

OPTIMASI BIAYA DISTRIBUSI BERAS SEJAHTERA PERUM BULOG DIVRE SUMATERA BARAT DENGAN *IMPROVED VOGEL'S APPROXIMATION METHOD*

SUSILA BAHRI*, ARIEF FARHAN KARIMI, AHMAD IQBAL BAQI

*Program Studi S1 Matematika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Andalas,
Kampus UNAND Limau Manis Padang, Indonesia.
email : susilabahri@sci.unand.ac.id, arieffarhan2000@gmail.com, baqi@sci.unand.ac.id*

Diterima 8 Agustus 2022 Direvisi 30 Mei 2024 Dipublikasikan 31 Juli 2024

Abstrak. Perusahaan Umum Badan Urusan Logistik Divisi Regional Sumatera Barat (Perum Bulog Divre Sumatera Barat) adalah perusahaan yang ditunjuk untuk mendistribusikan beras sejahtera ke berbagai daerah demi memenuhi kebutuhan pokok penduduk Sumatera Barat. Untuk meminimumkan biaya, dibutuhkan perencanaan matang sehingga biaya distribusi yang dikeluarkan Perum menjadi optimal. Untuk menyelesaikan masalah transportasi pendistribusian kebutuhan pokok tersebut, digunakan *Improved Vogels Approximation Method* (IVAM). Selanjutnya, uji optimalisasi biaya dilakukan dengan menggunakan *Modified Distribution Method* (MODI). Penelitian ini menghasilkan biaya distribusi adalah Rp 124.149.070 sedangkan biaya pengeluaran tanpa penggunaan metode dihasilkan sebesar Rp 126.259.188. Oleh karena itu, terdapat penghematan sebesar Rp 2.001.938.

Kata Kunci: Masalah Transportasi, Program Linier *Improved Vogels Approximation Method* (IVAM), *Modified Distribution Method*

Abstract. *The Public Company of the Logistics Affairs Agency of the West Sumatra Regional Division (Perum Bulog Divre West Sumatra) is a company that handles the basic needs of residents, by distributing prosperous rice to various regions in West Sumatra, namely in Padang Pariaman Regency, Mentawai Islands Regency, South Coast Regency, Pariaman City, and Padang City. A significant cost is required for the distribution of Prosperous Rice. To minimize these costs, one must carefully plan so that the distribution costs incurred by Perum are optimal. Therefore, to solve the transportation problem in the distribution of Prosperous Rice of Perum Bulog Divre West Sumatra, Improved Vogel's Approximation Method (IVAM) was used. Then, to test the cost optimization obtained, Modified Distribution Method (MODI) was used. The study results show that the distribution cost generated is Rp 124,149,070, while the cost incurred without using the method is obtained at Rp 126,259,188. Thus, there is an optimization of savings of Rp 2,001,938.*

Keywords: Linear Programs, Transportation Problems, *Improved Vogel's Approximation Method* (IVAM), *Modified Distribution Method*

*Penulis korespondensi

1. Pendahuluan

Perum Umum Badan Usaha Logistik (Perum Bulog) merupakan perusahaan negara yang menangani kebutuhan pokok penduduk Indonesia. Salah satu tugas perum ini adalah melakukan pendistribusian Beras Sejahtera yang berguna untuk meningkatkan kebutuhan pangan dan perlindungan sosial kepada keluarga kurang mampu. Pendistribusian dilakukan dari Gudang Beras Bulog (GBB) ke seluruh daerah di kabupaten (kota) [1]. Perum Bulog Divisi Regional (Divre) Sumatera Barat adalah sebagai penanggung jawab pelaksana program pendistribusian Beras Sejahtera ke wilayah Pesisir Selatan, Kepulauan Mentawai dan Padang Pariaman [2]. Dalam pendistribusian tersebut dibutuhkan biaya besar. Karenanya perlu ada rencana yang matang agar biaya distribusi optimal. Masalah ini dapat digolongkan sebagai masalah transportasi.

Secara umum, masalah transportasi adalah masalah pendistribusian barang dari sejumlah sumber ke beberapa tujuan agar biaya pengiriman minimal [3]. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk menemukan biaya distribusi minimal yaitu *North West Corner Method* (NWCM), *Minimum Cost Method* (MCM), *Vogels Approximation method* (VAM) [4]. Selain metode tersebut ada metode pengembangan dari VAM yaitu *Improved Vogels Approximation Method* (IVAM) [5].

Beberapa penelitian tentang masalah transportasi di antaranya adalah penelitian yang menguji dua metode VAM dan IVAM [5]. Pada penelitian tersebut diperoleh solusi awal IVAM lebih efisien dari solusi awal VAM. Selanjutnya, [6] mengusulkan beberapa metode untuk mendapatkan solusi masalah transportasi tak seimbang. Metode-metode tersebut menghasilkan solusi yang sama dengan VAM dan MCM sehingga kedua metode itu dapat menjadi metode alternatif untuk memperoleh biaya minimum masalah transportasi. Kemudian, [7] mengkonstruksi metode baru, yaitu *Modified Vogels approximation method* yang merupakan hasil modifikasi dari metode VAM. Untuk masalah transportasi ukuran besar metode ini lebih efisien.

