

Optimasi Distribusi 4-Eselon Logistik Operasi Laut Dengan Pendekatan Algoritma *Hybrid Particle Swarm Optimization*

Yohannes Enggar¹⁾, Iwan Vanany²⁾, Supartono³⁾

Mahasiswa Prodi S-2 ASRO STTAL¹⁾
Dosen Teknik Industri FTI - ITS Surabaya²⁾
Dosen Universitas Pertahanan Jakarta³⁾

Abstract

This study develops an optimization model 4 echelon distribution logistics sea operations consider multi main naval bases, multi forward naval bases, multi distributors, and multi striking force ships to the method of delivery, by replenishment at sea on the rendezvous points. This model considers the selection of the modes of transportation logistics ship types are used, multi commodity share shipments at each echelons to answer the lost capacity transport modes, the cost of transportation, loading and unloading costs, defect commodity costs and the cost of losing the material generated at each frequency of deliveries to reduce the total cost of distribution. The total cost of the distribution consists of the cost in the forward naval base, logistics ship as distributor and striking force ships. The model developed included in the category of mixed fleet transshipment and solved by the solution method based hybrid nonlinear inertia weight particle swarm optimization with multiple capacitated vehicle transshipment to generate optimal distribution costs simultaneously for all the decision variables. Conclusion derived from the results of the numerical example states that the total cost of distribution is smaller when using a combination of modes of transport logistics ships larger capacity namely KRI ARN-903 and KRI ARN-903 with a total efficiency of the distribution costs amounted to 46.07 % in one planning horizon.

Penelitian ini mengembangkan model optimasi distribusi 4 eselon logistik operasi laut mempertimbangkan multi pangkalan induk, multi pangkalan aju, multi distributor, dan multi kapal *striking force* dengan metode pengirimannya melalui *replenishment at sea* pada titik *rendezvous*. Model ini mempertimbangkan pemilihan moda transportasi jenis kapal logistik yang digunakan, pengiriman berbagi multi komoditas pada tiap eselon untuk menjawab *lost capacity* moda transportasi, biaya transportasi, biaya bongkar muat, biaya komoditas rusak dan biaya kehilangan material yang dihasilkan pada tiap frekuensi pengiriman untuk menurunkan total biaya distribusi. Biaya distribusi terdiri dari biaya pada pangkalan aju, kapal logistik sebagai distributor dan kapal *striking force*. Model yang dikembangkan termasuk dalam kategori *mixed fleet transshipment* dan diselesaikan menggunakan metode solusi berbasis *hybrid nonlinear inertia weight particle swarm optimization* dengan *multiple capacitated vehicle transshipment* untuk menghasilkan total biaya distribusi optimal secara simultan untuk semua variabel keputusan. Kesimpulan yang diperoleh dari hasil contoh numerik menyatakan bahwa total biaya distribusi lebih kecil bila menggunakan kombinasi moda transportasi kapal logistik berkapasitas lebih besar yaitu KRI ARN-903 dan KRI ARN-903 dengan penghematan total biaya distribusi sebesar 46.07% dalam satu horizon perencanaan.

Kata kunci: *Replenishment At Sea*, Biaya Distribusi, 4 Eselon, Moda Transportasi, *Hybrid Particle Swarm Optimization*.

I. Pendahuluan

Sistem distribusi 4 eselon logistik operasi laut bertujuan untuk meningkatkan efektifitas dan efisiensi distribusi multi komoditas terdiri dari bahan bakar, avtur, minyak pelumas, air tawar dan makanan mulai dari pangkalan induk sampai kapal *striking force* dan heli intai pada daerah operasi sesuai dengan jenis, jumlah, kualitas, waktu dan tempat melalui *replenishment at sea* dalam satu horizon perencanaan.

Meningkatnya *demand* multi komoditas oleh kapal *striking force* dan heli intai menghasilkan biaya distribusi yang terus meningkat seiring penyebaran multi komoditas untuk menjangkau lokasi kapal *striking force* dan heli intai pada titik *rendezvous* di daerah operasi. Koordinasi antar pangkalan induk, pangkalan aju, kapal logistik sebagai distributor dan kapal *striking force* merupakan kunci dari kesuksesan sistem distribusi 4 eselon logistik operasi laut.

Kebijakan pemilihan moda transportasi kapal logistik mempengaruhi biaya transportasi, biaya bongkar muat, biaya komoditas rusak dan biaya kehilangan material yang belum diperhitungkan sebagai komponen biaya distribusi dan menjadi faktor penunjang tingginya biaya distribusi yang harus ditanggung oleh TNI AL tiap tahunnya.

