Original Article

e-ISSN: 2774-2016 - https://journal.itera.ac.id/index.php/indojam/
p-ISSN: 2774-2067

Received 17th March 2024
Accepted 24th April 2024
Published 30th April 2024

Open Access

DOI:
https://doi.org/10.35472/indojam.v4i1.1781

Pengoptimalan Masalah Nonlinier dalam Meminimumkan Biaya Produksi dengan Metode Algoritma Genetika Menggunakan *Separable Programming* dan Metode Algoritma Genetika

Nanda Fazilah [a], T. Murdani Saputra *[b], Intan Syahrini [c]

[a,b,c] *Departemen Matematika, Jurusan Matematika, Universitas Syiah Kuala*

* *Koresponden E-mail: tmurdanisaputra@usk.ac.id*

Abstract: This research aims to form a nonlinear model of the objective function in the case of minimizing production costs and the number of products that must be produced by Lanting Bumbu An-Nisa. The application of the separable programming method is carried out by transforming the nonlinear objective function and constraints to produce a linear objective function and constraints which are then solved by applying the genetic algorithm method. The application of this method produces a solution that producers must produce 250 packages of onion flavored lanting, 750 packages of cheese flavored lanting, 500 packages of sweet and spicy lanting and 500 packages of corn flavored lanting with a production cost of IDR 12,706,037.29 . The nonlinear model formed in this problem was also solved directly using the genetic algorithm method which resulted in the solution that the total production of onion flavored lanting was 533 packages, 507 packages of cheese flavored lanting, 505 packages of sweet and spicy lanting and 455 packages of corn flavored lanting at a cost of the production that must be spent is IDR 11,213,943.55. The application of these two methods results in a difference in production costs of IDR 1,492,093.74. Based on these results, it shows that solving the nonlinear model directly using a genetic algorithm results in production costs that are 11.74% lower than the costs solved using separable programming.

Keywords: *Optimization, Nonlinear Programming, Separable Programming, Genetic Algorithms*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk membentuk model nonlinier dari fungsi tujuan pada kasus meminimumkan biaya produksi serta jumlah produk yang harus diproduksi oleh Lanting Bumbu An-Nisa. Penerapan metode separable programming dilakukan dengan mentransformasikan fungsi tujuan nonlinier serta kendala sehingga menghasilkan fungsi tujuan dan kendala berbentuk linier yang selanjutnya diselesaikan dengan menerapkan metode algoritma genetika. Penerapan metode tersebut menghasilkan solusi bahwa produsen harus memproduksi lanting rasa bawang sebanyak 250 kemasan, lanting rasa keju sebanyak 750 kemasan, lanting rasa pedas manis sebanyak 500 kemasan dan lanting rasa jagung sebanyak 500 kemasan dengan biaya produksi yang harus dikeluarkan sebesar Rp 12.706.037,29. Model nonlinier yang terbentuk dalam permasalahan ini juga diselesaikan langsung menggunakan metode algoritma genetika yang menghasilkan solusi bahwa jumlah produksi lanting rasa bawang sebanyak 533 kemasan, lanting rasa keju sebanyak 507 kemasan, lanting rasa pedas manis sebanyak 505 kemasan dan lanting rasa jagung sebanyak 455 kemasan dengan biaya produksi yang harus dikeluarkan sebesar Rp 11.213.943,55. Penerapan kedua metode tersebut menghasilkan selisih biaya produksi sebesar Rp 1.492.093,74. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan bahwa penyelesaian model nonlinier yang langsung diselesaikan dengan algoritma genetika menghasilkan biaya produksi yang lebih minimal sebesar 11,74% dari biaya yang diselesaikan dengan separable programming.

Kata Kunci: *Optimasi, Pemrograman Nonlinier, Separable Programming, Algoritma Genetika*

Original Article

Pendahuluan

Optimasi merupakan hal yang berkaitan dengan pencarian solusi dari masalah yang memiliki kendala tertentu untuk mendapatkan hasil terbaik dengan tujuan yang optimal. Permasalahan dalam optimasi dapat berupa permasalahan linier ataupun permasalahan nonlinier. Dalam konteks kehidupan, seringkali optimasi tidak dapat diselesaikan dengan model linier, sehingga diperlukan model nonlinier untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Kasus permasalahan nonlinier dapat dibedakan menjadi dua, yaitu kasus nonlinier dengan kendala (*constrained*) dan kasus nonlinier yang tidak memiliki kendala (*unconstrained*). Permasalahan optimasi nonlinier dapat diselesaikan dengan beberapa metode, seperti *Separable Programming*, *Quadratic Programming*, *Lagrange Multiplier*, pendekatan kondisi Karush-Kuhn Tucker, dan metode lainnya.

Separable Programming merupakan suatu metode optimasi yang dilakukan untuk mendapatkan hasil yang optimal dengan mentransformasikan fungsi nonlinier menjadi fungsi linier. Keakuratan hampiran fungsi linier sepotong-sepotong dipengaruhi oleh banyaknya titik partisi/titik kisi. Jika titik kisi bertambah, maka variabel pada masalah hampiran pemrograman linier akan bertambah [1].

Permasalahan nonlinier yang diselesaikan dengan *separable programming* akan menghasilkan model linier yang selanjutnya dapat diselesaikan dengan metode simpleks, Lagrange Multiplier, ataupun algoritma genetika. Algoritma genetika merupakan suatu wujud pencarian random yang menirukan prinsip dasar proses evolusi biologi alami guna mencari solusi optimal. Untuk suatu permasalahan kompleks, algoritma ini dimulai dengan suatu kumpulan parameter yang disebut kromosom atau string, kemudian masing-masing dievaluasi tingkat ketangguhannya oleh fungsi tujuan yang telah ditentukan [2].