Pada penelitian ini biaya pendistribusian Beras Sejahtera dikaji untuk mendapatkan biaya minimum dengan menggunakan metode *Improved Vogel's Approximation Method* (IVAM). Pada tahap akhir, untuk penentuan apakah biaya sudah optimal atau belum, digunakan *Modified Distribution Method* (MODI).

2. Landasan Teori

2.1. Masalah Transportasi

Masalah transportasi adalah masalah pendistribusian barang dari sejumlah sumber ke sejumlah tujuan untuk meminimumkan biaya distribusi yang dikeluarkan. Pada [3] diberikan ciri dari permasalahan transportasi:

- (1) Adanya sumber dan tujuan.
- (2) Terdapat kuantitas pada barang yang didistribusikan dari sumber ke tujuan.
- (3) Kesesuaian permintaan dan kapasitas sumber dengan kuantitas barang yang dikirim.
- (4) Terdapat biaya transportasi dari sumber ke tujuan.

2.2. Model Matematika Masalah Transportasi

Secara umum, model matematika masalah transportasi adalah:

Fungsi tujuan:

Minimumkan

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij}x_{ij} = c_{1,1}x_{1,1} + c_{1,2}x_{1,2} + \cdots + c_{m,n}x_{m,n}, \quad (2.1)$$

kendala:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq S_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (2.2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq D_j, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (2.3)$$

Keterangan:

c_{ij} : biaya transportasi per unit barang dari sumber i ke tujuan j ,

x_{ij} : jumlah barang yang didistribusikan dari sumber i ke tujuan j ,

S_i : jumlah penawaran barang dari sumber i ,

D_j : jumlah permintaan barang oleh tujuan.

Bentuk umum tabel transportasi dinyatakan pada Gambar 1 [4].

Ke Dari		Tujuan						Supply
		1	2	...	j	...	n	
Sumber	1	c_{11} x_{11}	c_{12} x_{12}	...	c_{1j} x_{1j}	...	c_{1n} x_{1n}	S_1
	2	c_{21} x_{21}	c_{22} x_{22}	...	c_{2j} x_{2j}	...	c_{2n} x_{2n}	S_2
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$
	i	c_{i1} x_{i1}	c_{i2} x_{i2}	...	c_{ij} x_{ij}	...	c_{in} x_{in}	S_i
	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$		$\vdots$		$\vdots$	$\vdots$
	m	c_{m1} x_{m1}	c_{m2} x_{m2}	...	c_{mj} x_{mj}	...	c_{mn} x_{mn}	S_m
Demand		D_1	D_2		D_j		D_m	$\sum S_i = \sum D_j$

Gambar 1. [4] Tabel Transportasi

Dalam masalah transportasi tak seimbang, jumlah penawaran *supply* tidak selalu sama dengan jumlah permintaan *demand*. Masalah transportasi dapat dibuat seimbang dengan memasukkan kolom *dummy* atau baris *dummy* [8]. Terdapat dua kemungkinan yang mungkin terjadi pada masalah transportasi tidak seimbang yaitu:

- (1) Jika penawaran lebih besar dari permintaan, $\sum_{i=1}^m S_i > \sum_{j=1}^n D_j$, maka masalah ini dapat diselesaikan dengan menambahkan *dummy* pada kolom (tujuan) untuk menambah kekurangan dari permintaan sebesar $\sum_{i=1}^m S_i - \sum_{j=1}^n D_j = k_j$.
- (2) Jika penawaran lebih kecil dari permintaan, $\sum_{i=1}^m S_i < \sum_{j=1}^n D_j$, masalah ini dapat diselesaikan dengan menambahkan *dummy* pada baris (sumber) untuk menambah kekurangan dari penawaran sebesar $\sum_{i=1}^m S_i - \sum_{j=1}^n D_j = k_i$.

2.3. Improved Vogel's Approximation Method

Improved Vogel's Approximation Method (IVAM) adalah metode yang menambahkan langkah-langkah pada metode VAM dengan langkah perhitungan *Total Opportunity Cost* (TOC). TOC didapatkan dari penjumlahan antara *Row Opportunity Cost* (ROC) dan *Column Opportunity Cost* (COC). ROC adalah nilai yang dihasilkan dari pengurangan tiap baris dengan nilai terkecil pada baris tersebut. Nilai COC diperoleh dari pengurangan tiap kolom dengan nilai terkecil pada kolom tersebut [5].