II. Literature Review

Sebagian besar penelitian tentang optimasi distribusi logistik operasi militer melalui replenishment at sea seperti Gue (2003), Lenhardt (2006), Brown dan Carlyle (2008) menggunakan strategi distribusi direct shipping dan tidak dipertimbangkan biaya operasional kapal logistik selama proses transportasi dan peranan pangkalan aju sebagai gudang penyangga untuk meredam ketidakpastian demand multi komoditas kapal stricking force dan heli intai.

Sedangkan penelitian tentang model biaya distribusi multi eselon yang menjadi komponen biaya distribusi seperti Domoto et al., (2007), Santoso et al., (2009), Garside, (2010) dan Sathish et al., (2010) belum terintegrasi dengan loading unloading selama proses distribusi yang akan menghasilkan biaya bongkar muat (Pujawan, 2010) dan belum melihat besarnya biaya komoditas rusak yang dihasilkan tiap frekuensi pengiriman seharusnya ikut dalam komponen biaya distribusi yang menjadi beban biaya selama satu horizon perencanaan. Pada penelitian tersebut belum mempertimbangkan pola alokasi share shipping semua eselon seperti Rajeshwar et al., (2012), Shankar et al., (2013) dan Khalifehzadeh et al., (2015) untuk meminimumkan biaya distribusi dengan pemenuhan demand komoditas sebagai indikator kinerja di sistem rantai pasok. Model yang dikembangkan oleh Rajeshwar et al., (2012), Shankar et al., (2013) dan Khalifehzadeh et al., (2015) tidak mempertimbangkan kapasitas dan jarak tempuh karena biaya transportasi merupakan biaya tetap. Dalam kondisi nyata biaya distribusi multi eselon lebih mendekati pada jarak tempuh pengiriman antar eselon karena nilai yang menjadi dasar biaya jelas dan belum dipertimbangkan metode pengiriman melalui RAS.

Pada perusahaan makanan dan minuman (studi empiris PT X Indonesia) sistem distribusi yang digunakan adalah distribusi 4-eselon. Moda transportasi pada perusahaan x menggunakan truck dan menghasilkan total ongkos distribusi (TOD) yang relatif mahal. Total ongkos distribusi ini dibebankan pada harga produk yang menyebabkan harga produk menjadi lebih mahal. Sehingga memungkinkan menurunnya minat konsumen untuk produk tersebut, kondisi ini berdampak menurunnya laba pada perusahaan tersebut.

Dalam distribusi 4 - Eselon terdapat 2 pola pengiriman, pengiriman langsung dan berbagi

yang menghasilkan efisiensi ongkos distribusi (Santoso.A, 2009) dan TOD terintegrasi dengan ongkos produksi secara simultan (Garside.K, 2010). Kedua penelitian tersebut cukup baik namun belum mempertimbangkan pemilihan moda transportasi yang digunakan serta belum mempertimbangkan ongkos bongkar muat (*loading-unloading cost*) pada tiap frekuensi pengiriman.

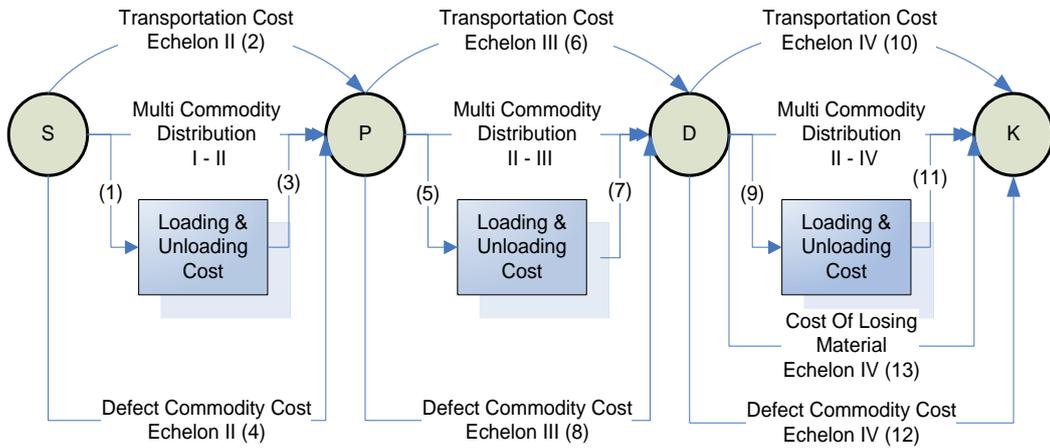
Optimasi rantai pasok oleh Sathish.G.*et all* (2010) tentang suplai produk optimal pada 4 tahap level distribusi menghasilkan biaya minimal pada setiap level distribusi dengan *particle swarm optimization* (PSO). Algoritma PSO tentang rute dan jaringan distribusi dengan dasar *traveling salesman problem* (TSP) diskrit baru telah dikembangkan oleh Shi.X.H.*etall.*(2005), Elizabeth F.G.*et all* (2008), dan Xin-Li XU.*et all* (2010) dan memperoleh hasil alokasi pemilihan rute terpendek sebagai solusi optimal.

