah produksi ke-$j$ sebagai variabel keputusan, $a_{ij}$ adalah koefisien teknis penggunaan sumber daya ke-$i$ untuk produk ke-$j$, dan $b_i$ adalah total kapasitas atau ketersediaan sumber daya ke-$i$ (Hillier & Lieberman, 2021).

Penyelesaian model dimulai dengan metode *simpleks* untuk memperoleh solusi awal yang layak secara matematis, karena metode ini bersifat iteratif dan bergerak dari satu titik pojok ke titik pojok lain pada daerah *feasible* hingga mencapai solusi optimal (Taha, 2017; Hillier & Lieberman, 2021). Pada setiap iterasi dilakukan pembaruan tabel perhitungan sampai tidak diperoleh lagi peningkatan nilai fungsi tujuan. Dengan demikian, solusi dinyatakan optimal apabila tidak ada lagi perbaikan yang dapat meningkatkan nilai keuntungan secara lebih lanjut (Taha, 2017).

Oleh karena model yang digunakan dalam penelitian ini merupakan *integer programming*, maka solusi akhir harus dinyatakan dalam bilangan bulat agar sesuai dengan kondisi nyata pada proses produksi. Untuk itu, digunakan metode *Branch and Bound* sebagai prosedur penyelesaian *integer programming* yang dibahas dalam literatur optimasi sebagai pendekatan untuk memperoleh solusi bilangan bulat yang layak dan optimal (Hillier & Lieberman, 2021; Taha, 2017). Metode ini membagi permasalahan utama menjadi submasalah yang lebih kecil sehingga pencarian solusi dapat dilakukan secara sistematis sampai diperoleh hasil terbaik.

**Metode *Branch and Bound***

Berikut merupakan tahapan dalam penyelesaian masalah menggunakan metode *Branch and Bound*:

1. Menyelesaikan terlebih dahulu permasalahan *linear programming* dengan metode *simpleks* biasa.
2. Menganalisis hasil solusi awal untuk menilai apakah nilai variabel basis yang diperoleh sesuai dengan ketentuan solusi bilangan bulat. Jika tidak, maka solusi optimal belum tercapai.
3. Jika solusi belum bulat, maka solusi tersebut dicabangkan ke dalam beberapa sub-masalah. Tujuan dari pencabangan ini adalah untuk menghilangkan solusi kontinu yang tidak memenuhi syarat solusi bulat.
4. Setiap sub-masalah yang dihasilkan dari proses pencabangan akan dianalisis dan diberikan batasan tambahan guna memastikan solusi berada dalam ruang bilangan bulat. Jika suatu sub-masalah memberikan hasil terbaik namun belum bulat, maka sub-masalah tersebut akan dicabangkan kembali. Proses ini terus berlangsung hingga ditemukan solusi terbaik dalam bentuk bilangan bulat.
5. Variabel yang dicabangkan adalah variabel keputusan yang bernilai pecahan; apabila terdapat lebih dari satu variabel pecahan, dipilih variabel dengan bagian pecahan terbesar. Pencabangan dilakukan dengan menambahkan batasan “kurang dari atau sama dengan” pembulatan ke bawah nilai variabel tersebut pada satu sub-masalah dan batasan “lebih dari atau sama dengan” pembulatan ke atas nilai variabel tersebut pada sub-masalah lainnya.
6. Sub-masalah dipangkas (tidak dicabangkan lagi) apabila memenuhi salah satu kriteria berikut: (a) tidak layak (*infeasible*); (b)

menghasilkan solusi yang seluruh variabelnya bernilai bulat, sehingga menjadi *incumbent* apabila nilai fungsi tujuannya lebih baik daripada *incumbent* sebelumnya; atau (c) nilai fungsi tujuannya, yang pada kasus maksimisasi merupakan batas atas, tidak lebih besar daripada nilai *incumbent*, yaitu solusi bulat terbaik yang telah diperoleh.

7. Proses berhenti apabila seluruh sub-masalah telah dipangkas. Solusi bulat terbaik (*incumbent*) pada saat itu merupakan solusi optimal.