Penelitian ini akan dilakukan optimasi pada biaya produksi dengan menggunakan metode *separable programming* dan algoritma genetika menggunakan data yang sama pada penelitian [3]. Penelitian ini akan mengkaji tentang biaya produksi minimum yang harus dikeluarkan serta banyaknya produk yang dapat diproduksi oleh "Lanting Bumbu An-Nisa" untuk mencapai tujuan yang optimal. Data yang akan digunakan adalah data biaya produksi dan jumlah produksi per bulan dari bulan Mei 2017 sampai Agustus 2017. Data dibentuk menjadi fungsi tujuan nonlinier menggunakan regresi polinomial yang kemudian diselesaikan dengan metode *separable programming* melalui penerapan metode hampiran fungsi linier sepotong-sepotong formulasi lambda λ. Pada metode *separable programming* akan mentransformasikan fungsi tujuan nonlinier menjadi fungsi linier yang selanjutnya dilakukan optimasi dengan menerapkan metode algoritma genetika. Fungsi nonlinier yang terbentuk dari regresi polinomial juga diselesaikan langsung menggunakan metode algoritma genetika. Hasil yang diperoleh dari penyelesaian model nonlinier yang diselesaikan dengan metode *separable programming* dan algoritma genetika akan dibandingkan dengan penyelesaian model nonlinier menggunakan metode algoritma genetika.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah menentukan biaya produksi minimum dan jumlah produk yang harus diproduksi oleh Lanting Bumbu An-Nisa serta menentukan selisih biaya produksi lanting pada Lanting Bumbu An-Nisa. Peneltian ini akan dilakukan penerapan metode algoritma genetika menggunakan *separable programming* dan metode algoritma genetika saja untuk mencari biaya produksi minimum.

Metode

Penelitian ini melakukan optimasi dengan membentuk data menjadi model nonlinier yang selanjutnya dilakukan menggunakan metode *separable programming* dengan algoritma genetika dan tanpa menggunakan *separable programming*. Data yang digunakan pada penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari penelitian Arindita et al. [3] dengan judul "Pemrograman NonLinear dengan Pendekatan *Separable Programming* dan Lagrange Multiplier dalam Penetapan Biaya Produksi Optimal Lanting di Lanting Bumbu An-Nisa". Data yang digunakan adalah data biaya produksi dan jumlah produksi dari bulan Mei 2017 sampai Agustus 2017. Adapun data tersebut adalah sebagai berikut:

TABEL 1. Biaya produksi lanting rasa bawang

Bulan Produksi	Jumlah Produksi (kemasan)	Biaya Produksi
Mei	538	3.223.300
Juni	684	4.181.400
Juli	645	3.864.400
Agustus	521	3.121.400

TABEL 2. Biaya produksi lanting rasa keju

Bulan Produksi	Jumlah Produksi (kemasan)	Biaya Produksi
Mei	470	2.540.500
Juni	578	3.091.700
Juli	523	2.785.900
Agustus	417	2.349.400

TABEL 3. Biaya produksi lanting rasa pedas manis

Bulan Produksi	Jumlah Produksi (kemasan)	Biaya Produksi
Mei	324	1.949.700
Juni	567	2.924.500
Juli	599	3.141.500
Agustus	356	2.065.000

TABEL 4. Biaya produksi lanting rasa jagung

Bulan Produksi	Jumlah Produksi (kemasan)	Biaya Produksi
Mei	363	2.333.400
Juni	456	2.705.600
Juli	354	2.281.700
Agustus	397	2.442.500

Data yang diperoleh dibentuk menjadi model nonlinier dengan menetapkan 4 variabel keputusan sesuai jenis lanting yang diproduksi perusahaan, yaitu:

(1) x_1 adalah banyaknya produksi lanting rasa bawang dalam satu bulan

(2) x_2 adalah banyaknya produksi lanting rasa keju dalam satu bulan

(3) x_3 adalah banyaknya produksi lanting rasa pedas manis dalam satu bulan

(4) x_4 adalah banyaknya produksi lanting rasa jagung dalam satu bulan

Pembentukan model nonlinier dilakukan dengan regresi polinomial. Regresi polinomial merupakan model regresi linier yang dibentuk dengan menjumlahkan pengaruh masing-masing variabel prediktor (X) yang dipangkatkan meningkat sampai orde ke-k. Secara umum, model regresi polinomial ditulis dalam bentuk [5]:

$$y = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 + \cdots + b_k x^k + \varepsilon \qquad (1)$$

Keterangan:
y = variabel respon
b_0 = intersep
$b_1, b_2, \dots, b_k$= koefisien-koefisien regresi
x = variabel prediktor
ε = faktor pengganggu yang tidak dapat dijelaskan oleh model regresi

Model nonlinier pada penelitian ini di bentuk dengan menggunakan regresi polinomial orde dua dengan persamaan sebagai berikut:

$$y = b_0 + b_1 x + b_2 x^2 \qquad (2)$$

Persamaan regresi yang terbentuk dilakukan perhitungan koefisien determinasi, menggunakan persamaan:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y}_i)^2} \qquad (3)$$

Keterangan:
$\hat{y}_i$ = nilai y hasil persamaan regresi untuk data ke-i
$\bar{y}_i$ = rata-rata nilai y
y_i = nilai y untuk data ke-i
n = banyak data

Koefisien determinasi menjelaskan hubungan antara variable bebas (x) dengan variable terikat (y). Nilai koefisien terletak antara 0 dan 1.

$$0 < R^2 < 1$$

Persamaan yang terbentuk dilakukan optimasi dengan 2 metode, adapun 2 metode yang digunakan adalah sebagai berikut:

Published by: Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM)
Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Indonesia

Original Article

A. Pengoptimalan menggunakan *Separable Programming* dengan Algoritma Genetika

Separable Programming atau yang sering disebut pemrograman terpisah merupakan salah satu metode dalam penyelesaian program nonlinier dengan cara mentransformasikan bentuk fungsi nonlinier menjadi fungsi-fungsi linier yang hanya memuat satu variabel saja [2].

Fungsi tujuan yang terbentuk dari regresi polinomial dilakukan optimasi dengan metode *separable programming* dengan langkah sebagai berikut:

(1) Membentuk masalah P

Masalah P dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$z = \sum_{j=1}^{n} f_j(x_j) \tag{4}$$

Dengan kendala:

$$\sum_{j=1}^{n} g_{ij}(x_j)(\leq, =, \geq) b_i, i = 1,2, \ldots, m$$
$$x_j \geq 0, (j = 1,2, \ldots, n) \tag{5}$$

(2) Menentukan titik kisi

Fungsi f pada interval $[a, b]$ dihampiri oleh fungsi linier sepotong sepotong $\hat{f}$ yang dipartisi menjadi interval yang lebih kecil dengan titik kisi $a = x_1, x_2, \ldots, x_k = b$.