Pada penelitian ini algoritma TSP dengan PSO oleh penelitian terdahulu sangat membantu pengembangan model yang dilakukan oleh peneliti, namun demikian penelitian terdahulu tersebut belum mempertimbangkan, pemilihan moda transportasi dari ongkos bongkar muat, sementara kedua hal tersebut merupakan variabel keputusan dominan untuk mendapatkan TOD minimum.

Pada paper ini dibahas model TOD dengan mempertimbangkan 3 variabel keputusan yaitu moda transportasi dan ongkos bongkar muat untuk menurunkan total ongkos distribusi. Solusi model diperoleh melalui algoritma PSO. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada bagian selanjutnya dari paper ini.

III. Deskripsi Sistem dan Asumsi

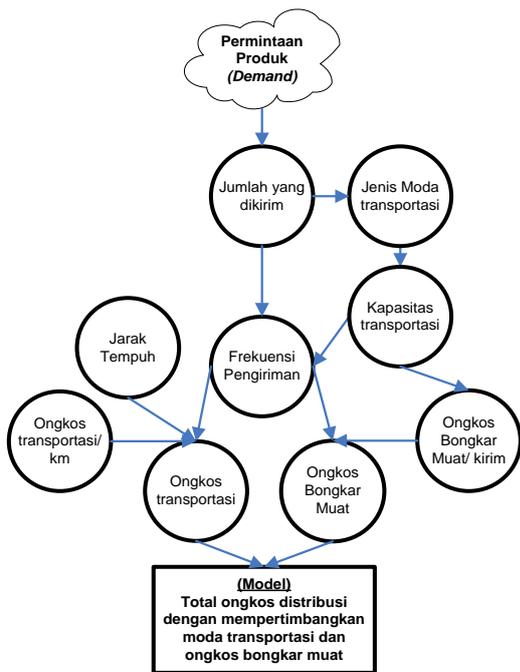
Dalam studi empiris yang dilakukan pada sistem distribusi 4-eselon, terdapat sejumlah entitas dalam tiap eselon yang mencakup wilayah distribusi perusahaan X di Jawa Timur Indonesia. Pada eselon 1 terdapat 1 pabrik berkapasitas 1.6 juta *ctn*. Pada eselon 2 terdapat 2 gudang (penyangga) berkapasitas 900.000 *ctn* yang terdapat di kedua pusat kota. Pada eselon 3 terdapat 4 distributor berkapasitas 400.000 *ctn* dan pada eselon 4 terdapat 6 retailer besar yang mengakomodir *demand* dari setiap retailer kecil dalam 4-eselon. Moda transportasi yang digunakan dalam distribusi produk adalah Truck berkapasitas angkut 5000 *ctn* / frekuensi pengiriman dan terdapat alternatif moda transportasi lain berupa Wingsbox berkapasitas 5800*ctn* / frekuensi pengiriman. Penyediaan moda transportasi yang digunakan adalah ekspedisi dengan sistem kontrak kerjasama pertahun,



Gambar 1. Alur total biaya distribusi 4 eselon di Koarmatim

Pada Gambar 1 dapat dilihat biaya distribusi untuk 4-eselon. Dimana S merupakan pangkalan induk, P adalah pangkalan aju sebagai gudang penyangga dan D adalah kapal logistik sebagai distributor serta K adalah kapal *stricking force* dan heli intai

. Dari kondisi nyata yang ada di perusahaan, dibuat model ongkos distribusi yang mempertimbangkan pemilihan moda transportasi dan ongkos bongkar muat untuk memperoleh TOD minimum.



Gambar 2. Diagram pengaruh Total ongkos distribusi dengan mempertimbangkan moda transportasi dan ongkos bongkar muat.

Pada gambar 2 dapat dilihat variabel pembentuk Ongkos transportasi dan Ongkos bongkar muat

IV. Formulasi Model

Notasi yang digunakan dalam paper ini adalah sebagai berikut :

- R : Retail E-4 (indek di variabel merupakan posisi)
- D : Distributor E-3 (posisi indek di variabel merupaka posisi)
- P : Gudang P E-2 (posisi indek di variabel merupakan posisi)
- O : Pabrik E-1 (posisi indek di variabel merupakan posisi)
- d : Jarak tempuh antar eselon (Km)
- Q : Jumlah yang dikirim dalam 1 periode pengiriman (*ctn*)
- μ_1 : Kapasitas moda transportasi *Wingbox(ctn)*
- μ_2 : Kapasitas moda transportasi *Truck(ctn)*
- C_t : Ongkos transportasi perkilometer (\$)
- CT : Total ongkos transportasi (\$)
- C_{bm} : Ongkos bongkar muat/kirim (\$)
- CB : Total ongkos bongkar muat (\$)
- DCA : Ongkos distribusi dengan mempertimbangkan moda transportasi dan bongkar muat (\$)
- S : Kapasitas maksimum produksi 1 siklus produksi (*ctn*)