Penggunaan model penyelesaian ini disesuaikan dengan berbagai bentuk permasalahan yang memerlukan metode *integer linear programming*. Metode *Branch and Bound* sangat sesuai untuk diterapkan pada permasalahan yang membutuhkan hasil dalam bilangan bulat. Oleh karena itu, metode ini dianggap relevan dan efektif dalam menyelesaikan studi kasus pada penelitian ini, karena sesuai dengan karakteristik dan kebutuhan proses penyelesaian yang dihadapi.

**Metode Analisis Sensitivitas**

Analisis sensitivitas dilakukan untuk mengetahui kestabilan solusi optimal terhadap perubahan parameter model (Hillier & Lieberman, 2021; Taha, 2017). Pengujian dilakukan dengan mengubah satu parameter dalam satu waktu, sedangkan parameter lainnya dipertahankan pada nilai dasar. Parameter yang diuji meliputi kapasitas waktu produksi, ketersediaan mawar merah muda sebagai salah satu bahan baku yang paling membatasi, serta keuntungan per unit buket ukuran sedang dan besar. Perubahan kapasitas sumber daya dilakukan dengan mengubah nilai ruas kanan kendala, sedangkan perubahan keuntungan per unit dilakukan dengan mengubah koefisien fungsi tujuan. Pendekatan ini sejalan dengan pembahasan analisis sensitivitas pada permasalahan integer programming oleh Schrage dan Wolsey (1985) serta Tayi (1985). Setiap skenario perubahan kemudian diselesaikan kembali menggunakan metode *Branch and Bound* sehingga solusi yang diperoleh tetap memenuhi ketentuan variabel keputusan berupa bilangan bulat.

Selain analisis sensitivitas, dilakukan perbandingan solusi optimal dengan tiga strategi produksi alternatif sebagai tolak ukur pencapaian keuntungan. Strategi tersebut meliputi (1) memproduksi ketiga ukuran buket dalam jumlah yang sama sebanyak mungkin dengan tetap memenuhi seluruh kendala, (2) memprioritaskan produksi buket ukuran besar berdasarkan keuntungan per unit tertinggi, dan (3) menentukan jumlah produksi dengan membulatkan ke bawah setiap nilai variabel keputusan dari solusi relaksasi program linear. Setiap strategi dievaluasi berdasarkan kelayakan pemenuhan kendala, jumlah produksi setiap ukuran buket, dan keuntungan yang diperoleh. Hasil perbandingan tersebut digunakan untuk mengevaluasi keunggulan solusi optimal yang dihasilkan metode *Branch and Bound* dibandingkan dengan alternatif keputusan produksi lainnya.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Langkah awal dalam membangun model matematis adalah menentukan variabel yang digunakan dalam penelitian. Model matematis disusun berdasarkan variabel keputusan, fungsi tujuan, dan fungsi kendala yang berkaitan dengan proses produksi buket bunga serta ketersediaan bahan baku pada setiap ukuran buket.

### 3.1 Variabel Keputusan

Bahan baku yang digunakan dalam memproduksi masing masing ukuran buket dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan penggunaan bahan baku tersebut, variabel keputusan yang ditetapkan dalam penelitian ini merepresentasikan jumlah produksi buket bunga untuk setiap ukuran. Variabel keputusan yang digunakan dapat dinyatakan sebagai berikut.

$x_i =$ buket bunga ukuran i yang diproduksi setiap harinya ($i = 1,2,3$).

Dimana:

$x_1$ adalah buket bunga ukuran kecil yang diproduksi setiap hari.

$x_2$ adalah buket bunga ukuran sedang yang diproduksi setiap hari.

$x_3$ adalah buket bunga ukuran besar yang diproduksi setiap hari.

### 3.2 Fungsi Tujuan

Produksi buket bunga dilakukan untuk memperoleh keuntungan yang optimal dari setiap ukuran buket yang diproduksi. Besarnya keuntungan diperoleh dari selisih harga jual produk dengan biaya yang dikeluarkan pada masing-masing ukuran buket bunga. Berdasarkan data keuntungan pada tabel 1, diperoleh fungsi tujuan untuk kasus produksi buket bunga seperti pada Persamaan (1).

$$Z_{max} = 25000x_1 + 100000x_2 + 170000x_3$$

dengan $Z_{max}$ menyatakan total kekuntungan maksimum yang diperoleh dari produksi buket bunga per hari.