(3) Membentuk masalah AP

$$\hat{f}_j(x_j) = \sum_{v=1}^{k} \lambda_{vj} f(x_{vj}) \ , j = 1, \ldots, n; \tag{6}$$

$$\hat{g}_{ij}(x_j) = \sum_{v=1}^{k} \lambda_{vj} g_{ij}(x_{vj}), \ \ i = 1, \ldots, m; \tag{7}$$

dengan

$$\sum_{v=1}^{k} \lambda_{vj} = 1$$

$$\lambda_{vj} \geq 0, \ \ v = 1, \ldots k \text{ dan } j = 1, \ldots, n$$

dan

$$x_j = \sum_{v=1}^{k} \lambda_{vj}(x_{vj})$$

Keterangan:

x_{vj} = titik kisi ke-v terhadap variabel keputusan ke-j

k = banyak titik kisi

m = banyak kendala

n = banyak variabel keputusan

(4) Membentuk masalah LAP

$$Z = \sum_{j=1}^{n} \sum_{v=1}^{k} \lambda_{vj} f_j(x_{vj}) \tag{8}$$

terhadap kendala

$$\sum_{j=1}^{n} \sum_{v=1}^{k} \lambda_{vj} g_{ij}(x_{vj})(\leq, =, \geq) b_i, \ \ i = 1, \ldots m$$

$$\sum_{v=1}^{k} \lambda_{vj} = 1$$

$$\lambda_{vj} \geq 0 \text{ untuk } v = 1,2, \ldots, k \tag{10}$$

Hasil dari metode *separable programming* berupa masalah LAP dilakukan optimasi dengan algoritma genetika. Algoritma genetika merupakan suatu wujud pencarian random yang menirukan prinsip proses evolusi biologis alami guna mencari solusi optimal [5]. Adapun tahapan penyelesaian algoritma genetika adalah sebagai berikut:

(1) Pembentukan populasi awal

Populasi awal dibentuk dengan kromosom-kromosom berisikan gen yang dibangkitkan secara acak.

(2) Seleksi

Seleksi dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$fitness = \frac{1}{1 + nilai\ fungsi\ objektif} \tag{11}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan peluang menggunakan persamaan berikut:

$$P(i) = \frac{fitness(i)}{total\ fitness} \tag{12}$$

(3) *Crossover*

Crossover merupakan proses pindah silang yang melibatkan dua *parent* untuk dijadikan individu baru. Proses *crossover* dilakukan pada individu yang dipilih secara acak dengan probabilitas *crossover* (P_c) antara $0{,}6 - 0{,}95$ [6]. Proses *crossover* dilakukan pada individu dengan probabilitas yang telah ditentukan dan membangkitkan bilangan *random* (R_i) dalam interval [0,1]. *Crossover* hanya dapat dilakukan apabila $R_i < P_c$.

(4) Mutasi

Original Article

Mutasi merupakan tahapan yang berperan untuk menggantikan gen yang hilang dari populasi akibat proses seleksi yang memungkinkan munculnya kembali gen yang tidak muncul pada inisialisasi populasi awal [7]

(5) Evaluasi solusi
Evaluasi solusi dilakukan dengan melakukan perhitungan nilai *fitness* dari setiap kromosom hingga memenuhi kriteria berhenti yang telah ditetapkan.

Pada penelitian ini, perhitungan menggunakan algoritma genetika dilakukan meggunakan bantuan aplikasi matematika dengan langkah penyelesaian sebagai berikut:

a) Pengkodean fungsi *fitness*
Pengkodean fungsi *fitness* dilakukan pada fungsi linier yang didapat dari penetapan metode *separable programming.* Fungsi tujuan LAP dijadikan sebagai fungsi *fitness*.

b) Pengkodean fungsi kendala
Kendala yang diperoleh dari masalah LAP pada metode *separable programming* dijadikan sebagai fungsi kendala pada proses perhitungan algoritma genetika

c) Minimasi dengan algoritma genetika
Proses minimasidilakuka dengan menetapkan 100 kromosom yang bersikan 4 gen dalam setiap kromosom. Dalam proses perhitungan dilakukan *crossover* dan mutase dengan *crossover rate* sebesar 0,8 dan probabilitas mutase 0,01.

B. Pengoptimalan menggunakan Algoritma genetika

Pengoptimalan dengan menggunakan algoritma genetika dilakukan terhadap fungsi tujuan dan fungsi kendala yang di dapat dari proses regresi polinom. Adapun langkah penyelesaiannya sebagai berikut:

(1) Pengkodean fungsi *fitness*
Pengkodean fungsi *fitness* dilakukan dengan pendefinisian fungsi tujuan nonlinier.

(2) Pengkodean fungsi kendala
Pengkodean fungsi kendala dilakukan berdasarkan fungsi kendala yang terbentuk dari kendala jumlah produksi Lanting Bumbu An-Nisa

(3) Minimasi dengan algoritma genetika
Minimasi dilakukan menggunakan bantuan aplikasi matematika dengan menetapkan 100 kromosom yang berisikan 4 gen dalam setiap kromosom.

Hasil dan Diskusi

3.1. Pembentukan Model Nonlinier

Fungsi Tujuan untuk meminimumkan biaya produksi

Adapun fungsi tujuan yang terbentuk ada 4 fungsi tujuan untuk setiap jenis lanting, persamaannya disajikan sebagai berikut:

a. Fungsi tujuan untuk lanting rasa bawang (x_1)

$$\hat{y}_1 = f(x_1) = 11{,}72x_1^2 - 7697{,}38x_1 + 3960397{,}09 \tag{13}$$

dengan koefisien determinasi sebesar $R^2 = 0{,}9996$

b. Fungsi tujuan untuk lanting rasa keju (x_2)

$$\hat{y}_2 = f(x_2) = 9{,}13x_2^2 - 4465{,}8x_2 + 2624474{,}27 \tag{14}$$

dengan koefisien determinasi sebesar $R^2 = 0{,}9999$

c. Fungsi tujuan untuk lanting rasa pedas manis (x_3)

$$\hat{y}_3 = f(x_3) = 6{,}54x_3^2 - 1798{,}48x_3 + 1859198{,}65 \tag{15}$$

dengan koefisien determinasi sebesar $R^2 = 0{,}9991$

d. Fungsi tujuan untuk lanting rasa jagung (x_4)

$$\hat{y}_4 = f(x_4) = 7{,}38x_4^2 - 1913{,}43x_4 + 2043492{,}28 \tag{16}$$

dengan koefisien determinasi sebesar $R^2 = 0{,}9976$

Fungsi tujuan akhir adalah jumlahan dari fungsi tujuan masing-masing variabel. Fungsi tujuan yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} f(x_1, x_2, x_3, x_4) &= f(x_1) + f(x_2) + f(x_3) + f(x_4) \\ &= (11{,}72x_1^2 - 7697{,}38x_1 + 3960397{,}09) + (9{,}13x_2^2 - 4465{,}8x_2 + 2624474{,}27) + (6{,}54x_3^2 - 1798{,}48x_3 + 1859198{,}65) + (7{,}38x_4^2 - 1913{,}43x_4 + 2043492{,}28) \\ &= 11{,}72x_1^2 - 7697{,}38x_1 + 9{,}13x_2^2 - 4465{,}8x_2 + 6{,}54x_3^2 - \end{aligned}$$