A. Ongkos transportasi.

Ongkos transportasi (CT) merupakan hasil dari jumlah produk yang dikirim (Q) dibagi oleh kapasitas muat moda transportasi (μ) dikalikan Jarak tempuh (d) dan ongkos transportasi per-kilometer (C_t) dapat diformulasikan:

Pers 1.

$$CT = \left(\frac{Q}{\mu} d C_t \right)$$

B. Ongkos bongkar muat

Ongkos bongkar muat dihasilkan dari jumlah produk yang dikirim (Q) dibagi oleh kapasitas muat moda transportasi (μ) dikali ongkos sekali bongkar (C_{bm}) diadopsi dari kondisi nyata biaya bongkar muat tiap eselon diformulasikan:

Pers 2.

$$CB = \left(\frac{Q}{\mu} C_{bm} \right)$$

C. Total ongkos distribusi

Dari formulasi model ongkos transportasi dan ongkos bongkar muat, dihasilkan model ongkos distribusi (DCA) dengan formulasi :

$$DCA(Q, \mu) = \left\{ \left(\frac{Q}{\mu} d C_t \right) + \left(\frac{Q}{\mu} C_{bm} \right) \right\}$$

$$\text{Pers 3.} = \frac{Q}{\mu} (d C_t + C_{bm})$$

Model ini berlaku hanya untuk menghitung ongkos distribusi per eselon (satu) dengan mempertimbangkan pemilihan moda transportasi yang digunakan dan ongkos bongkar muat. Pada sistem distribusi 4-eselon ongkos distribusi dapat di perinci sebagai berikut :

- **Ongkos distribusi Retail (DCA_R^D).**

Ongkos distribusi retail dapat dituliskan:

Pers 4.

$$DCA_R^D(Q, \mu) = \sum_{i=1}^6 \left\{ \frac{Q_R^D}{\mu_R^D} (d_R^D C_t + C_{bm}) \right\}$$

- **Ongkos distribusi Distributor (DCA_D^P).**

Ongkos distribusi distributor dapat dituliskan:

Pers 5.

$$DCA_D^P(Q, \mu) = \sum_{i=1}^4 \left\{ \frac{Q_D^P}{\mu_D^P} (d_D^P C_t + C_{bm}) \right\}$$

- **Ongkos distribusi Gudang (DCA_P^O).**

Ongkos distribusi gudang penyangga dapat dituliskan:

Pers 6.

$$DCA_P^O(Q, \mu) = \sum_{i=1}^2 \left\{ \frac{Q_P^O}{\mu_P^O} (d_P^O C_t + C_{bm}) \right\}$$

- **Ongkos distribusi pabrik (DCA_O).**

Total ongkos transportasi pada gudang pabrik (*Logistic distribution center*)

diasumsikan nol karena jarak dari *line packing* produksi berdekatan dengan gudang pabrik, serta pemindahannya mengeluarkan biaya cukup kecil (*product handling*).

$DCA_O(Q, \mu) =$ Diasumsikan nol karena berdekatan dengan *line* produksi

D. Fungsi Tujuan

Objective function pada model ini adalah minimum ongkos distribusi dengan mempertimbangkan moda transportasi dan ongkos bongkar muat dituliskan sebagai berikut :

Pers 7

$$\text{Min } DCA(Q, \mu) = DCA_R^D + DCA_D^P + DCA_P^O + DCA_O$$

E. Batasan

Beberapa batasan yang digunakan pada model ini adalah

$$Q_{P1}^O + Q_{P2}^O \leq S \quad (1)$$

$$Q_{D1}^{P1} + Q_{D2}^{P1} + Q_{D3}^{P2} + Q_{D4}^{P2} \leq Q_{P1}^O \quad (2)$$

$$Q_{D1}^{P2} + Q_{D2}^{P2} + Q_{D3}^{P2} + Q_{D4}^{P2} \leq Q_{P2}^O \quad (3)$$

$$Q_{R1}^{D1} + Q_{R2}^{D1} + Q_{R3}^{D1} + Q_{R4}^{D1} + Q_{R5}^{D1} + Q_{R6}^{D1} \leq Q_{D1}^{P1} \quad (4)$$

$$Q_{R1}^{D2} + Q_{R2}^{D2} + Q_{R3}^{D2} + Q_{R4}^{D2} + Q_{R5}^{D2} + Q_{R6}^{D2} \leq Q_{D2}^{P1} \quad (5)$$

$$Q_{R1}^{D3} + Q_{R2}^{D3} + Q_{R3}^{D3} + Q_{R4}^{D3} + Q_{R5}^{D3} + Q_{R6}^{D3} \leq Q_{D3}^{P1} \quad (6)$$