### 3.3 Fungsi Kendala

Fungsi kendala atau batasan pada penelitian ini disusun berdasarkan keterbatasan bahan baku yang digunakan dalam proses produksi masing-masing ukuran buket bunga. Data penggunaan dan ketersediaan bahan dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan data tersebut, diperoleh fungsi kendala sebagai berikut:

$$5x_1 + 12x_2 + 25x_3 \leq 800$$
$$3x_1 + 6x_2 + 12x_3 \leq 600$$
$$2x_1 + 5x_2 + 10x_3 \leq 500$$
$$4x_1 + 8x_2 + 15x_3 \leq 700$$
$$1x_1 + 2x_2 + 3x_3 \leq 300$$
$$0x_1 + 1x_2 + 2x_3 \leq 150$$
$$2x_1 + 4x_2 + 8x_3 \leq 300$$
$$1x_1 + 2x_2 + 3x_3 \leq 200$$
$$1x_1 + 2x_2 + 3x_3 \leq 200$$
$$1x_1 + 1x_2 + 1x_3 \leq 100$$
$$87x_1 + 128x_2 + 180x_3 \leq 10800$$

dengan,

$x_1, x_2, x_3 \geq 0$ dan $x_1, x_2, x_3 \in \mathbb{Z}$.

Kemudian, model program linear yang telah dibentuk diubah ke dalam bentuk baku untuk diselesaikan menggunakan metode simpleks. Bentuk yang telah baku disajikan pada tabel awal simpleks sebagai berikut:

| | $C_j$ | 25000 | 100000 | 170000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Cb_i$ | Variabel | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $S_1$ | $S_2$ | $S_3$ | $S_4$ | $S_5$ | $S_6$ | $S_7$ | $S_8$ | $S_9$ | $S_{10}$ | $S_{11}$ | Pemecah |
| 0 | $S_1$ | 5 | 12 | 25 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 800 |
| 0 | $S_2$ | 3 | 6 | 12 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 600 |
| 0 | $S_3$ | 2 | 5 | 10 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 500 |
| 0 | $S_4$ | 4 | 8 | 15 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 700 |
| 0 | $S_5$ | 1 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 300 |
| 0 | $S_6$ | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 150 |
| 0 | $S_7$ | 2 | 4 | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 300 |
| 0 | $S_8$ | 1 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 200 |
| 0 | $S_9$ | 1 | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 200 |
| 0 | $S_{10}$ | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 100 |
| 0 | $S_{11}$ | 87 | 128 | 180 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 11800 |
| | Z | -25000 | -100000 | -170000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

Gambar 1. Tabel Awal Simpleks

| | $C_j$ | 25000 | 100000 | 170000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Cb_i$ | Variabel | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $S_1$ | $S_2$ | $S_3$ | $S_4$ | $S_5$ | $S_6$ | $S_7$ | $S_8$ | $S_9$ | $S_{10}$ | $S_{11}$ | Pemecah | Rasio |
| 170000 | $x_3$ | 0,2 | 0,48 | 1 | 0,04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32 | 66,66667 |
| 0 | $S_2$ | 0,6 | 0,24 | 0 | -0,48 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 216 | 900 |
| 0 | $S_3$ | 0 | 0,2 | 0 | -0,4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 180 | 900 |
| 0 | $S_4$ | 1 | 0,8 | 0 | -0,6 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 220 | 275 |
| 0 | $S_5$ | 0,4 | 0,56 | 0 | -0,12 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 204 | 364,2857 |
| 0 | $S_6$ | -0,4 | 0,04 | 0 | -0,08 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 86 | 2150 |
| 0 | $S_7$ | 0,4 | 0,16 | 0 | -0,32 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 44 | 275 |
| 0 | $S_8$ | 0,4 | 0,56 | 0 | -0,12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 104 | 185,7143 |
| 0 | $S_9$ | 0,4 | 0,56 | 0 | -0,12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 104 | 185,7143 |
| 0 | $S_{10}$ | 0,8 | 0,52 | 0 | -0,04 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 68 | 130,7692 |
| 0 | $S_{11}$ | 51 | 41,6 | 0 | -7,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5040 | 121,1538 |
| 5440000 | $z_j$ | 34000 | 81600 | 170000 | 6800 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | $Z = z_j - c_j$ | 9000 | -18400 | 0 | 6800 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |

Gambar 2. Tabel Iterasi Pertama Simpleks

| | $C_j$ | 25000 | 100000 | 170000 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $Cb_i$ | Variabel | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $S_1$ | $S_2$ | $S_3$ | $S_4$ | $S_5$ | $S_6$ | $S_7$ | $S_8$ | $S_9$ | $S_{10}$ | $S_{11}$ | Pemecah |
| 100000 | $x_2$ | 0,416667 | 1 | 2,083333 | 0,083333 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 66,66667 |
| 0 | $S_2$ | 0,5 | 0 | -0,5 | -0,5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 200 |
| 0 | $S_3$ | -0,083333 | 0 | -0,416667 | -0,416667 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 166,6667 |
| 0 | $S_4$ | 0,083333 | 0 | -1,666667 | -0,666667 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 166,6667 |
| 0 | $S_5$ | 0,166667 | 0 | -1,166667 | -0,166667 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 166,6667 |
| 0 | $S_6$ | -0,416667 | 0 | -0,083333 | -0,083333 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 83,33333 |
| 0 | $S_7$ | 0,333333 | 0 | -0,333333 | -0,333333 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 33,33333 |
| 0 | $S_8$ | 0,166667 | 0 | -1,166667 | -0,166667 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 66,66667 |
| 0 | $S_9$ | 0,166667 | 0 | -1,166667 | -0,166667 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 66,66667 |
| 0 | $S_{10}$ | 0,583333 | 0 | -1,083333 | -0,083333 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 33,33333 |
| 0 | $S_{11}$ | 33,66667 | 0 | -86,66667 | -10,66667 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2206,667 |
| 6666667 | $z_j$ | 41666,67 | 100000 | 206333,3 | 8333,333 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| | $Z = z_j - c_j$ | 16666,67 | 0 | 36333,33 | 8333,333 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |

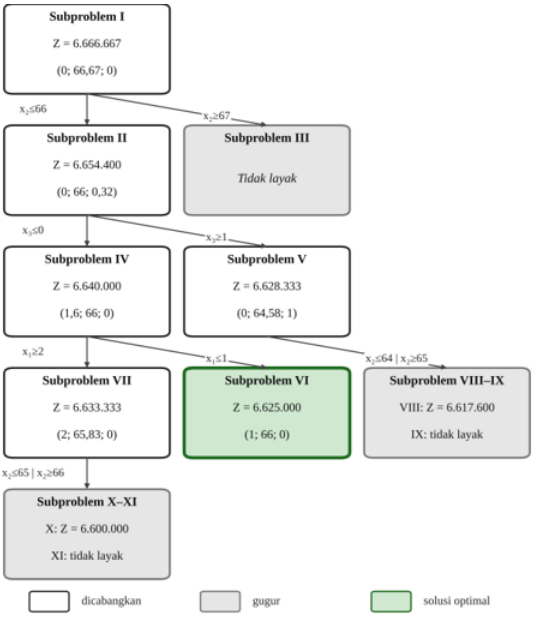
Gambar 3. Tabel Solusi Optimal Simpleks

Pada tabel awal (Gambar 1), nilai Zj − Cj untuk variabel $x_1$, $x_2$, dan $x_3$ berturut-turut adalah $-25.000, -100.000,$ dan $-170.000$. Berdasarkan nilai tersebut, nilai paling negatif terdapat pada variabel $x_3$ sehingga $x_3$ dipilih sebagai variabel masuk. Selanjutnya, penentuan variabel keluar dilakukan melalui uji rasio terkecil. Uji rasio terkecil terdapat pada kendala mawar merah muda, yaitu 800/25 = 32 sehingga variabel *slack* $S_1$ keluar dari basis dan variabel keputusan $x_3$ masuk ke basis.

