Jurnal PASTI (Penelitian dan Aplikasi Sistem dan Teknik Industri)
Vol. 20, No. 1, April 2026, 12-26
p-ISSN 2085-5869/ e-ISSN 2598-4853

Analisis Perbandingan Metode *North West Corner* (NWC), *Vogel*, *Least Cost*, dan *Particle Swarm Optimization* (PSO) pada Optimasi Distribusi Beras antar Provinsi di Indonesia

Mega Purnamasari[1*], Harisma Sujani[2], Arvita Emarilis Intani[3], Muhammad Ibrahim Ats-Tsuri[4], Hasyrani Windyatri[5]
[1,2,3,4,5)] Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Pelita Bangsa
[1,2,3,4,5)]Jl. Inspeksi Kalimalang, Tegal Danas, Kecamatan Cikarang Pusat, Kabupaten Bekasi, Jawa Barat 17530, Indonesia
Email: mega@pelitabangsa.ac.id[*], harisma@pelitabangsa.ac.id, arvita@pelitabangsa.ac.id, ibrahim.ats@pelitabangsa.ac.id, hasyrani@pelitabangsa.ac.id

(Diterima: 01-04-2026; Direvisi: 14-04-2026; Disetujui: 15-04-2026)

Abstrak

Indonesia pada tahun 2025 dihadapkan pada permasalahan distribusi beras yang lambat, yang berdampak pada kelangkaan beras premium serta menyebabkan kenaikan harga yang signifikan. Harga beras premium meningkat dari Rp 68.000 per 5 kg menjadi Rp 90.000–Rp130.000 per 5 kg. Meskipun stok beras di gudang BULOG melimpah, distribusi yang tidak optimal berpotensi menghambat ketahanan pangan, meningkatkan risiko kerusakan beras, serta menimbulkan kerugian negara. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menentukan alokasi distribusi beras optimal dari *supply area* ke *demand area* berdasarkan jarak terpendek guna meminimalkan total jarak pengiriman. Metode yang digunakan meliputi *North West Corner* (NWC), *Vogel Approximation Method* (VAM), *Least Cost*, dan *Particle Swarm Optimization* (PSO). Penelitian ini memiliki kontribusi akademik dengan menghubungkan pendekatan optimasi transportasi dengan kebijakan distribusi pangan nasional. Selain itu, kebaharuan penelitian ini terletak pada cakupan wilayah Indonesia secara nasional serta perbandingan empat metode optimasi dalam satu kerangka analisis. Hasil penelitian menunjukan bahwa metode *Vogel* merupakan solusi optimal dengan total jarak pengiriman 2.982.335,63 km ribu ton.

Kata kunci: Beras; Distribusi; *Supply*; *Demand*; Jarak

Abstract

In 2025, Indonesia faces challenges related to slow rice distribution, resulting in shortages of premium rice and significant price increases. The price of premium rice has risen from IDR 68,000 per 5 kg to IDR 90,000–130,000 per 5 kg. Although rice stocks in BULOG warehouses are abundant, suboptimal distribution may hinder food security, increase the risk of rice spoilage, and lead to national economic losses. Based on these issues, this study aims to determine the optimal allocation of rice distribution from supply areas to demand areas based on the shortest distance in order to minimize the total transportation distance. The methods used in this study include the North West Corner (NWC), Vogel Approximation Method (VAM), Least Cost, and Particle Swarm Optimization (PSO). This research contributes academically by linking transportation optimization approaches with national food distribution policies. Furthermore, the novelty of this study lies in its national-scale coverage across Indonesia and the comparative analysis of four optimization methods within a single framework. The results show that the Vogel method provides the optimal solution, with a total distribution distance of 2,982,335.63 km thousands of tons.

***Keywords*:** *Rice; Distribution; Supply; Demand; Distance*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Indonesia pada tahun 2025 menghadapi permasalahan kelangkaan beras di ritel modern, khususnya beras premium, yang menyebabkan lonjakan harga secara signifikan (Tesaloni, 2025). Sebagai upaya penanggulangan, pemerintah melalui program Stabilisasi Pasokan dan Harga Pangan (SPHP) menargetkan penyaluran 1,3 juta ton beras oleh BULOG pada periode Juli hingga Desember 2025 (Toto, 2025).

Aktualisasi dari proses distribusi SPHP tersebut masih jauh dari target. Pada bulan Agustus, penyaluran beras tercatat hanya mencapai 38.111 ton atau 2.94% dari total target sementara di bulan Agustus seharusnya distribusi beras telah mencapai 213.000 ton. Hal ini menunjukkan bahwa proses distribusi beras belum berjalan optimal.