$$Q_{R1}^{D4} + Q_{R2}^{D4} + Q_{R3}^{D4} + Q_{R4}^{D4} + Q_{R5}^{D4} + Q_{R6}^{D4} \leq Q_{D4}^{P1} \quad (7)$$

$$Q_{R1}^{D1} + Q_{R2}^{D1} + Q_{R3}^{D1} + Q_{R4}^{D1} + Q_{R5}^{D1} + Q_{R6}^{D1} \leq Q_{D1}^{P2} \quad (8)$$

$$Q_{R1}^{D2} + Q_{R2}^{D2} + Q_{R3}^{D2} + Q_{R4}^{D2} + Q_{R5}^{D2} + Q_{R6}^{D2} \leq Q_{D2}^{P2} \quad (9)$$

$$Q_{R1}^{D3} + Q_{R2}^{D3} + Q_{R3}^{D3} + Q_{R4}^{D3} + Q_{R5}^{D3} + Q_{R6}^{D3} \leq Q_{D3}^{P2} \quad (10)$$

$$Q_{R1}^{D4} + Q_{R2}^{D4} + Q_{R3}^{D4} + Q_{R4}^{D4} + Q_{R5}^{D4} + Q_{R6}^{D4} \leq Q_{D4}^{P2} \quad (11)$$

$$S \leq \text{Kapasitas maksimum produksi 1 siklus produksi 1.600.000 ctn} \quad (12)$$

$$P \leq \text{Kapasitas maksimum tampung gudang penyangga : 900000ctn} \quad (13)$$

$$D \leq \text{Kapasitas maksimum tampung distributor 400000ctn} \quad (14)$$

$$R = \text{Permintaan produk di retail} \quad (15)$$

$$\mu_1 \leq \text{Kapasitas angkut produk per frekuensi pengiriman : 5800ctn} \quad (16)$$

$$\mu_2 \leq \text{Kapasitas angkut produk per frekuensi pengiriman: 5000ctn} \quad (17)$$

$$Q \geq 1 \text{ integer} \quad (18)$$

Batasan (*Constraint*) (1) hingga (11) memastikan kondisi alokasi distribusi produk dalam kordinasi distribusi 4-eselon. *Constraint* (13), (14) membatasi kapasitas simpan produk tiap eselon. *Constraint* (16) dan (17) merupakan moda transportasi yang digunakan. Dan (18) memastikan (Q) merupakan bilangan bulat.

V. Analisa Model

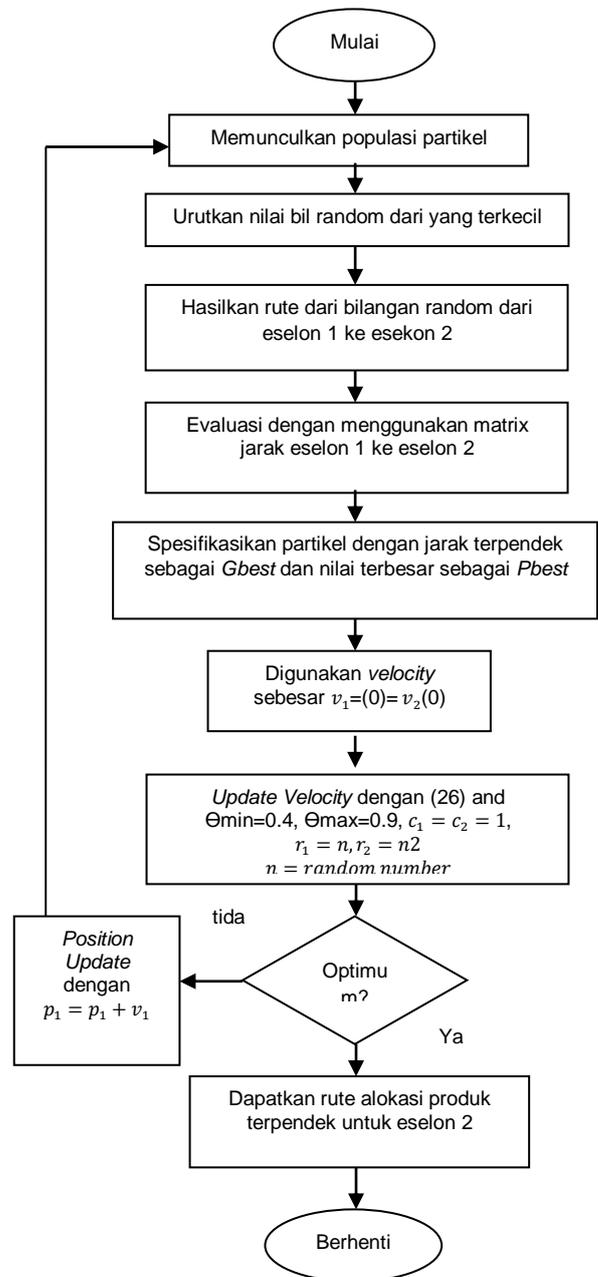
Pengujian model dilakukan pada model ongkos distribusi dengan mempertimbangkan 4 eselon, mempertimbangkan pemilihan moda transportasi dan ongkos bongkar muat menggunakan bantuan *software MATLAB* melalui pendekatan algoritma *modified particle swarm optimization* dengan inersia (θ) $\text{min}=0.4$ dan $\text{max}=0.9$. Faktor inersia θ diperkenalkan dalam persamaan oleh Shi dan Eberhart (1998). Faktor inersia mengalikan kecepatan dari iterasi sebelumnya. Hal ini menurun sepanjang eksekusi algoritma.