Original Article

$1798{,}48x_3 + 7{,}38x_4^2 - 1913{,}43x_4 + 10487562{,}29$ (17)

Fungsi Kendala

Kendala pada permasalahan ini adalah Lanting Bumbu An-Nisa akan menerima pesanan sebanyak 2000 kemasan untuk seluruh jenis lanting. Seingga kendala yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 2000 \quad (18)$$

$$x_1, x_2, x_3, x_4 \geq 0 \quad (19)$$

3.2. Penyelesaian Model Nonlinier dengan *Separable Programming*

Penyelesaian model nonlinier dengan *separable programming* dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

Pembentukan masalah P (*Problem*)

Masalah P dibentuk dengan memisahkan fungsi tujuan berdasarkan jenis variablenya. Adapun masalah P yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$f(x_1) = 11{,}72x_1^2 - 7697{,}38x_1 + 3960397{,}09$
$f(x_2) = 9{,}13x_2^2 - 4465{,}8x_2 + 2624474{,}27$
$f(x_3) = 6{,}54x_3^2 - 1798{,}48x_3 + 1859198{,}65$
$f(x_4) = 7{,}38x_4^2 - 1913{,}43x_4 + 2043492{,}28$

Fungsi kendala yang terbentuk adalah sebagai berikut:

$$g_{11}(x_1) = x_1; \quad g_{12}(x_2) = x_2; \quad g_{13}(x_3) = x_3; \quad g_{14}(x_4) = x_4$$

Pembentukan kendala dengan pendekatan *separable programming* perlu ditambahkan satu kendala interval yaitu interval nilai x_j untuk $j = 1,2,3,4$. Sehingga kendala yang ditambahkan yaitu:

$$0 \leq x_j \leq 2000$$

Batasan dalam masalah ini digunakan 2000 dikarenakan angka tersebut merupakan nilai yang paling besar

Penentuan titik kisi

Permasalahan ini menetapkan sebanyak 9 titik kisi dengan interval [0, 2000], sehingga $v = 1,2,3,4,5,6,7,8,9$ dan $j = 1,2,3,4$. Titik kisi yang dipilih adalah 0, 250, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000. Nilai x_{vj} yang terbentuk adalah sebagai berikut:

TABEL 5. Titik kisi

x_{vj}	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
2	0	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
3	0	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000
4	0	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000

Pembentukan masalah AP (*Approximating Problem*)

Pembentukan masalah AP didapatkan dengan cara membentuk model linier pada masalah P sebagai berikut:

$$\hat{f}_1(x_1) = \sum_{v=1}^{9} \lambda_{v1} f_1(x_{v1})$$

$$\begin{aligned}
\hat{f}_1(x_1) &= \lambda_{11} f(x_{11}) + \lambda_{21} f(x_{21}) + \lambda_{31} f(x_{31}) + \lambda_{41} f(x_{41}) + \lambda_{51} f(x_{51}) + \lambda_{61} f(x_{61}) + \lambda_{71} f(x_{71}) + \lambda_{81} f(x_{81}) + \lambda_{91}(x_{91}) \\
&= [11{,}72(0)^2 - 7697{,}38(0) + 3960397{,}09\,]\lambda_{11} + [11{,}72(250)^2 - 7697{,}38(250) + 3960397{,}09\,]\lambda_{21} + [11{,}72(500)^2 - 7697{,}38(500) + 3960397{,}09\,]\lambda_{31} + [11{,}72(750)^2 - 7697{,}38(750) + 3960397{,}09\,]\lambda_{41} + [11{,}72(1000)^2 - 7697{,}38(1000) + 3960397{,}09\,]\lambda_{51} + [11{,}72(1250)^2 - 7697{,}38(1250) + 3960397{,}09\,]\lambda_{61} + [11{,}72(1500)^2 - 7697{,}38(1500) + 3960397{,}09\,]\lambda_{71} + [11{,}72(1750)^2 - 7697{,}38(1750) + 3960397{,}09\,]\lambda_{81} + [11{,}72(2000)^2 - 7697{,}38(2000) + 3960397{,}09\,]\lambda_{91} \\
&= 3960397{,}09\lambda_{11} + 2768552{,}09\lambda_{21} + 3041707{,}09\lambda_{31} + 6704207{,}09\lambda_{41} + 9907362{,}09\lambda_{51} + 14575517{,}09\lambda_{61} + 18784327{,}09\lambda_{71} + 26382482{,}09\lambda_{81} + 35445637{,}09\lambda_{91}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\hat{f}_2(x_2) &= \sum_{v=1}^{9} \lambda_{v2} f_2(x_{v2}) \\
&= \lambda_{12} f(x_{12}) + \lambda_{22} f(x_{22}) + \lambda_{32} f(x_{32}) + \lambda_{42} f(x_{42}) + \lambda_{52} f(x_{52}) + \lambda_{62} f(x_{62}) + \lambda_{72} f(x_{72}) + \lambda_{82} f(x_{82}) + \lambda_{92}(x_{92}) \\
&= [9{,}13(0)^2 - 4465{,}8(0) + 2624474{,}27]\lambda_{12} + [9{,}13(250)^2 - 4465{,}8(250) + 2624474{,}27]\lambda_{22} + [9{,}13(500)^2 - 4465{,}8(500) + 2624474{,}27]\lambda_{32} + [9{,}13(750)^2 - 4465{,}8(750) + 2624474{,}27]\lambda_{42} + [9{,}13(1000)^2 - 4465{,}8(1000) + 2624474{,}27]\lambda_{52} +
\end{aligned}$$