Setelah dilakukan iterasi pertama (Gambar 2) diperoleh $x_3$ = 32 dengan Z = Rp5.440.000. Namun, kondisi optimal belum tercapai karena masih terdapat nilai Zj − Cj yang negatif pada variabel $x_2$ sehingga $x_2$ masuk ke basis dengan rasio terkecil, yaitu 32/0,48 = 66,6667 pada baris mawar merah muda. Pada iterasi kedua (Gambar 3) seluruh nilai Zj − Cj telah bernilai positif sehingga sehingga solusi optimal dengan metode Simpleks telah tercapai. Solusi tersebut merupakan solusi optimal dari model program linier tanpa pembatasan bilangan bulat pada variabel keputusan.

Setelah dilakukan dua kali iterasi dengan bantuan perangkat lunak *Google Collab*, diperoleh solusi optimal dengan fungsi tujuan (keuntungan maksimum) sebesar Rp6.666.667 dengan jumlah produksi buket bunga ukuran medium ($x_2$) sebanyak 66,67 unit. Namun, nilai variabel keputusan $x_2$ belum memenuhi syarat solusi bilangan bulat *(integer)*. Oleh karena itu, proses penyelesaian dilanjutkan menggunakan metode *Integer Linear Programming* dengan pendekatan *Branch and Bound*, melalui tahapan sebagai berikut:

1. Menambahkan *constraints* atau fungsi kendala/batasan baru dengan $x_2 \leq 66$ pada *Subproblem* II dan $x_2 \geq 67$ pada *Subproblem* III.
2. Masing-masing *Subproblem* diselesaikan menggunakan metode simpleks dengan batasan yang telah diperbarui hingga memperoleh solusi yang optimal. Proses percabangan *(branching)* ini dilakukan secara berulang hingga semua variabel keputusan memenuhi syarat bilangan buat *(integer)*.




Gambar 4. Diagram Percabangan *Branch and Bound*

*Subproblem* III tidak layak karena kebutuhan mawar merah muda sekurang-kurangnya 12(67) = 804 tangkai, melebihi kapasitas 800 tangkai. Pada *Subproblem* II, solusi relaksasi menjadi (0; 66; 0,32) dengan batas atas Rp6.654.400, sehingga $x_3$ yang masih pecahan dicabangkan menjadi $x_3 \leq 0$ (*Subproblem* IV) dan $x_3 \geq 1$ (*Subproblem* V). *Subproblem* IV menghasilkan (1,6; 66; 0) sehingga $x_1$ dicabangkan lagi. Cabang $x_1 \leq 1$ (*Subproblem* VI) menghasilkan solusi integer (1; 66; 0) dengan Z = Rp6.625.000 yang menjadi solusi integer terbaik sementara (*incumbent*). Cabang $x_1 \geq 2$ (*Subproblem* VII) memiliki batas atas Rp6.633.333, dan *Subproblem* V memiliki batas atas Rp6.628.333, keduanya masih lebih besar daripada *incumbent* sehingga keduanya harus dicabangkan lagi pada $x_2$ (*Subproblem* VIII sampai XI). Seluruh cabang lanjutan tidak dapat memperbaiki *incumbent* karena tidak layak atau batas atasnya lebih kecil dari Rp6.625.000, sehingga seluruh submasalah telah terhenti. Diagram percabangan disajikan pada Gambar 4 dan ringkasannya pada Tabel 4.

Berdasarkan Gambar 4 dan Tabel 4, seluruh submasalah lainnya telah gugur sehingga solusi optimal *integer* diperoleh pada *Subproblem* VI dengan nilai variabel keputusan $x_1 = 1, x_2 = 66, x_3 = 0$, dan nilai fungsi tujuan (Z) diperoleh sebagai berikut:

$$Z = 25000x_1 + 100000x_2 + 170000x_3$$
$$Z = 25000(1) + 100000(66) + 170000(0)$$
$$Z = 6.625.000$$

Dengan demikian, diperoleh keuntungan maksimum sebesar Rp6.625.000,00, dengan memproduksi buket bunga kecil sebanyak 1 unit dan buket bunga sedang sebanyak 66 unit, sedangkan untuk buket bunga ukuran besar tidak diproduksi.