Inersia faktor menciptakan kecenderungan partikel untuk terus bergerak ke arah yang sama. Motivasi untuk penggunaan faktor inersia adalah untuk dapat lebih baik kontrol intensifikasi dan diversifikasi data.

Pers. 8

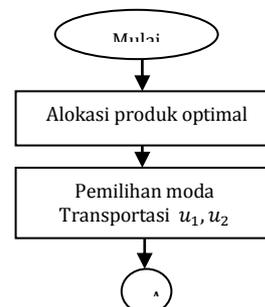
$$V_i(i) = \theta V_i(t-1) + c_1 r_1 (P_{best} - X_i(t-1)) + c_2 r_2 (G_{best} - X_i(t-1))$$

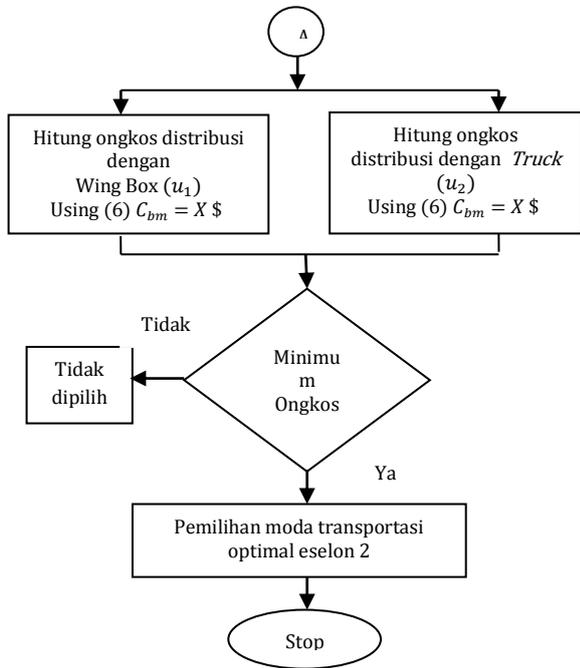
Solusi optimum untuk fungsi tujuan (lihat di gambar 2 dan 3). Sebagai contoh dilakukan perhitungan total ongkos distribusi dari eselon 1 ke eselon 2.



Gambar 3. Algoritma I PSO alokasi produk

Algoritma I, Merupakan algoritma solusi alokasi optimal dan algoritma II untuk menyelesaikan fungsi tujuan minimum total ongkos transportasi dan bongkar muat sebagai berikut permasalahan untuk menghitung ongkos distribusi pada eselon 2.



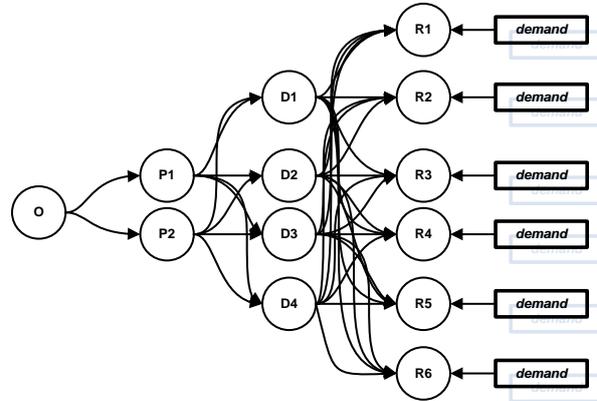


Gambar 4. Algoritma II, pemilihan moda transportasi

Kasus yang digunakan untuk analisa model mempertimbangkan pemilihan moda transportasi, jumlah produk yang dikirim, ongkos bongkar muat, 1 pabrik, 2 gudang, 4 distributor, 6 retailer dan pengiriman berbagai. Hasil produksi dalam 1 periode sebesar 1418000 ctn. Kapasitas gudang penyangga (P) =900000ctn, kapasitas distributor D=400000ctn,

dan permintaan di retailer secara berturut turut R1= 312880ctn, R2 = 239680ctn, R3 = 148940ctn, R4 = 142846ctn, R5 = 277560ctn dan R6 = 296094ctn dalam 1 periode.