Original Article

$$[9{,}13(1250)^2 - 4465{,}8(1250) + 2624474{,}27]\lambda_{62} + [9{,}13(1500)^2 - 4465{,}8(1500) + 2624474{,}27]\lambda_{72} + [9{,}13(1750)^2 - 4465{,}8(1750) + 2624474{,}27]\lambda_{82} + [9{,}13(2000)^2 - 4465{,}8(2000) + 2624474{,}27]\lambda_{92}$$
$$= 2624474{,}27\lambda_{12} + 2078649{,}27\lambda_{22} + 2674074{,}27\lambda_{32} + 5527199{,}27\lambda_{42} + 7288674{,}27\lambda_{52} + 11307849{,}27\lambda_{62} + 16468274{,}27\lambda_{72} + 22769949{,}27\lambda_{82} + 30212874{,}27\lambda_{92}$$

$$\begin{aligned}\hat{f}_3(x_3) &= \textstyle\sum_{v=1}^{9} \lambda_{v3} f_3(x_{v3}) \\ &= \lambda_{13} f(x_{13}) + \lambda_{23} f(x_{23}) + \lambda_{33} f(x_{33}) + \lambda_{43} f(x_{43}) + \lambda_{53} f(x_{53}) + \lambda_{63} f(x_{63}) + \lambda_{73} f(x_{73}) + \lambda_{83} f(x_{83}) + \lambda_{93}(x_{93}) \\ &= [6{,}54(0)^2 - 1798{,}48(0) + 1859198{,}65\,]\lambda_{13} + [6{,}54(250)^2 - 1798{,}48(250) + 1859198{,}65\,]\lambda_{23} + [6{,}54(500)^2 - 1798{,}48(500) + 1859198{,}65\,]\lambda_{33} + [6{,}54(750)^2 - 1798{,}48(750) + 1859198{,}65\,]\lambda_{43} + [6{,}54(1000)^2 - 1798{,}48(1000) + 1859198{,}65\,]\lambda_{53} + [6{,}54(1250)^2 - 1798{,}48(1250) + 1859198{,}65\,]\lambda_{63} + [6{,}54(1500)^2 - 1798{,}48(1500) + 1859198{,}65\,]\lambda_{73} + [6{,}54(1750)^2 - 1798{,}48(1750) + 1859198{,}65\,]\lambda_{83} + [6{,}54(2000)^2 - 1798{,}48(2000) + 1859198{,}65\,]\lambda_{93} \\ &= 1859198{,}65\lambda_{13} + 1818328{,}65\lambda_{23} + 2594958{,}65\lambda_{33} + 4189088{,}65\lambda_{43} + 6600718{,}65\lambda_{53} + 9829848{,}65\lambda_{63} + 13876478{,}65\lambda_{73} + 18740608{,}65\lambda_{83} + 24422238{,}65\lambda_{93}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\hat{f}_4(x_4) &= \textstyle\sum_{v=1}^{9} \lambda_{v4} f_4(x_{v4}) \\ &= \lambda_{14} f(x_{14}) + \lambda_{24} f(x_{24}) + \lambda_{34} f(x_{34}) + \lambda_{44} f(x_{44}) + \lambda_{54} f(x_{54}) + \lambda_{64} f(x_{64}) + \lambda_{74} f(x_{74}) + \lambda_{84} f(x_{84}) + \lambda_{94}(x_{94}) \\ &= [7{,}38(0)^2 - 1913{,}43(0) + 2043492{,}28\,]\lambda_{14} + [7{,}38(250)^2 - 1913{,}43(250) + 2043492{,}28\,]\lambda_{24} + 7{,}38(500)^2 - 1913{,}43(500) + 2043492{,}28\,\lambda_{34} + [7{,}38(750)^2 - 1913{,}43(750) + 2043492{,}28\,\lambda_{44}] + [7{,}38(1000)^2 - 1913{,}43(1000) + 2043492{,}28]\lambda_{54} + [7{,}38(1250)^2 - 1913{,}43(1250) + 2043492{,}28]\lambda_{64} + [7{,}38(1500)^2 - 1913{,}43(1500) + 2043492{,}28]\lambda_{74} + [7{,}38(1750)^2 - 1913{,}43(1750) + 2043492{,}28]\lambda_{84} + [7{,}38(2000)^2 - 1913{,}43(2000) + 2043492{,}28]\lambda_{94} \\ &= 2043492{,}28\lambda_{14} + 2133663{,}28\lambda_{24} + 3552234{,}28\lambda_{34} + 6299205{,}28\lambda_{44} + 10374576{,}28\lambda_{54} + 15778347{,}28\lambda_{64} + 22510518{,}28\lambda_{74} + 30571089{,}28\lambda_{84} + 39960060{,}28\lambda_{94}\end{aligned}$$

Dengan fungsi kendala:

$$\hat{g}_{ij}(x_j) = \sum_{v=1}^{9} \lambda_{vj} g_{ij}(x_{vj}), \quad i = 1$$

$$\begin{aligned}\hat{g}_{11}(x_1) &= \textstyle\sum_{v=1}^{9} \lambda_{v1} g_{11}(x_{v1}) \\ &= x_{11}\lambda_{11} + x_{21}\lambda_{21} + x_{31}\lambda_{31} + x_{41}\lambda_{41} + x_{51}\lambda_{51} + x_{61}\lambda_{61} + x_{71}\lambda_{71} + x_{81}\lambda_{81} + x_{91}\lambda_{91} \\ &= 0\lambda_{11} + 250\lambda_{21} + 500\lambda_{31} + 750\lambda_{41} + 1000\lambda_{51} + 1250\lambda_{61} + 1500\lambda_{71} + 1750\lambda_{81} + 2000\lambda_{91}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\hat{g}_{12}(x_2) &= \textstyle\sum_{v=1}^{9} \lambda_{v2} g_{12}(x_{v2}) \\ &= x_{12}\lambda_{12} + x_{22}\lambda_{22} + x_{32}\lambda_{32} + x_{42}\lambda_{42} + x_{52}\lambda_{52} + x_{62}\lambda_{62} + x_{72}\lambda_{72} + x_{82}\lambda_{82} + x_{92}\lambda_{92} \\ &= 0\lambda_{12} + 250\lambda_{22} + 500\lambda_{32} + 750\lambda_{42} + 1000\lambda_{52} + 1250\lambda_{62} + 1500\lambda_{72} + 1750\lambda_{82} + 2000\lambda_{92}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\hat{g}_{13}(x_3) &= \textstyle\sum_{v=1}^{9} \lambda_{v3} g_{13}(x_{v3}) \\ &= x_{13}\lambda_{13} + x_{23}\lambda_{23} + x_{33}\lambda_{33} + x_{43}\lambda_{43} + x_{53}\lambda_{53} + x_{63}\lambda_{63} + x_{73}\lambda_{73} + x_{83}\lambda_{83} + x_{93}\lambda_{93} \\ &= 0\lambda_{13} + 250\lambda_{23} + 500\lambda_{33} + 750\lambda_{43} + 1000\lambda_{53} + 1250\lambda_{63} + 1500\lambda_{73} + 1750\lambda_{83} + 2000\lambda_{93}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\hat{g}_{14}(x_2) &= \textstyle\sum_{v=1}^{9} \lambda_{v4} g_{14}(x_{v4}) \\ &= x_{14}\lambda_{14} + x_{24}\lambda_{24} + x_{34}\lambda_{34} + x_{44}\lambda_{44} + x_{54}\lambda_{54} + x_{64}\lambda_{64} + x_{74}\lambda_{74} + x_{84}\lambda_{84} + x_{94}\lambda_{94} \\ &= 0\lambda_{14} + 250\lambda_{24} + 500\lambda_{34} + 750\lambda_{44} + 1000\lambda_{54} + 1250\lambda_{64} + 1500\lambda_{74} + 1750\lambda_{84} + 2000\lambda_{94}\end{aligned}$$

$\sum_{v=1}^{9} \lambda_{vj} = 1$, untuk $j = 1{,}2{,}3{,}4$

$\lambda_{11} + \lambda_{21} + \lambda_{31} + \lambda_{41} + \lambda_{51} + \lambda_{61} + \lambda_{71} + \lambda_{81} + \lambda_{91} = 1$

$\lambda_{12} + \lambda_{22} + \lambda_{32} + \lambda_{42} + \lambda_{52} + \lambda_{62} + \lambda_{72} + \lambda_{82} + \lambda_{92} = 1$

$\lambda_{13} + \lambda_{23} + \lambda_{33} + \lambda_{43} + \lambda_{53} + \lambda_{63} + \lambda_{73} + \lambda_{83} + \lambda_{93} = 1$

$\lambda_{14} + \lambda_{24} + \lambda_{34} + \lambda_{44} + \lambda_{54} + \lambda_{64} + \lambda_{74} + \lambda_{84} + \lambda_{94} = 1$

$\lambda_{v1}, \lambda_{v2}, \lambda_{v3}, \lambda_{v4} \geq 0$ untuk $v = 1{,}2, \ldots{,}9$

dengan x_j

$x_j = \sum_{v=1}^{9} \lambda_{vj}(x_{vj})$, untuk $j = 1{,}2{,}3{,}4$

Published by: Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM)
Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Indonesia

Sehingga x_j yang diperoleh

$$x_1 = 0\lambda_{11} + 250\lambda_{21} + 500\lambda_{31} + 750\lambda_{41} + 1000\lambda_{51} + 1250\lambda_{61} + 1500\lambda_{71} + 1750\lambda_{81} + 2000\lambda_{91}$$

$$x_2 = 0\lambda_{12} + 250\lambda_{22} + 500\lambda_{32} + 750\lambda_{42} + 1000\lambda_{52} + 1250\lambda_{62} + 1500\lambda_{72} + 1750\lambda_{82} + 2000\lambda_{92}$$

$$x_3 = 0\lambda_{13} + 250\lambda_{23} + 500\lambda_{33} + 750\lambda_{43} + 1000\lambda_{53} + 1250\lambda_{63} + 1500\lambda_{73} + 1750\lambda_{83} + 2000\lambda_{93}$$

$$x_4 = 0\lambda_{14} + 250\lambda_{24} + 500\lambda_{34} + 750\lambda_{44} + 1000\lambda_{54} + 1250\lambda_{64} + 1500\lambda_{74} + 1750\lambda_{84} + 2000\lambda_{94}$$

Pembentukan Masalah LAP (*Linier Approximating Problem*)

Masalah LAP dibentuk untuk mendapatkan tujuan akhir dari metode *separable programming*, Adapun masalah LAP yang terbentuk sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Z &= \textstyle\sum_{j=1}^{4}\sum_{v=1}^{9} f_j(x_{vj})\lambda_{vj} \\ &= [\lambda_{11}f_1(x_{11}) + \cdots + \lambda_{91}f_1(x_{91})] + [\lambda_{12}f_2(x_{12}) + \cdots + \lambda_{92}f_2(x_{92})] + [\lambda_{13}f_3(x_{13}) + \cdots + \lambda_{93}f_3(x_{93})] + [\lambda_{14}f_4(x_{14}) + \cdots + \lambda_{94}f_4(x_{94})] \\ &= [3960397{,}09\lambda_{11} + 2768552{,}09\lambda_{21} + 3041707{,}09\lambda_{31} + 6704207{,}09\lambda_{41} + 9907362{,}09\lambda_{51} + 14575517{,}09\lambda_{61} + 18784327{,}09\lambda_{71} + 26382482{,}09\lambda_{81} + 35445637{,}09\lambda_{91}] \\ &+ [2624474{,}27\lambda_{12} + 2078649{,}27\lambda_{22} + 2674074{,}27\lambda_{32} + 5527199{,}27\lambda_{42} + 7288674{,}27\lambda_{52} + 11307849{,}27\lambda_{62} + 16468274{,}27\lambda_{72} + 22769949{,}27\lambda_{82} + 30212874{,}27\lambda_{92}] \\ &+ [1859198{,}65\lambda_{13} + 1818328{,}65\lambda_{23} + 2594958{,}65\lambda_{33} + 4189088{,}65\lambda_{43} + 6600718{,}65\lambda_{53} + 9829848{,}65\lambda_{63} + 13876478{,}65\lambda_{73} + 18740608{,}65\lambda_{83} + 24422238{,}65\lambda_{93}] \\ &+ [2043492{,}28\lambda_{14} + 2133663{,}28\lambda_{24} + 3552234{,}28\lambda_{34} + 6299205{,}28\lambda_{44} + 10374576{,}28\lambda_{54} + 15778347{,}28\lambda_{64} + 22510518{,}28\lambda_{74} + 30571089{,}28\lambda_{84} + 39960060{,}28\lambda_{94}] \end{aligned}$$