Tabel 2. Ringkasan Proses Pencabangan *Branch and Bound*

| No. | Batas tambahan | Solusi relaksasi $(x_1; x_2; x_3)$ | Z (juta Rp) | Keputusan |
|---|---|---|---|---|
| I | – | (0; 66,67; 0) | 6,6667 | Cabang $x_2$ |
| II | $x_2 \leq 66$ | (0; 66; 0,32) | 6,6544 | Cabang $x_3$ |
| III | $x_2 \geq 67$ | Tidak layak | – | Gugur |
| IV | II; $x_3 \leq 0$ | (1,6; 66; 0) | 6,6400 | Cabang $x_1$ |
| V | II; $x_3 \geq 1$ | (0; 64,58; 1) | 6,6283 | Cabang $x_2$ |
| VI | IV; $x_1 \leq 1$ | (1; 66; 0) | 6,6250 | Integer; incumbent |
| VII | IV; $x_1 \geq 2$ | (2; 65,83; 0) | 6,6333 | Cabang $x_2$ |
| VIII | V; $x_2 \leq 64$ | (0; 64; 1,28) | 6,6176 | Gugur (< incumbent) |
| IX | V; $x_2 \geq 65$ | Tidak layak | – | Gugur |
| X | VII; $x_2 \leq 65$ | (4; 65; 0) | 6,6000 | Gugur (< incumbent) |
| XI | VII; $x_2 \geq 66$ | Tidak layak | – | Gugur |

Catatan: *incumbent* adalah solusi integer layak terbaik sementara

Tabel. 3 Penggunaan Sumber Daya pada Solusi Optimal

| Sumber daya | Digunakan | Kapasitas | Sisa |
|---|---|---|---|
| Mawar merah muda | 797 | 800 | 3 |
| Mawar merah | 399 | 600 | 201 |
| Mawar peach | 332 | 500 | 168 |
| Krisan putih | 532 | 700 | 168 |
| Baby's breath | 133 | 300 | 167 |
| Lily putih | 66 | 150 | 84 |
| Daun hijau | 266 | 300 | 34 |
| Kertas wrapping | 133 | 200 | 67 |
| Tulle transparan | 133 | 200 | 67 |
| Pita dekorasi | 67 | 100 | 33 |
| Waktu produksi (detik) | 8.535 | 10.800 | 2.265 |

Tabel 5 memperlihatkan penggunaan sumber daya pada solusi optimal. Waktu produksi yang digunakan adalah 87(1) + 128(66) = 8.535 detik dari 10.800 detik sehingga tersisa 2.265 detik, sedangkan mawar merah muda terpakai 797 dari 800 tangkai dan menjadi sumber daya yang paling mendekati kapasitasnya.

## Perbandingan dengan Strategi Produksi Alternatif

Untuk menunjukkan nilai tambah model ILP, solusi optimal dibandingkan dengan tiga strategi pembanding pada Tabel 6. Strategi pembanding ini disusun sebagai tolok ukur dan bukan merupakan catatan produksi aktual toko.

Tabel 4. Perbandingan Strategi Produksi

| Strategi | Variabel $(x_1, x_2, x_3)$ | Keuntungan (Rp) | Selisih dengan ILP |
|---|---|---|---|
| Jumlah sama tiap ukuran | 19, 19, 19 | 5.605.000 | 1.020.000 (18,2%) |
| Prioritas buket besar | 0, 0, 32 | 5.440.000 | 1.185.000 (21,8%) |
| Pembulatan ke bawah LP | 0, 66, 0 | 6.600.000 | 25.000 (0,4%) |
| ILP (*Branch and Bound*) | 1, 66, 0 | 6.625.000 | – |

Solusi optimal ILP pada Tabel 6, menghasilkan keuntungan 18,2% lebih tinggi dibandingkan strategi produksi dengan jumlah yang sama dan 21,8% lebih tinggi dibandingkan strategi yang memprioritaskan produksi buket ukuran besar. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemilihan kombinasi produksi berdasarkan optimasi matematis mampu memberikan keuntungan yang lebih tinggi dibandingkan kedua strategi alternatif. Sementara itu, strategi pembulatan ke bawah solusi relaksasi LP hanya menghasilkan keuntungan Rp25.000 (0,4%) lebih rendah daripada solusi *Branch and Bound*. Pada kasus ini, keunggulan *Branch and Bound* terutama terletak pada jaminan bahwa solusi (1; 66; 0) benar-benar optimal, dengan selisih hanya 0,63% terhadap batas atas relaksasi LP (Rp6.666.667), bukan pada selisih keuntungan yang besar terhadap pembulatan sederhana.