Moda transportasi yang digunakan adalah truck dengan kapasitas angkut 5000ctn/frekuensi dan wingbox dengan kapasitas angkut 5800ctn/frekuensi. Ongkos angkut per kilometer, \$ 1.28 untuk truck dan \$1.38 untuk wingsbox. Ongkos bongkar muat sebesar \$ 4 untuk truck dan \$ 4.5 untuk wingsbox. Ditentukan populasi sebanyak 100 dalam 20 iterasi . Alokasi suplai dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Alokasi distribusi 4-eselon

Dari gambar 5 dapat dilihat alokasi distribusi 4-eselon pada perusahaan X. Jarak tempuh antar eselon dapat dilihat pada tabel 1 dan alokasi optimal dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 1. Jarak tempuh antar eselon (Matrix Jarak) dalam Kilometer

KOTA	O	P1	P2	D1	D2	D3	D4	R1	R2	R3	R4	R5	R6
O	0	51	43	116	104	164	165	220	66	65	117	147	267
P1	0	0	0	123	50	200	172	51	167	102	146	103	293
P2	0	0	0	102	146	185	182	146	262	90	95	189	282
D1	0	0	0	0	0	0	0	294	129	173	44	129	365
D2	0	0	0	0	0	0	0	131	68	154	194	150	364
D3	0	0	0	0	0	0	0	371	271	101	233	298	102
D4	0	0	0	0	0	0	0	340	175	219	124	146	441

Tabel 2. Alokasi optimal distribusi produk hasil dari algoritma model

E1	E2		E3				E4					
P1	G1	G2	D1	D2	D3	D4	R1	R2	R3	R4	R5	R6
1	1	2	3	2	1	4	6	3	1	2	4	5

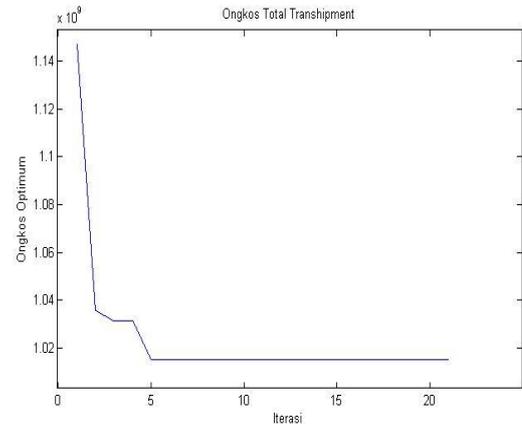
Dari tabel 1 dan tabel 2 diperoleh total ongkos distribusi optimal tiap moda transportasi pada tabel 3 dan pemilihan moda transportasi termurah pada tabel 4.

Tabel 3. Ongkos per moda transportasi (US \$)

Cost	Wingsbox	Truck	Efficiency
Transportation	\$ 98388	\$107540	8.51%
Loading-unloading	\$ 3300	\$ 3430	3.79%
Distribution	\$ 101688	\$ 110910	8.31%

Tabel 4. Kombinasi optimal moda transportasi

Kombinasi moda transportasi		
Echelon 1	Wingsbox	Truck
Echelon 2	1	0
Echelon 3	1	0
Echelon 4	1	0



Gambar 6. Grafik model total ongkos distribusi (diambil dari Gbest partikel)

Ongkos transportasi termurah (optimal) didapatkan dengan menggunakan moda transportasi *Wingsbox* dengan efisiensi 8.51% (\$9.152). Ongkos bongkar muat termurah (optimal) diperoleh dengan menggunakan moda transportasi *Wingsbox* dengan efisiensi 3.79% (\$130). Ongkos distribusi termurah diperoleh bilamana menggunakan moda transportasi *Wingsbox* hingga 8.31% atau sebesar \$9.222 dari menggunakan moda transportasi sebelumnya yaitu *Truck*. Dari contoh numerik dihasilkan TOD sebesar 0.318% dari kondisi sebelumnya 0.347% per produk.

Scenario analysis adalah sebuah proses menganalisis kemungkinan kejadian di masa depan dengan mempertimbangkan kemungkinan hasil alternative, proses ini dilakukan untuk mengetahui kondisi optimal model saat dilakukan modifikasi pada *decision variable* sebagai berikut:

Dilakukan 2 skenario analisa dengan merubah variabel keputusan pada tabel 5 untuk menguji model dalam kondisi yang berbeda.