Permasalahan di lapangan meliputi ketidaksesuaian antara daerah kebutuhan dan pasokan, keterlambatan distribusi, sistem alokasi berbasis kuota yang belum mempertimbangkan data *real time*, serta belum adanya analisis alokasi distribusi yang efisien. Kondisi ini berpotensi menimbulkan berbagai risiko, seperti kenaikan harga akibat ketidakseimbangan pasokan, penurunan kualitas beras selama penyimpanan, serta peningkatan biaya distribusi (Toto, 2025).

Penelitian-penelitian terdahulu telah menerapkan pendekatan klasik maupun metaheuristik dalam optimasi distribusi (Abera et al., 2025; Adegoke, 2025; Amiryousefi et al., 2026; Hejazi et al., 2026; Martínez et al., 2024). Namun perbandingan antara kedua pendekatan tersebut dalam optimasi distribusi beras skala Nasional belum tersedia. Oleh karena itu, diperlukan kajian lebih lanjut terkait analisis komparatif untuk menentukan metode terbaik dalam alokasi distribusi untuk meminimalkan total jarak yang ditempuh (Bahri et al., 2024; Nurhalimah et al., 2025; Putra et al., 2026; Saragih, 2022; Setiawan et al., 2025).

Terkait permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menentukan alokasi distribusi beras dari *supply area* menuju *demand area* berdasarkan jarak terpendek. Harapannya, optimasi alokasi ini dapat berdampak pada meminimumkan jarak dan biaya pengiriman, meminimumkan kerugian karena beras rusak, serta mencegah kenaikan harga di pasar karena kelangkaan. Penelitian ini memodelkan alokasi distribusi beras sebagai permasalahan transportasi dan menyelesaikannya dengan metode *North West Corner* (NWC), *Vogel Approximation Method* (VAM), *Least Cost*, dan *Particle Swarm Optimization* (PSO).

Metode transportasi klasik dibandingkan dengan metode *metaheuristic* untuk memberikan pengayaan informasi riset akademik berkelanjutan. Di sisi lain, hasil penelitian ini harapannya dapat menjadi dasar pengembangan model distribusi pangan nasional yang lebih efisien berbasis pendekatan optimasi, sehingga menjembatani kesenjangan antara teori optimasi transportasi dan implementasi kebijakan logistik pangan.

Batasan pada riset kali ini adalah jarak antar provinsi berdasarkan garis lurus diasumsikan merepresentasikan kondisi perbandingan jarak antara satu provinsi dengan provinsi lain, serta fungsi objektif pada pemodelan transportasi kali ini adalah jarak akumulasi beras yang dikirimkan. Model PSO yang digunakan adalah versi sederhana dengan mempertimbangkan *random feasible solution.*

METODE PENELITIAN

Metode Pemodelan dan Optimasi

Penelitian ini membangun sebuah model *transportation problem* untuk kasus alokasi distribusi beras antar provinsi di Indonesia. Model matematika yang dibangun terdiri dari fungsi objektif, batasan, dan variabel keputusan. Metode yang digunakan dalam

menyelesaikan model *transportation problem* ini adalah *North West Corner* (NWC), *Least Cost Method* (LCM), *Vogel's Approximation Method* (VAM) dan *Particle Swarm Optimization* (PSO).

Lokasi dan Ruang Lingkup Penelitian

Objek penelitian adalah distribusi beras antar 34 provinsi di Indonesia yang diklasifikasikan sebagai:

- *Supply area* (provinsi surplus)
- *Demand area* (provinsi defisit)

Ruang lingkup penelitian dibatasi pada:

- Distribusi antar provinsi
- Minimasi total jarak distribusi (ton-kilometer)
- Tidak mempertimbangkan rute kendaraan atau jalur transportasi aktual
- Tidak mempertimbangkan biaya operasional riil

Data dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- Data produksi dan konsumsi beras 34 provinsi
- Selisih surplus dan defisit tiap provinsi
- Jarak antar provinsi (garis lurus)
- Matriks biaya (diasumsikan sama dengan jarak)

Sumber data:

- Data produksi dan konsumsi diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS)
- Jarak antar provinsi diperoleh melalui Google Maps (garis lurus)

Variabel Penelitian

Variabel keputusan:

X_{ij} = jumlah beras yang dikirim dari i provinsi ke provinsi j

Fungsi Tujuan:

$$Min\ Z = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} X_{ij} \cdot c_{ij} \quad (1)$$

Batasan:

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} = S_i \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} = D_j \quad (3)$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad (4)$$

Dimana:

Z = total akumulasi jarak pengiriman

C_{ij} = jarak dari provinsi i ke provinsi j

S_i = total beras yang akan di suplai

D_j = total beras yang akan diterima (Hillier, 2015)