Dengan kendala:

$$\begin{aligned} \textstyle\sum_{j=1}^{4}\sum_{v=1}^{11} g_{ij}(x_{vj})\lambda_{vj} = {} & [0\lambda_{11} + 250\lambda_{21} + 500\lambda_{31} + 750\lambda_{41} + 1000\lambda_{51} + 1250\lambda_{61} + 1500\lambda_{71} + 1750\lambda_{81} + 2000\lambda_{91}] \\ & + [0\lambda_{12} + 250\lambda_{22} + 500\lambda_{32} + 750\lambda_{42} + 1000\lambda_{52} + 1250\lambda_{62} + 1500\lambda_{72} + 1750\lambda_{82} + 2000\lambda_{92}] \\ & + [0\lambda_{13} + 250\lambda_{23} + 500\lambda_{33} + 750\lambda_{43} + 1000\lambda_{53} + 1250\lambda_{63} + 1500\lambda_{73} + 1750\lambda_{83} + 2000\lambda_{93}] \\ & + [0\lambda_{14} + 250\lambda_{24} + 500\lambda_{34} + 750\lambda_{44} + 1000\lambda_{54} + 1250\lambda_{64} + 1500\lambda_{74} + 1750\lambda_{84} + 2000\lambda_{94}] \end{aligned}$$

$$\lambda_{11} + \lambda_{21} + \lambda_{31} + \lambda_{41} + \lambda_{51} + \lambda_{61} + \lambda_{71} + \lambda_{81} + \lambda_{91} = 1$$

$$\lambda_{12} + \lambda_{22} + \lambda_{32} + \lambda_{42} + \lambda_{52} + \lambda_{62} + \lambda_{72} + \lambda_{82} + \lambda_{92} = 1$$

$$\lambda_{13} + \lambda_{23} + \lambda_{33} + \lambda_{43} + \lambda_{53} + \lambda_{63} + \lambda_{73} + \lambda_{83} + \lambda_{93} = 1$$

$$\lambda_{14} + \lambda_{24} + \lambda_{34} + \lambda_{44} + \lambda_{54} + \lambda_{64} + \lambda_{74} + \lambda_{84} + \lambda_{94} = 1$$

$$\lambda_{vj} \geq 0 \text{ untuk } v = 1, 2, \dots, 9 \text{ dan } j = 1, 2, 3, 4$$

Fungsi tujuan dan kendala dari masalah LAP dilakukan perhitungan menggunakan algoritma genetika untuk mendapatkan nilai λ.

Perhitungan dengan algoritma genetika

a. Pengkodean fungsi *fitness*
   Pengkodean fungsi *fitness* dilakukan dengan pendefinisian fungsi tujuan permasalahan LAP [9].
b. Pengkodean fungsi kendala
   Pengkodean fungsi kendala dilakukan dengan mendefinisikan kendala pada permasalahan LAP [10].
c. Minimasi dengan algoritma genetika

Berdasarkan perhitungan dengan algoritma genetika menggunakan bantuan aplikasi matematika diperoleh hasil dari masing-masing variabel $\lambda_{11}, \lambda_{12}, \lambda_{13}, \dots, \lambda_{94}$, dimana hasil tersebut disajikan sebagai berikut:

```
Columns 1 through 6

  0.6667         0         0    0.3333         0         0

Columns 7 through 12

       0         0         0         0         0         0

Columns 13 through 18

  1.0000         0         0         0         0         0

Columns 19 through 24

       0         0    1.0000         0         0         0

Columns 25 through 30

       0         0         0         0         0    1.0000

Columns 31 through 36

       0         0         0         0         0         0
```

Original Article

Gambar 1. Hasil penyelesaian masalah LAP menggunakan bantuan aplikasi matematika.

Hasil yang diperoleh disubstitusikan ke kendala pada masalah LAP untuk memperoleh nilai x_1, x_2, x_3, dan x_4.

$$\begin{aligned} x_1 &= 0\lambda_{11} + 250\lambda_{21} + 500\lambda_{31} + 7500\lambda_{41} + 1000\lambda_{51} + \\ &\quad 1250\lambda_{61} + 1500\lambda_{71} + 1750\lambda_{81} + 2000\lambda_{91} \\ &= 0(0{,}6667) + 250(0) + 500(0) + 750(0{,}333) + \\ &\quad 1000(0) + 1250(0) + 1500(0) + 1750(0) + \\ &\quad 2000(0) \\ &= 249{,}975 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_2 &= 0\lambda_{12} + 250\lambda_{22} + 500\lambda_{32} + 750\lambda_{42} + 1000\lambda_{52} + \\ &\quad 1250\lambda_{62} + 1500\lambda_{72} + 1750\lambda_{82} + 2000\lambda_{92} \\ &= 0(0) + 250(0) + 500(0) + 750(1) + 1000(0) + \\ &\quad 1250(0) + 1500(0) + 1750(0) + 2000(0) \\ &= 750 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_3 &= 0\lambda_{13} + 250\lambda_{23} + 500\lambda_{33} + 750\lambda_{43} + 1000\lambda_{53} + \\ &\quad 1250\lambda_{63} + 1500\lambda_{73} + 1750\lambda_{83} + 2000\lambda_{93} \\ &= 0(0) + 250(0) + 500(1) + 750(0) + 1000(0) + \\ &\quad 1250(0) + 1500(0) + 1750(0) + 2000(0) \\ &= 500 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} x_4 &= 0\lambda_{14} + 250\lambda_{24} + 500\lambda_{34} + 750\lambda_{44} + 1000\lambda_{54} + \\ &\quad 1250\lambda_{64} + 1500\lambda_{74} + 1750\lambda_{84} + 2000\lambda_{94} \\ &= 0(0) + 250(0) + 500(1) + 750(0) + 1000(0) + \\ &\quad 1250(0) + 1500(0) + 1750(0) + 2000(0) \\ &= 500 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil diatas, didapat nilai $x_1 = 249{,}975$, $x_2 = 750$, $x_3 = 500$ dan $x_4 = 500$. Selanjutnya dilakukan pembulatan sehingga nilai $x_1 = 250, x_2 = 750, x_3 = 500$ dan $x_4 = 500$.