Langkah-langkah menghitung solusi layak dasar dengan IVAM :

- (1) Bentuk tabel transportasi dari masalah transportasi.
- (2) Pastikan masalah transportasinya merupakan masalah transportasi seimbang. Masalah transportasi dinamakan seimbang bila jumlah penawaran sama dengan jumlah permintaan:

$$\sum_{i=1}^m S_i = \sum_{j=1}^n D_j. \quad (2.4)$$

- (3) Hitung *Row Opportunity Cost* (ROC) dengan cara melihat nilai biaya distribusi terendah pada suatu baris. Kurangi nilai distribusi tiap kotak pada baris dengan nilai distribusi terendah.
- (4) Hitung *Column Opportunity Cost* (COC) dengan cara melihat nilai biaya distribusi terendah pada suatu kolom. Kurangi nilai distribusi tiap kotak pada kolom dengan nilai distribusi terendah.
- (5) Menghitung nilai *Total Opportunity Cost* (TOC) dimana $TOC = COC + ROC$ dan nyatakan TOC dalam bentuk matriks.
- (6) Hitung selisih biaya terendah dengan biaya terendah berikutnya untuk setiap baris dan kolom pada matriks TOC.
- (7) Pilih tiga selisih biaya dengan nilai terbesar dan alokasikan jumlah produk ke sel yang memiliki biaya terendah pada ketiga baris atau kolom yang dipilih. Jika nilainya yang sama maka pilih secara sebarang. Dalam mengalokasikan jumlah produk ke dalam tiga baris atau kolom yang terpilih, alokasikan jumlah produk ke baris atau kolom dengan selisih biaya terbesar diantara tiga selisih biaya itu dan kemudian alokasikan jumlah produk tersebut sesuai dengan permintaan dan penawaran yang paling minimum, yang ada pada baris atau kolom terpilih.
- (8) Baris atau kolom yang sudah diisi jumlah produk tidak digunakan lagi dalam perhitungan selisih biaya berikutnya.

- (9) Ulangi langkah (4) hingga langkah (6), sehingga semua kotak pada baris dan kolom teralokasi.
- (10) Setelah setiap sel terisi hitung total biaya distribusi minimum.

2.4. Metode Modified Distribution

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menentukan apakah solusi layak dasar dari suatu masalah transportasi telah optimal (memberikan biaya paling minimum) atau belum. Metode ini lebih efisien dari metode *Stepping Stone* apabila sumber dan tujuan berukuran besar [9]. Pada metode MODI terdapat persamaan berikut:

$$m_i + n_j = c_{ij},$$

dengan:

$$\begin{aligned} m_i &: \text{nilai tiap kotak baris ke } -i, \\ n_j &: \text{nilai tiap kotak kolom ke } -j, \\ c_{ij} &: \text{biaya distribusi barang per unit } ij. \end{aligned}$$

Langkah-langkah metode MODI adalah:

- (1) Tentukan nilai m_i untuk tiap baris dan nilai-nilai n_j untuk tiap kolom dengan menggunakan $c_{ij} = m_i + n_j$ untuk setiap variabel basis dan tetapkan nilai $m_1 = 0$.
- (2) Hitung perubahan biaya (d_{ij}) untuk tiap variabel non basis dengan menggunakan formula $d_{ij} = c_{ij} - m_i - n_j$.
- (3) Bila hasil perhitungan nilai d_{ij} negatif, maka solusi belum optimal. Oleh karena itu dipilih x_{ij} dengan nilai d_{ij} negatif terbesar sebagai *entering variabel*.
- (4) Gambarkan jalur atau loop tertutup untuk x_{ij} yang dipilih dengan semua sudut loop memiliki nilai x_{ij} tidak sama dengan 0.
- (5) Tetapkan tanda plus dan minus pada x_{ij} di titik sudut jalur tertutup dengan tanda plus pada x_{ij} yang dipilih.
- (6) Pilih nilai x_{ij} betanda minus yang terkecil (x'_{ij}), tambahkan x'_{ij} ke semua x_{ij} di titik sudut jalur tertutup yang ditandai dengan tanda plus, dan kurangi dari x_{ij} yang ditandai dengan tanda minus.
- (7) Ulangi langkah pertama sampai $d_{ij} \geq 0$ [9].

3. Pembahasan

3.1. Data yang Digunakan

Data sekunder pada penelitian ini adalah data jumlah persediaan Beras Sejahtera pada bulan Mei 2019, data penyaluran Beras Sejahtera, data distribusi Beras Sejahtera per kg Beras Sejahtera di wilayah Kabupaten Padang Pariaman, Kota Pariaman dan Kabupaten Kepulauan Mentawai [2]. Persediaan Beras Sejahtera terletak di dua gudang yaitu : Rawang Timur dan Pampangan, sebagaimana terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Total Persediaan Beras Sejahtera

No	Nama Gudang	Lokasi	Total Persediaan Beras/kg
1	Rawang Timur (Ratim)	Padang	191.226
2	Pampangan	Padang	127.484
Total			318.710

sumber: Perum Bulog Sumbar, 2019

Beras Sejahtera akan didistribusikan ke beberapa Kecamatan yang ada di Kabupaten/Kota (Gambar 2), seperti di Kota Pariaman terdapat empat kecamatan, Kabupaten Padang Pariaman terdapat 17 kecamatan dan Kabupaten Kepulauan Mentawai terdapat sepuluh kecamatan, sehingga jumlah kecamatan yang didistribusikan Beras Sejahtera oleh Perum Bulog Divre Sumbar dari gudang Ratim dan gudang Pampangan adalah 31 kecamatan.