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dilakukan sebagai berikut:

- Identifikasi provinsi surplus dan defisit
- Penyusunan matriks *supply*, *demand*, dan jarak
- *Balancing model* menggunakan *dummy* jika diperlukan

Penyelesaian *Transportation Problem* menggunakan:
- *North West Corner*
- *Least Cost*
- *Vogel's Approximation Method*
- *Particle Swarm Optimization*
- Perhitungan total jarak distribusi untuk masing-masing metode
- Perbandingan hasil keempat metode
- Analisis dan interpretasi hasil

***Particle Swarm Optimization* (PSO)**

Implementasi pencarian alokasi optimum menggunakan metode PSO memiliki model matematika sama halnya dengan ketiga metode klasik pada penelitian ini. Fungsi tujuan merupakan fungsi *fitness* yang digunakan sebagai penilaian untuk setiap partikel baru. Parameter teknis proses simulasi, ditunjukan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Simulasi PSO

Parameter	Nilai	Keterangan
Jumlah partikel	30	Banyaknya solusi dalam populasi (Li et al., 2022)
Iterasi maksimum	200	Jumlah perulangan proses optimasi (Li et al., 2022)
Inertia weight (ω)	0,7	Mengontrol keseimbangan eksplorasi dan eksploitasi (Muhajir et al., 2026)
Cognitive coefficient (c_1)	1,5	Pengaruh pengalaman individu (*pbest*) (Muhajir et al., 2026)
Social coefficient (c_2)	1,5	Pengaruh pengalaman global (*gbest*) (Muhajir et al., 2026)
Dimensi partikel	(m × n)	Matriks distribusi

Persamaan *update* kecepatan:

$$v_{ij}^{t+1} = w \cdot v_{ij}^{t} + c_1 r_1 (pbest_{ij} - x_{ij}^{t} + c_2 r_2 (gbest_{ij} - x_{ij}^{t}) \quad (5)$$

Persamaan *update* posisi:

$$x_{ij}^{t+1} = x_{ij}^{t} + v_{ij}^{t+1} \quad (6)$$

Dengan:
- r_1, r_2 = bilangan acak [0,1]

Normalisasi baris (*supply*):

$$x_{ij} = x_{ij} \times \frac{S_i}{\sum_i x_{ij}} \quad (7)$$

Normalisasi kolom (*demand*):

$$x_{ij} = x_{ij} \times \frac{D_j}{\sum_i x_{ij}} \quad (8)$$

Alur algoritma PSO:
1. Inisialisasi partikel dan kecepatan
2. Hitung *fitness* setiap partikel
3. Tentukan:
   - *pbest* (*best* tiap partikel)
   - *gbest* (*best* global)
4. Ulangi hingga iterasi maksimum:
   - *Update velocity*
   - *Update* posisi

- *Repair* solusi
- Evaluasi *fitness*
- *Update pbest* & *gbest*

5. Hasil akhir = *gbest*

Teknik Analisis Data

Analisis dilakukan dengan:

- Menghitung total jarak distribusi setiap metode
- Membandingkan nilai fungsi objektif
- Menghitung selisih dan persentase efisiensi antar metode
- Menganalisis pola alokasi distribusi

Kesimpulan dan Rekomendasi

Kesimpulan ditarik berdasarkan metode yang menghasilkan nilai fungsi objektif minimum. Rekomendasi diberikan untuk penelitian lanjutan dengan mempertimbangkan:

- Biaya transportasi riil
- Model *Vehicle Routing Problem*
- Metaheuristik diskrit yang lebih kompleks

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hasil

Penelitian ini menggunakan data produksi dan konsumsi beras per provinsi tahun 2024 karena merupakan data terbaru yang telah dipublikasikan secara resmi dan lengkap oleh Badan Pusat Statistik. Data tahun 2025 belum tersedia secara penuh dan masih berpotensi mengalami revisi sehingga tidak digunakan dalam penelitian ini. Selanjutnya, data produksi dan konsumsi beras di setiap provinsi dihitung untuk menentukan apakah terjadi surplus atau defisit. Provinsi yang mengalami defisit disajikan pada Tabel 2, sedangkan provinsi yang mengalami surplus disajikan pada Tabel 3.