Biaya produksi yang harus dikeluarkan dapat dihitung dengan mensubstitusikan nilai x_1, x_2, x_3 dan x_4 ke persamaan

$$\begin{aligned} Z &= 11{,}72x_1^2 - 7697{,}38x_1 + 9{,}13x_2^2 - 4465{,}8x_2 + \\ &\quad 6{,}54x_3^2 - 1798{,}48x_3 + 7{,}38x_4^2 - 1913{,}43x_4 + \\ &\quad 10487562{,}29 \\ &= 11{,}72(250)^2 - 7697{,}38(250) + 9{,}13(750)^2 - \\ &\quad 4465{,}8(750) + 6{,}54(500)^2 - 1798{,}48(500) + \\ &\quad 7{,}38(500)^2 - 1913{,}43(500) + 10487562{,}29 \\ &= 12706037{,}29 \end{aligned}$$

3.3. Penyelesaian Model Nonlinier dengan Algoritma Genetika

Pengkodean fungsi *fitness*

Pengkodean fungsi *fitness* dilakukan dengan mendefinisikan fungsi tujuan nonlinier.

Pengkodean fungsi kendala

Pengkodean fungsi kendala dilakukan dengan mendefinisikan kendala

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 2000$$

Minimasi dengan algoritma genetika

Minimasi dengan algoritma genetika dilakukan dengan menetapkan probabilitas *crossover* (P_c) sebesar 0,8 dan probabilitas mutasi (P_m) sebesar 0,01 [8]. Berdasarkan perhitungan dengan algoritma genetika diperoleh hasil sebagai berikut:

```
x =

  533.1767   507.4579   504.5002   454.8652


fval =

   1.1214e+07
```

Gambar 2. Hasil menggunakan metode Algoritma Genetika dengan bantuan aplikasi matematika

Nilai yang diperoleh disubstitusikan ke fungsi tujuan untuk memperoleh biaya produksi minimum.

$$\begin{aligned} f(x_1, x_2, x_3, x_4) &= 11{,}72x_1^2 - 7697{,}38x_1 + 9{,}13x_2^2 - \\ &\quad 4465{,}8x_2 + 6{,}54x_3^2 - 1798{,}48x_3 + \\ &\quad 7{,}38x_4^2 - 1913{,}43x_4 + \\ &\quad 10487562{,}29 \\ &= 11{,}72(533)^2 - 7697{,}38(533) + \\ &\quad 9{,}13(507)^2 - 4465{,}8(507) + \\ &\quad 6{,}54(505)^2 - 1798{,}48(505) + \\ &\quad 7{,}38(455)^2 - 1913{,}43(455) + \\ &\quad 10487562{,}29 \\ &= 11213943{,}55 \end{aligned}$$

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penyelesaian menggunakan metode algoritma genetika dengan model dibentuk menggunakan metode *separable programming* diperoleh biaya produksi untuk Lanting Bumbu An-Nisa adalah sebesar Rp12.706.037,29 dengan memproduksi lanting rasa bawang (x_1) sebanyak 250, lanting rasa keju (x_2) sebanyak 750, lanting rasa pedas manis (x_3) sebanyak 500, dan lanting rasa jagung (x_4) sebanyak 500 kemasan. Sedangkan penyelesaian masalah nonlinier menggunakan metode algoritma genetika menghasilkan biaya produksi untuk Lanting Bumbu An-Nisa adalah sebesar Rp 11.213.943,55 dengan

Published by: Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM)
Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Indonesia

memproduksi lanting rasa bawang (x_1) sebanyak 533, lanting rasa keju (x_2) sebanyak 507, lanting rasa pedas manis (x_3) sebanyak 505 dan lanting rasa jagung (x_4) sebanyak 455 kemasan. Hasil penerapan metode algortima genetika menggunakan *separable programing* dan algoritma genetika tersebut menghasilkan selisih biaya sebesar Rp 1.492.093,74.

Konflik Kepentingan

Tidak ada konflik kepentingan yang dinyatakan.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada Departemen Matematika USK untuk penyediaan fasilitas penelitian.

Referensi

[1] Bazaraa, M. S., Sherali, H. D., & Shetty, C. M., Nonlinear Programming Theory and Algorithms, 3th edition. New Jersey: John Wiley & Sons Inc, 2006.

[2] Indriana, A. “Penyelesaian Model Nonlinear ggunakan Separable Programming dengan Algoritma Genetika pada Produksi Tempe”. Tugas Akhir, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta, 2016.

[3] Arindita, T., Mashuri, M., & Veronika, R. B, “Pemrograman Non Linear dengan Pendekatan Separable Programming dan Lagrange Multiplier dalam Penetapan Biaya Produksi Optimal Lanting di Lanting Bumbu An-Nisa,” Indonesian Journal of Mathematics and Natural Sciences, vol. 45, no. 1, 9-19, 2022.

[4] Malensang, J. S., Komalig, H., & Hatidja, D. “Pengembangan Model Regresi Polinomial Berganda pada Kasus Data Pemasaran.” Jurnal Ilmiah Sains, vol. I2, no. 2, 149-152, 2013.S. M. Hemmingsen, Soft Science. Saskatoon: University of Saskatchewan Press, 1997

[5] Indrianingsih, Y. “Algoritma Genetika untuk Menyelesaikan Masalah Optimasi Fungsi Berkendala dengan Pengkodean Bilangan Bulat,” Jurnal Teknik Informatika, vol. 2, no. 1, 2010.

[6] Entin, Kecerdasan Buatan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November, 2011

[7] Kusumadewi, S., & Purnomo, H., Penyelesaian Masalah Optimasi dengan Teknik-teknik Heuristik, Yogyakarta: Graha Ilmu, 2006.

[8] Salman, R. (2023). A, Analisis Pengaruh Probabilitas Crossover Terhadap Kinerja Algoritma Genetika Dalam Optimasi Penjadwalan Matakuliah. Jurnal Teknoif Teknik Informatika Institut Teknologi Padang, 11(2), 69-74.

[9] Fajarlestari, M. K., & Suban, I. B. (2023). Kombinasi Crossover dan Mutasi Terbaik pada Algoritma Genetika dalam Penjadwalan Mata Kuliah. Techno. Com, 22(4), 843-853.

[10] Mubarok, A. Y., & Chotijah, U. (2021). Penerapan Algoritma Genetika Untuk Mencari Optimasi Kombinasi Jalur Terpendek Dalam Kasus Travelling Salesman Problem. *Jurnal Teknologi Terpadu*, *7*(2), 77-82.