Berdasarkan Gambar 3, Biaya Distribusi Beras Sejahtera untuk Kabupaten Padang Pariaman dan Kota Pariaman adalah di antara Rp. 110 – Rp. 170 per kg, sedangkan biaya distribusi Beras Sejahtera untuk wilayah Kabupaten Kepulauan Mentawai adalah di antara Rp. 1000 – Rp. 1040 per kg.

3.2. Pengolahan Data

Substitusi data ke model matematika persamaan linier menghasilkan:

Minimumkan

$$Z = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{31} c_{ij} x_{ij},$$

dimana fungsi tujuannya adalah:

$$\begin{aligned} Z = & 150x_{1,1} + 145x_{1,2} + 150x_{1,3} + 150x_{1,4} + 135x_{1,5} + 140x_{1,6} + 117x_{1,7} + 165x_{1,8} + 125x_{1,9} \\ & + 167x_{1,10} + 139x_{1,11} + 130x_{1,12} + 143x_{1,13} + 142x_{1,14} + 121x_{1,15} + 162x_{1,16} + 151x_{1,17} \\ & + 125x_{1,18} + 157x_{1,19} + 151x_{1,20} + 140x_{1,21} + 1000x_{1,22} + 1020x_{1,23} + 1025x_{1,24} \\ & + 1010x_{1,25} + 1040x_{1,26} + 1040x_{1,27} + 1000x_{1,28} + 1010x_{1,29} + 1030x_{1,30} + 1030x_{1,31} \\ & + 152x_{2,1} + 150x_{2,2} + 152x_{2,3} + 152x_{2,4} + 140x_{2,5} + 118x_{2,6} + 116x_{2,7} + 140x_{2,8} + 125x_{2,9} \\ & + 137x_{2,10} + 139x_{2,11} + 150x_{2,12} + 113x_{2,13} + 112x_{2,14} + 141x_{2,15} + 132x_{2,16} + 121x_{2,17} \\ & + 135x_{2,18} + 147x_{2,19} + 131x_{2,20} + 140x_{2,21} + 1010x_{2,22} + 1015x_{2,23} + 1020x_{2,24} + 1000x_{2,25} \\ & + 1040x_{2,26} + 1035x_{2,27} + 1015x_{2,28} + 1000x_{2,29} + 1040x_{2,30} + 1040x_{2,31}. \end{aligned}$$

Fungsi kendalanya adalah:

- (1) Penawaran (Jumlah persediaan beras sejahtera):

$$\sum_{j=1}^{31} x_{ij} = 191.226 \quad ; i = 1 \quad (\text{untuk gudang Ratim})$$

$$\sum_{j=1}^{31} x_{ij} = 127.484 \quad ; i = 2 \quad (\text{untuk gudang Pampangan})$$
- (2) Permintaan (Jumlah beras yang disalurkan)

$$\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 9.840 \quad ; j = 1 \quad (\text{untuk Pariaman Utara})$$

Kabupaten/Kota	Kecamatan	Kode	Gudang		Total
			Ratim	Pampangan	
KOTA PARIAMAN	PARIAMAN UTARA	0101	5.904	3.936	9.840
	PARIAMAN SELATAN	0102	3.882	2.588	6.470
	PARIAMAN TIMUR	0103	4.182	2.788	6.970
	PARIAMAN TENGAH	0104	3.930	2.620	6.550
	TOTAL		17.898	11.932	29.830
KAB. PADANG PARIAMAN	2X11 ENAM LINGKUNG	0201	4.290	2.860	7.150
	2X11 KAYU TANAM	0202	8.364	5.576	13.940
	BATANG ANAI	0203	7.212	4.808	12.020
	BATANG GASAN	0204	5.142	3.428	8.570
	ENAM LINGKUNG	0205	5.892	3.928	9.820
	IV KOTO AUR MALINTANG	0206	9.090	6.060	15.150
	LUBUK ALUNG	0207	8.442	5.628	14.070
	NAN SABARIS	0208	6.156	4.104	10.260
	PADANG SAGO	0209	3.270	2.180	5.450
	PATAMUAN	0210	6.960	4.640	11.600
	SINTUK TB. GADANG	0211	6.114	4.076	10.190
	SUNGAI GERINGGING	0212	8.898	5.932	14.830
	SUNGAI LIMAU	0213	11.166	7.444	18.610
	ULAKAN TAPAKIS	0214	6.858	4.572	11.430
	V KOTO KP DALAM	0215	6.060	4.040	10.100
	V KOTO TIMUR	0216	4.476	2.984	7.460
	VII KOTO S SARIAK	0217	9.300	6.200	15.500
	TOTAL		117.690	78.460	196.150
KAB. KEP. MENTAWAI	SIBERUT TENGAH	0301	5.412	3.608	9.020
	SIBERUT SELATAN	0302	5.154	3.436	8.590
	SUBERUT BARAT DAYA	0303	5.730	3.820	9.550
	SIBERUT BARAT	0304	6.960	4.640	11.600
	SIBERUT UTARA	0305	4.086	2.724	6.810
	SIPORA SELATAN	0306	6.624	4.416	11.040
	SIPORA UTARA	0307	2.766	1.844	4.610
	SIKAKAP	0308	6.546	4.364	10.910
	PAGAI SELATAN	0309	8.568	5.712	14.280
	PAGAI UTARA	0310	3.792	2.528	6.320
	TOTAL		55.638	37.092	92.730
	TOTAL KESELURUHAN		191.226	127.484	318.710