Tabel 2. Provinsi Defisit Beras

Provinsi	Produksi (Ribu Ton)	Konsumsi (Ribu Ton)	Selisih	Keterangan
Sumatera Utara (Sumut)	1240	1650	-410	Defisit
Riau	129,61	587,75	-458,14	Defisit
Jambi	168,55	312,27	-143,72	Defisit
Bengkulu	156,76	199,34	-42,58	Defisit
Kep. Bangka Belitung (Babel)	44,84	140,13	-95,29	Defisit
Kepulauan Riau (Kepri)	0,2	189,77	-189,57	Defisit
DKI Jakarta (DKI JKT)	1,45	1251,44	-1249,99	Defisit
Jawa Barat (Jabar)	4920	6110	-1190	Defisit
DI Yogyakarta (DIY)	258,04	389,73	-131,69	Defisit
Banten	870	1280	-410	Defisit
Bali	365,42	539,22	-173,8	Defisit
Nusa Tenggara Timur (NTT)	414,06	663,66	-249,6	Defisit
Kalimantan Barat (Kalbar)	473,27	516,75	-43,48	Defisit
Kalimantan Tengah (Kalteng)	224,64	256,2	-31,56	Defisit
Kalimantan Utara (Kalut)	20,3	62,28	-41,98	Defisit
Sulawesi Utara (Sulut)	149,08	285,33	-136,25	Defisit

Tabel 2. Provinsi Defisit Beras (Lanjutan)

Provinsi	Produksi (Ribu Ton)	Konsumsi (Ribu Ton)	Selisih	Keterangan
Gorontalo (GTO)	122,16	139,04	-16,88	Defisit
Maluku (MA)	49,98	215,02	-165,04	Defisit
Maluku Utara (MU)	21,23	124,54	-103,31	Defisit
Papua Barat (Pabar)	13,62	107,03	-93,41	Defisit
Papua	128,68	281,8	-153,12	Defisit

Tabel 3. Provinsi Surplus Beras

Provinsi	Produksi (Ribu Ton)	Konsumsi (Ribu Ton)	Selisih	Keterangan
Aceh	946,71	637,03	309,68	Surplus
Sumatera Barat (Sumbar)	782,87	646,11	136,76	Surplus
Sumatera Selatan (Sulsel)	1630	830	800	Surplus
Lampung	1570	820	750	Surplus
Jawa Tengah (Jateng)	5080	3840	1240	Surplus
Jawa Timur (Jatim)	5330	4410	920	Surplus
Nusa Tenggara Barat (NTB)	872,81	670,34	202,47	Surplus
Kalimantan Selatan (Kalsel)	579,47	437,55	141,92	Surplus
Sulawesi Tengah (Sulteng)	448,52	357,22	91,3	Surplus
Sulawesi Selatan (Sulsel)	2750	980	1770	Surplus
Sulawesi Tenggara (Sultra)	317,56	303,64	13,92	Surplus
Sulawesi Barat (Sulbar)	185,52	178,75	6,77	Surplus

Dalam model penelitian ini, provinsi surplus berperan sebagai daerah pemasok (*supplier*), sementara provinsi defisit berperan sebagai daerah tujuan distribusi (*demand*). Berdasarkan data, total beras surplus adalah 6382,82 ribu ton sedangkan total beras defisit adalah 5529,41 ribu ton, dengan kata lain masih ada kelebihan sebesar 853,41 ribu ton. Kondisi ini menunjukkan bahwa secara agregat kebutuhan beras nasional masih dapat terpenuhi.

Berdasarkan data pada tabel, wilayah yang mengalami surplus paling besar adalah wilayah Jawa Tengah dan Jawa Timur, sedangkan yang mengalami defisit paling besar adalah DKI Jakarta dan Jawa Barat. Kondisi ini menggambarkan ketidakseimbangan antara produksi dan konsumsi di beberapa wilayah sehingga perlu pendistribusian untuk bisa memenuhi kebutuhan tersebut. Oleh karena itu, perlu adanya upaya untuk melakukan optimasi alokasi distribusi antara wilayah *supplier* dan wilayah tujuan distribusi.

Metode yang diterapkan untuk optimasi alokasi distribusi tersebut adalah NWC, *least cost, vogel*, dan PSO. Pada data yang tersedia, total beras yang akan di *supply* tidak sebanding dengan total kebutuhan beras wilayah distribusi, sehingga perlu adanya penambahan *dummy* pada penerapan keempat metode optimasi tersebut untuk dapat menyeimbangkan antara jumlah *supply* dan *demand.*

Hasil *North West Corner* (NWC)