**Analisis Sensitivitas**

Pada solusi optimal, mawar merah muda terpakai 797 dari 800 tangkai, sedangkan waktu produksi hanya terpakai 8.535 dari 10.800 detik (79,0%) dan bahan baku lain masih longgar. Dengan demikian, mawar merah muda merupakan satu-satunya sumber daya yang membatasi produksi. Pada relaksasi program linear, nilai dual kendala tersebut sebesar Rp8.333,33 per tangkai, yaitu tambahan keuntungan untuk setiap tambahan satu tangkai selama ketersediaannya tidak melebihi 900 tangkai. Di atas batas itu, kendala daun hijau mulai membatasi. Hasil seluruh skenario disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Analisis Sensitivitas

| Skenario | Variabel ($x_1$, $x_2$, $x_3$) | Keuntungan (Rp) |
|---|---|---|
| **Ketersediaan waktu (detik)** | | |
| 7.200 | 0, 35, 15 | 6.050.000 |
| 8.000 | 0, 54, 6 | 6.420.000 |
| 9.000 | 1, 66, 0 | 6.625.000 |
| 10.800 (dasar) | 1, 66, 0 | 6.625.000 |
| **Ketersediaan mawar merah muda (tangkai)** | | |
| 600 | 0, 50, 0 | 5.000.000 |
| 700 | 0, 58, 0 | 5.800.000 |
| 800 (dasar) | 1, 66, 0 | 6.625.000 |
| 900 | 0, 75, 0 | 7.500.000 |
| **Keuntungan buket sedang (Rp)** | | |
| 90.000 (−10%) | 1, 66, 0 | 5.965.000 |
| 80.000 (−20%) | 0, 0, 32 | 5.440.000 |
| 110.000 (+10%) | 1, 66, 0 | 7.285.000 |
| **Keuntungan buket besar (Rp)** | | |
| 187.000 (+10%) | 1, 66, 0 | 6.625.000 |
| 204.000 (+20%) | 1, 60, 3 | 6.637.000 |
| 212.500 (+25%) | 0, 0, 32 | 6.800.000 |

Pada ketersediaan waktu, solusi optimal tidak berubah selama waktu tersedia sekitar 8.535 detik (2,4 jam) atau lebih sehingga kendala waktu tidak aktif. Di bawah batas tersebut, kendala waktu menjadi aktif dan produksi bergeser dari buket sedang ke buket besar karena buket besar memberikan keuntungan per detik yang lebih tinggi. Pada ketersediaan mawar merah muda, setiap penurunan 100 tangkai menurunkan keuntungan sekitar Rp800.000 hingga Rp825.000, sehingga solusi sangat sensitif terhadap bahan baku ini.

Pada keuntungan per unit, berdasarkan tabel simpleks optimal (Gambar 3), basis solusi relaksasi tetap optimal selama keuntungan buket kecil tidak melebihi Rp41.667, keuntungan buket sedang tidak kurang dari Rp81.600, dan keuntungan buket besar tidak melebihi Rp208.333. Penurunan keuntungan buket sedang sebesar 10% tidak mengubah komposisi, tetapi penurunan sebesar 20% (Rp80.000, di bawah batas Rp81.600) memindahkan seluruh produksi ke buket besar. Kenaikan keuntungan buket besar sebesar 20% sudah mengubah solusi bulat menjadi (1, 60, 3) walaupun batas Rp208.333 belum terlampaui, sehingga solusi bulat dapat berubah lebih awal daripada solusi relaksasi. Secara keseluruhan, solusi cukup stabil terhadap perubahan keuntungan hingga 10%, tetapi sensitif terhadap ketersediaan mawar merah muda sehingga pengelolaan stok bahan ini menjadi prioritas.