Sumber : Perum Bulog Sumbar, 2019

Gambar 2. Data Penyaluran Beras Sejahtera dalam satuan kg beras

$$\begin{array}{ll}
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 6.470 & ; j = 2 \quad (\text{untuk Pariaman Selatan}) \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 6.970 & ; j = 3 \quad (\text{untuk Pariaman Timur}) \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 6.550 & ; j = 4 \quad (\text{untuk Pariaman Tengah}) \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 7.150 & ; j = 5 \quad (\text{untuk 2X11 Enam Lingkung}) \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 13.940 & ; j = 6 \quad (\text{untuk 2X11 Kayu Tanam}) \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 12.020 & ; j = 7 \quad (\text{untuk Batang Anai}) \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 8.570 & ; j = 8 \quad (\text{untuk Batang Gasan}) \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 9.820 & ; j = 9 \quad (\text{untuk Enam Lingkung}) \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 15.150 & ; j = 10 \quad (\text{untuk IV Koto Aur Malintang}) \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 14.070 & ; j = 11 \quad (\text{untuk Lubuk Alung})
\end{array}$$

Kabupaten/Kota	No Kec.	Kecamatan	Gudang		Jenis Armada
			Ratim	Pampangan	
KOTA PARIAMAN	1	PARIAMAN UTARA	150	152	TRUCK / CDD
	2	PARIAMAN SELATAN	145	150	
	3	PARIAMAN TIMUR	150	152	
	4	PARIAMAN TENGAH	150	152	
KAB. PADANG PARIAMAN	5	2X11 ENAM LINGKUNG	135	140	TRUCK / CDD
	6	2X11 KAYU TANAM	140	118	
	7	BATANG ANAI	117	116	
	8	BATANG GASAN	165	140	
	9	ENAM LINGKUNG	125	125	
	10	IV KOTO AUR MALINTANG	167	137	
	11	LUBUK ALUNG	139	139	
	12	NAN SABARIS	130	150	
	13	PADANG SAGO	143	113	
	14	PATAMUAN	142	112	
	15	SINTUK TB. GADANG	121	141	
	16	SUNGAI GERINGGING	162	132	
	17	SUNGAI LIMAU	151	121	
	18	ULAKAN TAPAKIS	125	135	
	19	V KOTO KP DALAM	157	147	
	20	V KOTO TIMUR	151	131	
	21	VII KOTO S SARIK	140	140	
KAB. KEP. MENTAWAI	22	SIBERUT TENGAH	1.000	1.010	KAPAL / CDD
	23	SIBERUT SELATAN	1.020	1.015	
	24	SIBERUT BARAT DAYA	1.025	1.020	
	25	SIBERUT BARAT	1.010	1.000	
	26	SIBERUT UTARA	1.040	1.040	
	27	SIPORA SELATAN	1.040	1.035	
	28	SIPORA UTARA	1.000	1.015	
	29	SIKAKAP	1.010	1.000	
	30	PAGAI SELATAN	1.030	1.040	
	31	PAGAI UTARA	1.030	1.040	

Sumber : Perum Bulog Sumbar, 2019

Gambar 3. Biaya Distribusi Beras Sejahtera Per Kg Beras Dalam Rupiah

$$\begin{array}{ll}
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 10.260 & ; j = 12 \text{ (untuk Nan Sabaris)} \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 5.450 & ; j = 13 \text{ (untuk Padang Sago)} \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 11.600 & ; j = 14 \text{ (untuk Patamuan)} \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 10.190 & ; j = 15 \text{ (untuk Sintuk TB. Gadang)} \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 14.830 & ; j = 16 \text{ (untuk Sungai Geringging)} \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 18.610 & ; j = 17 \text{ (untuk Sungai Limau)} \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 11.430 & ; j = 18 \text{ (untuk Ulakan Tapakis)} \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 10.100 & ; j = 19 \text{ (untuk V Koto Kp Dalam)} \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 7.460 & ; j = 20 \text{ (untuk V Koto Timur)} \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 15.500 & ; j = 21 \text{ (untuk VII Koto S. Sariak)} \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 9.020 & ; j = 22 \text{ (untuk Siberut Tengah)} \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 8.590 & ; j = 23 \text{ (untuk Siberut Selatan)} \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 9.550 & ; j = 24 \text{ (untuk Siberut Barat Daya)}
\end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 11.600 & ; j = 25 \quad (\text{untuk Siberut Barat}) \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 6.810 & ; j = 26 \quad (\text{untuk Siberut Utara}) \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 11.040 & ; j = 27 \quad (\text{untuk Sipora Selatan}) \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 4.610 & ; j = 28 \quad (\text{untuk Sipora Utara}) \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 10.910 & ; j = 29 \quad (\text{untuk Sikakap}) \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 14.280 & ; j = 30 \quad (\text{untuk Pagai Selatan}) \\
\sum_{i=1}^2 x_{ij} = 6.320 & ; j = 31 \quad (\text{untuk Pagai Utara})
\end{array}$$