Metode NWC dilakukan dengan mencari *feasible solution* awal dalam menentukan alokasi distribusi dari wilayah *supplier* ke wilayah tujuan distribusi. Langkah yang dilakukan dengan mengalokasikan distribusi di *cell* pojok kiri atas, yang kemudian dilanjut ke baris atau kolom selanjutnya jika kapasitas *cell* yang diduduki saat ini sudah penuh, begitu

selanjutnya sampai seluruh *supply* terdistribusi ke wilayah tujuan. Pada metode ini tidak dipertimbangkan mengenai jarak tempuh yang dilalui sehingga total hasil akumulasi jarak atau nilai fungsi objektif pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

$$Z_{NWC}= 3{,}233{,}548.73 \text{ km ribu ton}$$

Tabel 4. Alokasi Beras dengan Metode NWC

Asal\ Tuiuan	Sumut	Riau	Jambi	Bengkulu	Babel	Kepri	DKI JKT	Jabar	DIY	Banten	Bali	NTT	Kalsel	Kalteng	Kaltim	Sulut	GTO	MA	MU	Pabar	Papua	*Dummy*
Aceh	309,68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sumbar	100,32	36,44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sumsel	0	421,7	143,72	42,58	95,29	96,71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lampung	0	0	0	0	0	92,86	657,14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jateng	0	0	0	0	0	0	592,85	647,15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Jatim	0	0	0	0	0	0	542,85	131,69	245,46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NTB	0	0	0	0	0	0	0	0	164,54	37,93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kalsel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135,87	6,05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 4. Alokasi Beras dengan Metode NWC (Lanjutan)

Asal \ Tuiuan	Sumut	Riau	Jambi	Bengkulu	Babel	Kepri	DKI JKT	Jabar	DIY	Banten	Bali	NTT	Kalsel	Kalteng	Kaltim	Sulut	GTO	MA	MU	Pabar	Papua	*Dummy*
Sulteng	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	91,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sulsel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	152,25	43,48	31,56	41,98	136,25	16,88	165,04	103,31	93,41	153,12	832,72	
Sultra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13,92	
Sulbar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,77	
Total Biava	**3.233.549**																					

Hasil *Least Cost*

Metode *Least Cost* dilakukan dengan mencari *feasible solution* awal berdasarkan pada jarak paling minimum dalam menentukan alokasi distribusi dari wilayah *supplier* ke wilayah tujuan distribusi sehingga total hasil akumulasi jarak atau nilai fungsi objektif pada penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

Z_{NWC}= 4.596.690,58km ribu ton

Tabel 5. Alokasi Beras dengan Metode *Least Cost*

Asal\ Tuiuan	Sumut	Riau	Jambi	Bengkulu	Babel	Kepri	DKI JKT	Jabar	DIY	Banten	Bali	NTT	Kalsel	Kalteng	Kaltim	Sulut	GTO	MA	MU	Pabar	Papua	*Dummy*
Aceh	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	309,68
Sumbar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	136,76

Tabel 5. Alokasi Beras dengan Metode *Least Cost* (Lanjutan)

Asal\ Tuiuan	Sumsel	Lampung	Jateng	Jatim	NTB	Kalsel	Sulteng	Sulsel	Sultra
Sumut	0	0	0	0	0	0	0	410	0
Riau	0	0	0	0	0	0	0	458,14	0
Jambi	143,72	0	0	0	0	0	0	0	0
Bengkulu	42,58	0	0	0	0	0	0	0	0
Babel	95,29	0	0	0	0	0	0	0	0
Kepri	0	0	0	39,76	28,67	66,88	0	54,26	0
DKI JKT	111,44	340	1108,31	798,55	0	0	0	0	0
Jabar	0	108,31	131,69	81,69	0	0	0	0	0
DIY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Banten	0	410	0	0	173,8	0	0	0	0
Bali	0	0	0	0	0	0	0	249,6	0
NTT	0	0	0	0	0	43,48	0	0	0
Kalsel	0	0	0	0	0	31,56	41,98	0	0
Kalteng	0	0	0	0	0	0	32,44	97,04	0
Kaltim	0	0	0	0	0	0	16,88	0	0
Sulut	0	0	0	0	0	0	0	151,12	0
GTO	0	0	0	0	0	0	0	103,31	0
MA	0	0	0	0	0	0	0	93,41	13,92
MU	0	0	0	0	0	0	0	153,12	0
Pabar	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Papua	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dummy	406,97	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 5. Alokasi Beras dengan Metode *Least Cost* (Lanjutan)

Asal\ Tuiuan	Sumut	Riau	Jambi	Bengkulu	Babel	Kepri	DKI JKT	Jabar	DIY	Banten	Bali	NTT	Kalsel	Kalteng	Kaltim	Sulut	GTO	MA	MU	Pabar	Papua	*Dummy*
Sulbar	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,77	0	0	0	0
Total Biava	**4.596.691**																					