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini membahas penerapan metode *Integer Linear Programming* (ILP) dengan pendekatan *Branch and Bound* untuk mengoptimalkan keuntungan produksi buket bunga pada Toko Bunga Bloom. Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan, setelah seluruh submasalah ditelusuri hingga terhenti, solusi optimal integer diperoleh pada *Subproblem VI* dengan jumlah produksi buket bunga kecil sebanyak 1 unit dan buket bunga sedang sebanyak 66 unit. Nilai keuntungan maksimum yang diperoleh dari kombinasi produksi tersebut adalah sebesar Rp6.625.000,00 dengan penggunaan waktu produksi 8.535 dari 10.800 detik per hari. Hal ini menunjukkan bahwa metode *Branch and Bound* dapat menjadi alat bantu dalam pengambilan keputusan produksi secara sistematis pada sektor UMKM. Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa mawar merah muda merupakan satu-satunya sumber daya yang membatasi produksi (nilai dual Rp8.333,33 per tangkai), sedangkan kendala waktu baru aktif apabila waktu produksi tersedia kurang dari sekitar 8.535 detik. Dibandingkan strategi produksi dengan jumlah sama dan strategi yang memprioritaskan buket besar, solusi ILP memberikan keuntungan masing-masing 18,2% dan 21,8% lebih tinggi, sedangkan dibandingkan pembulatan ke bawah solusi relaksasi LP keunggulannya hanya Rp25.000 (0,4%), sehingga manfaat utama *Branch and Bound* pada kasus ini adalah jaminan optimalitas solusi. Data yang digunakan merupakan data primer hasil observasi dan wawancara di Toko Bunga Bloom sehingga hasil penelitian berlaku untuk kondisi produksi yang diamati. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan data produksi dari periode pengamatan yang lebih panjang dan dari beberapa usaha buket bunga, menambahkan kendala permintaan, serta memodelkan tenaga kerja dan setiap proses produksi secara terpisah.

## DAFTAR PUSTAKA

Ayunda, Z., Winarno, W., Nugraha, B., dan Momon, A. 2021. Analisa Optimalisasi Keuntungan dengan Integer Linear Programming dan Metode *Branch and Bound* pada Toko Bunga QuinnaStory. *JISS: Journal Industrial Services*, Vol. 6, No. 2, pp. 99–104.

Basriati, S. 2018. Integer Linear Programming dengan Pendekatan Metode *Cutting Plane* dan *Branch and Bound* untuk Optimasi Produksi Tahu. *Wahana Matematika dan Sains: Jurnal Matematika*, Vol. 4, No. 2.

Heizer, J., Render, B., dan Munson, C. 2020. *Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management*. Edisi ke-13. Pearson Education.

Hillier, F. S., dan Lieberman, G. J. 2021. *Introduction to Operations Research*. Edisi ke-11. McGraw-Hill Education.

Khumair, M., dan Yazid, M. 2025. Analisis Peran Ekonomi Kreatif dalam Pemberdayaan Masyarakat Lokal: Studi Literatur Kualitatif terhadap Perkembangan Industri Kreatif di Indonesia. *Jurnal Ekonomi Kreatif Indonesia*, Vol. 3, No. 3, pp. 156–169.

Kusumawardhani, Z. H., Wulandari, S., Amriadi, A., Kasmirandi, dan Abbas, S. A. 2025. Strategi Penguatan UMKM Industri Kreatif untuk Mewujudkan Ekonomi Inklusif di Daerah Non-Metropolitan: Studi di Kabupaten Soppeng. *Jurnal Minfo Polgan*.

Rahmawati, A., dan Sucitra, M. K. 2023. Analisis Peran Ekonomi Kreatif dalam Meningkatkan Kualitas UMKM di Indonesia. *Al-Mizan: Jurnal Ekonomi Syariah*, Vol. 7, No. 2.

Schrage, L., & Wolsey, L. (1985). Sensitivity analysis for *Branch and Bound* integer programming. *Operations Research, 33*(5), 1008–1023. https://doi.org/10.1287/opre.33.5.1008

Taha, H. A. 2017. *Operations Research: An Introduction*. Edisi ke-10. Pearson Education.

Tayi, G. K. (1985). Sensitivity analysis of mixed integer programs: An application to environmental policy making. *European Journal of Operational Research, 22*(2), 224–233. https://doi.org/10.1016/0377-2217(85)90230-9