Selanjutnya akan dicari solusi layak dasar dengan metode IVAM. Berikut adalah langkah langkahnya :

- (1) Bentuk tabel transportasi. Dengan menggunakan data, diperoleh tabel transportasi seperti pada Gambar 4.
- (2) Pastikan masalah transportasinya merupakan masalah transportasi seimbang $\sum_{i=1}^2 S_i = \sum_{j=1}^{31} D_j$
- (3) Hitung nilai *Total Opportunity Cost* (TOC). Pertama kali hitung *Row Opportunity Cost* (ROC). Pada Tabel 5, biaya distribusi terendah pada baris 1 adalah 117 dan baris 2 adalah 112. Kemudian, kurangkan tiap biaya distribusi pada setiap baris dengan biaya distribusi terendah pada baris tersebut. Selanjutnya tentukan *Column Opportunity Cost* (COC). Pada kolom 1 Tabel 5, biaya distribusi terendah adalah 150, pada kolom 2 biaya tersebut adalah 145, pada kolom 3 adalah 150, pada kolom 4 adalah 150, serta kolom 5 adalah 135, dan seterusnya. Kurangkan tiap biaya distribusi pada setiap kolom dengan biaya distribusi terendah pada kolom itu.

Kemudian jumlahkan hasil ROC dan COC sehingga diperoleh nilai TOC seperti berikut.

baris 1 kolom 1 = **33**, baris 1 kolom 2 = **28**, baris 1 kolom 3 = **33**,
baris 1 kolom 4 = **33**, baris 1 kolom 5 = **18**, baris 1 kolom 6 = **45**,
baris 1 kolom 7 = **1**, baris 1 kolom 8 = **73**, baris 1 kolom 9 = **8**,
baris 1 kolom 10 = **80**, baris 1 kolom 11 = **22**, baris 1 kolom 12 = **13**,
baris 1 kolom 13 = **56**, baris 1 kolom 14 = **55**, baris 1 kolom 15 = **4**,
baris 1 kolom 16 = **75**, baris 1 kolom 17 = **64**, baris 1 kolom 18 = **8**,
baris 1 kolom 19 = **50**, baris 1 kolom 20 = **54**, baris 1 kolom 21 = **23**,
baris 1 kolom 22 = **883**, baris 1 kolom 23 = **908**, baris 1 kolom 24 = **913**,
baris 1 kolom 25 = **903**, baris 1 kolom 26 = **923**, baris 1 kolom 27 = **928**,
baris 1 kolom 28 = **883**, baris 1 kolom 29 = **903**, baris 1 kolom 30 = **913**,
baris 1 kolom 31 = **913**,
baris 2 kolom 1 = **42**, baris 2 kolom 2 = **43**, baris 2 kolom 3 = **42**,
baris 2 kolom 4 = **42**, baris 2 kolom 5 = **33**, baris 2 kolom 6 = **6**,
baris 2 kolom 7 = **4**, baris 2 kolom 8 = **28**, baris 2 kolom 9 = **13**,
baris 2 kolom 10 = **25**, baris 2 kolom 11 = **27**, baris 2 kolom 12 = **58**,
baris 2 kolom 13 = **1**, baris 2 kolom 14 = **0**, baris 2 kolom 15 = **49**,
baris 2 kolom 16 = **20**, baris 2 kolom 17 = **9**, baris 2 kolom 18 = **33**,
baris 2 kolom 19 = **35**, baris 2 kolom 20 = **19**, baris 2 kolom 21 = **28**,
baris 2 kolom 22 = **908**, baris 2 kolom 23 = **903**, baris 2 kolom 24 = **908**,

Dari \ Ke		1	2	3	4	5	6	7
		0101	0102	0103	0104	0201	0202	0203
1	G. Ratim	150	145	150	150	135	140	117
2	G. Pampangan	152	150	152	152	140	118	116
Dj		9.840	6.470	6.970	6.550	7.150	13.940	12.020

8	9	10	11	12	13	14	15	16
0204	0205	0206	0207	0208	0209	0210	0211	0212
165	125	167	139	130	143	142	121	162
140	125	137	139	150	113	112	141	132
8.570	9.820	15.150	14.070	10.260	5.450	11.600	10.190	14.830

17	18	19	20	21	22	23	24	25
0213	0214	0215	0216	0217	0301	0302	0303	0304
151	125	157	151	140	1.000	1.020	1.025	1.010
121	135	147	131	140	1.010	1.015	1.020	1.000
18.610	11.430	10.100	7.460	15.500	9.020	8.590	9.550	11.600

26	27	28	29	30	31	Si
0305	0306	0307	0308	0309	0310	
1.040	1.040	1.000	1.010	1.030	1.030	191.226
1.040	1.035	1.015	1.000	1.040	1.040	127.484
6.810	11.040	4.610	10.910	14.280	6.320	318.710

Gambar 4. Tabel Transportasi

baris 2 kolom 25 = **888**, baris 2 kolom 26 = **928**, baris 2 kolom 27 = **923**,
 baris 2 kolom 28 = **918**, baris 2 kolom 29 = **888**, baris 2 kolom 30 = **938** dan
 baris 2 kolom 31 = **938**.