Hasil *Vogel*

Metode *Vogel* dilakukan dengan mencari *feasible solution* awal dalam menentukan alokasi distribusi dari wilayah *supplier* ke wilayah tujuan distribusi dengan cara menghitung nilai selisih dari biaya terkecil pertama dan biaya terkecil kedua. Solusi dari metode ini mendekati optimal karena disetiap tahapannya diberlakukan sistem penalti. Hasil dari metode *Vogel* ini ditunjukan sebagai berikut:

$$Z_{NWC}= 2.982.335,63 \text{ km ribu ton}$$

Tabel 6. Alokasi Beras dengan Metode *Vogel*

Asal\ Tuiuan	Sumut	Riau	Jambi	Bengkulu	Babel	Kepri	DKI JKT	Jabar	DIY	Banten	Bali	NTT	Kalsel	Kalteng	Kaltim	Sulut	GTO	MA	MU	Pabar	Papua	*Dummy*
Aceh	309,68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sumbar	100,32	36,44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sumsel	0	421,7	143,72	42,58	2,43	189,57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Lampung	0	0	0	0	0	0	340	0	0	410	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 6. Alokasi Beras dengan Metode *Vogel* (Lanjutan)

Asal\ Tuiuan	Jateng	Jatim	NTB	Kalsel	Sulteng	Sulsel	Sultra	Sulbar
Sumut	0	0	0	0	0	0	0	0
Riau	0	0	0	0	0	0	0	0
Jambi	0	0	0	0	0	0	0	0
Bengkulu	0	0	0	0	0	0	0	0
Babel	0	0	0	66,88	0	25,98	0	0
Kepri	0	0	0	0	0	0	0	0
DKI JKT	909,99	788,31	28,67	0	0	43,01	0	0
Jabar	330,01	131,69	0	0	0	0	0	0
DIY	0	0	0	0	0	0	0	0
Banten	0	0	173,8	0	0	0	0	0
Bali	0	0	0	0	0	249,6	0	0
NTT	0	0	0	43,48	0	0	0	0
Kalsel	0	0	0	31,56	0	35,21	0	0
Kalteng	0	0	0	0	0	61,83	0	0
Kaltim	0	0	0	0	0	0	0	0
Sulut	0	0	0	0	74,42	151,12	0	0
GTO	0	0	0	0	16,88	103,31	0	0
MA	0	0	0	0	0	93,41	13,92	6,77
MU	0	0	0	0	0	153,12	0	0
Pabar	0	0	0	0	0	853,41	0	0
Papua	0	0	0	0	0		0	0
Dummy	0	0	0	0	0			

Total Biava	**2.982.336**

Hasil PSO

Metode PSO yang digunakan adalah versi sederhana dengan mempertimbangkan *random feasible solution.* PSO melakukan pencarian solusi dengan mempertimbangkan:

- Posisi terbaik individu (*pbest*)
- Posisi terbaik global (*gbest*)
- Parameter kecepatan dan iterasi

Hasil dari metode PSO ini ditunjukan sebagai berikut:

Z_{NWC}= 4,542,298.63km ribu ton

Tabel 7. Alokasi Beras dengan Metode PSO

Asal\ Tuiuan	Aceh	Sumbar	Sumsel	Lampung	Jateng	Jatim	NTB	Kalsel	Sulteng
Sumut	0	0	410	0	0	0	0	0	0
Riau	458,14	0	0	0	0	0	0	0	0
Jambi	0	0	0	143,72	0	0	0	0	0
Bengkulu	0	0	42,58	0	95,29	0	0	0	0
Babel	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kepri	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DKI JKT	0	0	0	0	1027,02	1249,99	0	0	0
Jabar	0	0	0	0	0	0	0	155,558	0
DIY	0	0	0	0	742,615	0	0	0	0
Banten	0	0	0	410	0	0	0	0	995,385
Bali	0	0	171,632	0	0	0	601,173	0	0
NTT	0	0	0	43,48	0	0	0	0	0
Kalsel	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kalteng	0	31,56	0	0	41,98	0	0	0	0
Kaltim	0	0	0	0	0	0	136,25	0	0
Sulut	0	0	0	0	16,88	0	0	0	0
GTO	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MA	0	0	0	0	103,31	0	0	0	0
MU	0	0	0	93,41	0	153,12	0	0	0
Pabar	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Papua	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Dummy	0	667,995	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 7. Alokasi Beras dengan Metode PSO (Lanjutan)

Asal\ Tujuan	Sumut	Riau	Jambi	Bengkulu	Babel	Kepri	DKI JKT	Jabar	DIY	Banten	Bali	NTT	Kalsel	Kalteng	Kaltim	Sulut	GTO	MA	MU	Pabar	Papua	*Dummy*
Sulsel	0	0	0	0	189,57	0	131,69	0	0	0	0	0	0	165,04	0	0	0	0	0	0	786,611	
Sultra	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	118,508	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sulbar	0	0	0	0	0	0	0	742,059	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Total Biaya	**4.542.299**																					

Perbandingan Hasil

Jika dibandingkan antara keempat metode yang digunakan pada penelitian kali ini, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 8. Perbandingan Hasil Optimasi

Metode	Total Jarak (km ribu ton)	Selisih dari *Vogel*	% Lebih Mahal
North West Corner	3.233.548,73	251.213,10	8,42%
Least Cost	4.596.690,58	1.614.354,95	54,13%
Vogel	2.982.335,63	0,00	0,00%
PSO	4.542.298,63	1,559,963,00	52,31%

Metode *Vogel* memiliki nilai Total Jarak paling minimum dibandingkan dengan metode optimasi lainnya yaitu sebesar 2.982.335,63. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan penalti dalam *Vogel* lebih efektif dalam mengalokasikan distribusi pada jalur dengan biaya rendah serta menghindari alokasi jarak jauh yang tidak efisien.

Metode *North West Corner* tidak mempertimbangkan biaya dalam proses alokasi sehingga menghasilkan biaya yang lebih tinggi. Metode *Least Cost* bersifat *greedy* lokal sehingga tidak selalu menghasilkan solusi global optimal. Sementara itu, PSO yang digunakan dalam penelitian ini merupakan versi sederhana berbasis *random feasible solution* sehingga belum mampu mengungguli metode heuristik klasik.

Kinerja PSO yang kurang optimal dalam penelitian ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, implementasi PSO yang digunakan masih bersifat sederhana, yaitu hanya berbasis *random feasible solution* tanpa menerapkan strategi *hybrid initialization*. Dalam pendekatan yang lebih baik, hasil dari metode heuristik seperti *Least Cost*, *Vogel*, dan NWC seharusnya dapat digunakan sebagai bagian dari inisialisasi partikel, bersama dengan partikel lain yang dibangkitkan secara acak.

Kedua, parameter PSO yang digunakan belum dioptimasi secara khusus untuk karakteristik permasalahan distribusi beras. Parameter yang digunakan dalam penelitian ini dipilih berdasarkan kombinasi antara referensi literatur dan pertimbangan efisiensi komputasi. Nilai-nilai tersebut merupakan nilai moderat yang umum digunakan dalam penelitian PSO (Harrison et al., 2016).

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa rendahnya performa PSO dalam penelitian ini bukan disebabkan oleh kelemahan metode PSO secara umum, melainkan karena implementasi yang masih sederhana serta belum adanya penyesuaian terhadap karakteristik permasalahan transportasi. Oleh karena itu, pengembangan lebih lanjut seperti hybrid PSO atau *adaptive parameter* sangat direkomendasikan untuk meningkatkan performa metode ini.

PENUTUP

Simpulan

Penerapan empat metode optimasi, yaitu *North West Corner* (NWC), *Least Cost, Vogel*, dan *Particle Swarm Optimization* (PSO), dalam alokasi distribusi beras antar provinsi telah berhasil dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *Vogel* menghasilkan nilai total jarak distribusi paling minimum, yaitu sebesar 2.982.335,63 km ribu ton, sehingga dapat dikatakan sebagai metode yang paling efisien pada kasus yang dikaji. Secara akademik, penelitian ini menunjukkan bahwa metode heuristik klasik seperti *Vogel* masih memiliki performa yang sangat kompetitif, bahkan mampu mengungguli metode metaheuristik seperti PSO apabila PSO tidak diimplementasikan dengan strategi yang tepat. Hal ini menegaskan bahwa pemilihan metode optimasi tidak hanya bergantung pada kompleksitas algoritma, tetapi juga pada kesesuaian metode dengan karakteristik permasalahan. Dari sisi praktis, hasil penelitian ini memberikan implikasi bahwa pendekatan berbasis optimasi dapat digunakan sebagai dasar dalam perencanaan distribusi beras nasional, khususnya dalam meminimalkan jarak tempuh distribusi antar wilayah surplus dan defisit. Dengan demikian, metode *Vogel* dapat dijadikan sebagai alternatif awal dalam menentukan pola distribusi yang lebih efisien.