Dari nilai TOC tersebut, diperoleh matriks TOC ukuran 2×31 .

- (4) Menentukan selisih dari dua biaya terendah untuk tiap baris dan kolom yang sama.

Berdasarkan matriks TOC maka selisih dua biaya terendah pada setiap baris dan kolom adalah:

baris 1 = **3**, baris 2 = **1**, kolom 1 = **9**, kolom 2 = **15**, kolom 3 = **9**,

kolom 4 = **9**, kolom 5 = **15**, kolom 6 = **39**, kolom 7 = **3**, kolom 8 = **45**,
 kolom 9 = **5**, kolom 10 = **55**, kolom 11 = **5**, kolom 12 = **45**, kolom 13 = **55**,
 kolom 14 = **55**, kolom 15 = **45**, kolom 16 = **55**, kolom 17 = **55**,
 kolom 18 = **25**, kolom 19 = **15**, kolom 20 = **35**, kolom 21 = **5**, kolom 22 = **25**,
 kolom 23 = **5**, kolom 24 = **5**, kolom 25 = **15**, kolom 26 = **5**, kolom 27 = **5**,
 kolom 28 = **35**, kolom 29 = **15**, kolom 30 = **25**, kolom 31 = **25**.

Dari Langkah (4), selisih biaya terbesar yang pertama adalah 55. Oleh karena itu produk (beras) dialokasikan ke sel nilai terendah di kolom 10. Biaya terendah di kolom 10 yaitu 137. Karenanya, alokasikan produk pada sel itu sebanyak 15.150 ($\min\{15.150, 127.484\} = 15.150$). Kemudian, dihasilkan selisih biaya terbesar 45, dan alokasikan produk ke sel dengan biaya terendah pada kolom 8. Karena biaya terendah kolom 8 adalah 140 maka alokasikan produk pada sel itu sebanyak 8.570 ($\min\{8.570, 127.484\} = 8.570$). Selanjutnya, selisih biaya terbesar adalah 39. Karenanya, alokasikan produk ke sel dengan biaya terendah di kolom 6. Biaya terendah di kolom 6 yaitu 118, maka alokasikan produk pada sel itu sebanyak 13940 ($\min\{13.940, 127.484\} = 13.940$).

Kolom 6, kolom 8, dan kolom 10 telah terpenuhi pada pengalokasian tersebut karena telah sesuai dengan jumlah permintaan (D_j). Oleh karena itu, ketiga kolom tersebut tidak digunakan lagi dalam perhitungan selisih dua biaya terendah setelahnya. Selanjutnya ulangi langkah 3 hingga langkah 5. Akibatnya, dengan menggunakan IVAM pada iterasi 6 hasil akhir pengalokasian beras diperoleh dengan total biaya distribusi sebesar Rp 124.149.070.

Selanjutnya akan diperiksa apakah solusi dasar layak yang diperoleh sudah optimal atau belum. Pada penelitian ini penulis akan menggunakan metode *Modified Distribution Method* (MODI). Langkah untuk mendapatkan optimalitas solusi dasar layak dengan menggunakan MODI yaitu.

- (a) Tentukan nilai baris (m_i) dan kolom (n_j) untuk tiap variabel basis dengan menggunakan $c_{ij} = m_i + n_j$, dengan c_{ij} adalah biaya distribusi dan nilai m_1 ditetapkan adalah 0 ($m_1 = 0$).

$$c_{1,1} = m_1 + n_1,$$

$$150 = 0 + n_1,$$

$$n_1 = 150,$$

$$\vdots$$

$$c_{1,31} = m_1 + n_{31},$$

$$1030 = 0 + n_{31},$$

$$n_{31} = 1030,$$

Dari \ Ke	0101	0102	0103	0104	0201	0202	0203	0204
G. Ratim	150 9.840	145 6.470	150 6.970	150 6.550	135 7.150	140 0	117 12.020	165 0
G. Pampangan	152 0	150 0	152 0	152 0	140 0	118 13.940	116 0	140 8.570
Dj	9.840	6.470	6.970	6.550	7.150	13.940	12.020	8.570

0205	0206	0207	0208	0209	0210	0211	0212	0213
125 9.820	167 0	139 14.070	130 10.260	143 0	142 0	121 10.190	162 0	151 0
125 0	137 15.150	139 0	150 0	113 5.450	112 11.600	141 0	132 14.830	121 18.610
9.820	15.150	14.070	10.260	5.450	11.600	10.190	14.830	18.610

0214	0215	0216	0217	0301	0302	0303	0304	0305
125 11.430	157 0	151 0	140 15.500	1.000 9.020	1.020 8.590	1.025 9.550	1.010 0	1.040 6.810
135 0	147 10.100	131 7.460	140 0	1.010 0	1.015 0	1.020 0	1.000 11.600	1.040 0
11.430	10.100	7.460	15.500	9.020	8.590	9.550	11.600	6.810