Saran

Penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan penggunaan jarak dan biaya aktual antar provinsi agar hasil yang diperoleh lebih mencerminkan kondisi nyata. Selain itu, penerapan inisialisasi *hybrid* juga penting untuk meningkatkan kualitas solusi awal. Penelitian berikutnya juga dapat mengkaji penggunaan *adaptive parameter* guna meningkatkan fleksibilitas dan kinerja algoritma. Terakhir, perlu dilakukan perbandingan dengan metode metaheuristik lainnya untuk mengetahui keunggulan dan efektivitas metode yang digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

Abera, A. G., Yetayew, T. T., & Alyu, A. B. (2025). Optimized Solar PV Integration for Voltage Enhancement and Loss Reduction in The Kombolcha Distribution System Using Hybrid Grey Wolf-Particle Swarm Optimization. *Results in Engineering*, *26*. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105484

Adegoke, S. A. (2025). Optimal Sizing and Placement of Capacitors Using an Improved Particle Swarm Optimization to Enhance Networks Reliability and Voltage Profile in Distribution Systems. *Energy Conversion and Management: X*, *28*. https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2025.101294

Amiryousefi, M., Lotfalian Dehkordi, A., & Elhami, B. (2026). Optimizing Environmental Performance of Rice Production in Semi-Arid Iran: An Life Cycle Assessment (LCA)-Multi-Objective Particle Swarm Optimization (MOPSO) Approach. *Sustainable Futures*, *11*. https://doi.org/10.1016/j.sftr.2026.101645

Bahri, S., Farhan Karimi, A., & Baqi, A. I. (2024). Optimasi Biaya Distribusi Beras Sejahtera Perum Bulog Divre Sumatera Barat dengan Improved Vogel's Approximation Method. *Jurnal Matematika UNAND*, *13*(3), 208–221.

Harrison, K. R., Engelbrecht, A. P., & Ombuki-Berman, B. M. (2016). Inertia Weight Control Strategies for Particle Swarm Optimization. *Swarm Intelligence*, *10*(4), 267–305. https://doi.org/10.1007/s11721-016-0128-0

Hejazi, M., Harsej, F., Nemati, K., & Rezaeyan, R. (2026). Hybrid Evolutionary Annealing for Outage-Aware Power Plant Allocation and Electricity Distribution Scheduling. *Results in Engineering*, 109888. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2026.109888

Hillier, F. S., & L. G. J. (2015). *Introduction to Operations Research (10th ed.)*. McGraw-Hill Education.

Li, X., Zhang, H., & Wang, Z. (2022). A Comprehensive Review of Particle Swarm Optimization and Its Applications. *Applied Soft Computing*, *2*(3), 108–123. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.asoc.2022.108123

Martínez, M., Mateo, C., Gómez, T., Alonso, B., & Frías, P. (2024). A Hybrid Particle Swarm Optimization Approach for Explicit Flexibility Procurement in Distribution Network Planning. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, *161*. https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2024.110215

Muhajir, M., Suriadi, S., & Melinda, M. (2026). Optimasi Penempatan Distributed Generation dan Kapasitor Bank Berbasis Particle Swarm Optimization untuk meningkatkan Kinerja Sistem Distribusi Kota Sabang. *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains dan Teknologi*, *11*(1), 100. https://doi.org/10.36722/sst.v11i1.5343

Nurhalimah, Dina, S., Andespa, S., Sahrul R., & Siti., S. Br Ginting. (2025). Penyelesaian Masalah Transportasi dalam Distribusi Beras untuk Meminimalkan Biaya Transportasi dengan Menggunakan Metode VAM (Vogel's Approximation Method): Sistematis Literatur Review (SLR). *Jejak Digital: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, *1*(4), 1419–1428. https://doi.org/10.63822/d6n8b014

Putra, A. D., Rachma, Z., Muhajar, H., Tamtama, S., & Hermawan, B. (2026). Optimalisasi Distribusi Beras Gudang Umbul Tengah menggunakan Metode Transportasi BULOG Cabang Serang. *Journal of Business Economics and Management*, *02*, 2239–2251.

Saragih, O. S. (2022). Optimasi Biaya Distribusi Beras di Perum Bulog Kantor Bulog Cabang Pemtangsiantar menggunakan Metode Transportasi. *Jurnal Pembelajaran dan Matematika Sigma (JPMS)*, *8*(2), 459–469. https://doi.org/10.36987/jpms.v8i2.3317

Setiawan, R. F., Nurjihan, E., Queena, N., Aryanto, Z., Herlambang, I. S., & Hasanah, H. (2025). *Analisis Optimasi Biaya Transportasi Distribusi Beras Pb. Sridewi dengan Metode VAM*.

Tesaloni, L. (2025, September 6). *YLKI Desak Pemerintah Bereskan Polemik Distribusi Beras*. Kontan. https://nasional.kontan.co.id/news/ylki-desak-pemerintah-bereskan-polemik-distribusi-beras.

Toto, J. (2025, August 12). *Stok Beras Bulog Menggunung, Distribusi Berjalan Lambat Bisa Picu Harga di Pasaran Naik hingga Rugikan Negara*. Selingkar Wilis. https://www.selingkarwilis.com/nasional/85015755482/stok-beras-bulog-menggunung-distribusi-berjalan-lambat-bisa-picu-harga-di-pasaran-naik-hingga-rugikan-negara.