0306	0307	0308	0309	0310	Si
1.040 11.040	1.000 4.610	1.010 736	1.030 14.280	1.030 6.320	191.226
1.035 0	1.015 0	1.000 10.174	1.040 0	1.040 0	127.484
11.040	4.610	10.910	14.280	6.320	318.710

Gambar 5. Hasil Akhir Solusi Layak Dasar

$$c_{2,29} = m_2 + n_{29},$$

$$1000 = m_2 + 1010,$$

$$m_2 = 1000 - 1010,$$

$$m_2 = -10,$$

$$c_{2,6} = m_2 + n_6,$$

$$118 = -10 + n_6,$$

$$n_6 = 128,$$

$$c_{2,8} = m_2 + n_8,$$

$$140 = -10 + n_8,$$

$$n_8 = 150,$$

$$\vdots$$

$$c_{2,25} = m_2 + n_{25}$$

$$1000 = -10 + n_{25},$$

$$n_{25} = 1010.$$

- (b) Kemudian hitung perubahan biaya d_{ij} untuk tiap variabel non basis dengan formula $d_{ij} = c_{ij} - m_i - n_j$.

$$\begin{aligned} d_{1,6} &= c_{1,6} - m_1 - n_6, \\ &= 140 - 0 - 128, \\ &= 12, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{1,8} &= c_{1,8} - m_1 - n_8, \\ &= 165 - 0 - 150, \\ &= 15, \end{aligned}$$

$$\vdots \quad \vdots$$

$$\begin{aligned} d_{1,25} &= c_{1,25} - m_1 - n_{25}, \\ &= 1010 - 0 - 1010, \\ &= 0, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{2,1} &= c_{2,1} - m_2 - n_1, \\ &= 152 - (-10) - 150, \\ &= 12, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{2,2} &= c_{2,2} - m_2 - n_2, \\ &= 150 - (-10) - 145, \\ &= 15, \end{aligned}$$

$$\vdots \quad \vdots$$

$$\begin{aligned} d_{2,31} &= c_{2,31} - m_1 - n_{31}, \\ &= 1040 - (-10) - 1030, \\ &= 20. \end{aligned}$$

Dari perhitungan perubahan biaya d_{ij} untuk setiap variabel non basis, diperoleh semua nilai $d_{ij} \geq 0$. Oleh karena itu, solusi optimal masalah transportasi telah diperoleh. Akibatnya, perhitungan biaya transportasi dengan metode IVAM juga optimal. Oleh karena itu, biaya optimal transportasi adalah Rp 124.149.070.

4. Kesimpulan

Biaya transportasi optimal yang dihasilkan dari perhitungan adalah sebesar Rp 124.149.070. Hasil perhitungan biaya transportasi distribusi Beras Sejahtera dengan metode IVAM ke Kabupaten Padang Pariaman, Kota Pariaman dan Kabupaten Kepulauan Mentawai telah mencapai optimal dan diperiksa keoptimalannya dengan metode MODI. Tanpa penggunaan metode solusi awal biaya yang dikeluarkan adalah Rp 126.259.188, sedangkan dengan metode IVAM biaya distribusi adalah Rp 124.149.070. Oleh karena itu, terjadi penghematan dan optimasi biaya sebanyak Rp 2.001.938.

5. Ucapan Terima kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Bapak Admi Nazra, Bapak Muhafzan, dan Bapak Narwen, yang memberikan saran pada artikel ini.

Daftar Pustaka

- [1] Bulog. Perum Bulog. <http://www.bulog.co.id/>, diakses pada tanggal 25 September 2021
- [2] Bulog Sumbar. Perum Bulog Divre Sumatera Barat
- [3] Siswanto, 2007, *Operation Research*, Erlangga, Jakarta
- [4] Simbolon, N., Situmorang, L.D., Napitupulu, M., 1991, Aplikasi Metode Transportasi dalam optimasi biaya distribusi beras miskin (raskin) pada PERUM Bulog sub drive Medan, *Saintia Mat* Vol. **2**: 299 – 311
- [5] Korukolu, S., Ball, S., 2011, An Improved Vogel's Approximation Method for The Transportation Problem, *Mathematical and Computational Application* Vol. **16**(2): 370 – 381
- [6] Agaie, B.G., Adamu, M.M., Yakubu, M., Isah, S., Ibrahim, A., 2020., An Improvement on Vogels Method to Feasible the Solution of Transportation Problem. *Kasu Journal Of Mathematical Sciences* Vol. **1**(2): 104 – 115
- [7] Wali Ullah, M., Alhaz Uddin, M., Kawser, R., 2016, A Modified Vogels Approximation Method for Obtaining a Good Primal Solution of Transportation Problems, *Annals of Pure and Applied Mathematics* Vol. **11**(1): 63 – 71
- [8] Wintson, W.L., 1991, *Operation Research : Application and Algorithms*, Fourth Edition, USA: Indiana University
- [9] Feriani, A., Mardiningsih, 2021, Analysis of Transportation Method in Optimization of Distribution Cost Using Stepping Stone Method and Modified Distribution, *Journal of Mathematics Technology and Education* Vol. **1**(1): 103 – 112