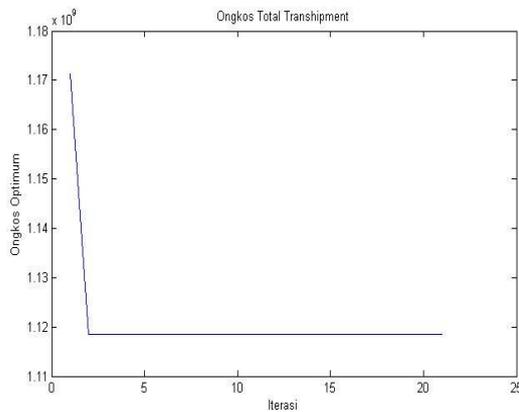
Tabel 5. *Scenario analysis* model

Skenario	D.V	(u) Kap angkut		Cons		Replikasi	
	Q	Wings	Truck	ba	bb	N	iterasi
1	1600000	5800	5000	90	0	50	20
2	1200000	5800	5000	80	0	150	20

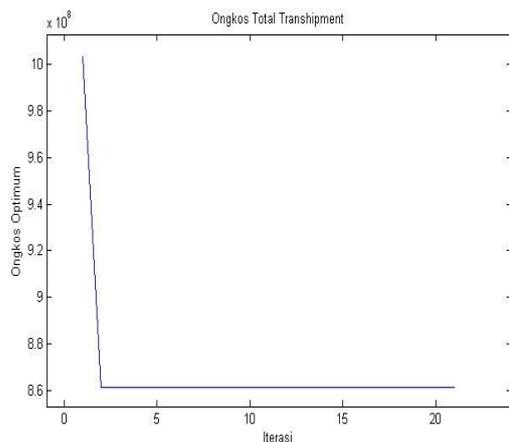
Tabel 6. Hasil *Scenario analysis* model

rute alokasi													Moda transportasi			TOD u1	TOD u2
P	G	D				R				E2	E3	E4					
1	1	2	1	2	3	4	5	2	1	6	3	4	1	1	1	\$111,920	\$117,688
1	1	2	2	3	1	4	1	3	6	2	4	5	1	1	1	\$86,502	\$96,722

Dari 2 hasil analisa skenario yang di lakukan, dipilih moda transportasi *Wings box* (1) karena menghasilkan TOD paling murah sebesar \$111.920 (Skenario 1) dan \$ 86.502 (Skenario 2). Ditampilkan pada gambar 7 dan gambar 8.



Gambar 7. Skenario 1 Total ongkos distribusi



Gambar 8. Skenario 2 Total ongkos distribusi

VI. Kesimpulan

Model ongkos distribusi dengan mempertimbangkan moda transportasi dan ongkos bongkar muat dalam sistem distribusi 4-eselon diklasifikasikan sebagai model optimasi *mixed fleet transshipment*. Sehingga dikembangkan algoritma *particle swarm optimization (PSO)* dengan *multiple vehicle transshipment*.

Dengan mempertimbangkan pemilihan moda transportasi dan ongkos bongkar muat dan jumlah produk yang di kirim, dihasilkan penghematan total ongkos distribusi menggunakan moda transportasi berkapasitas muat besar (*Wingsbox*).

Daftar Pustaka

- Bahagia. N. Senator, (2008). *Sistem Inventori*. ITB-Bandung.
- Costing LDC (2013), Tarif Angkut Depo LDC. OT Group Indonesia.
- Elizabeth F.G. Goldbrag, Marco C. Goldbrag and Givabaldo R. de Souza., (2008) *Particle Swarm Optimization Algorithm for the*

Traveling Salesman Problem. *Intech Research Journal*, 179-202. Brazil

Eri Domoto, Koji Okuhara, Nobuyuki Ueno and Hiroaki Ishii.,(2007). *Target Inventory Strategy In Multistages Supply Chain by Particle Swarm Optimization*. *Asia Pasific Management* 12 (2) 117-122.

Garside,K, Annisa. (2010). Model Simultan dan Decoupled untuk Penyelesaian Problem Integrasi Produksi Persediaan, Distribusi, Persediaan. *JTI UK Petra* Vol.10 No 1,11-25.Indonesia.

Kennedy, J. and Eberhart, R.C. (1995). *Particle swarm optimization*, *Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks*, Vol. 4, pp. 1942-1948, Perth, Western Australia November 1995, IEEE

Murthy. D. N. P, (1990). *Mathematical Modelling*. Pergamon Press.

Pujawan.I.Nyoman dan E.R.Mahendrawati (2010). *Supply Chain Management*. Guna Widya.

Santosa Budi. (2011). *Metoda Metaheuristik, Konsep dan Implementasi*. Guna Widya

Santoso A. (2009) Integrasi Kebijakan Persediaan-Transportasi (Pengiriman Langsung dan Berbagi) Di Sistem Rantai Pasok 4 Eselon. *Jurnal Teknik Industri ITB*, Vol 11, No.1,pp 15-32. Indonesia

Sathish G. (2010). *Efficient Inventory Optimization of multi product, Multiple Suppliers with Lead Time using PSO*. *International Journal of Computer Science and Information security*.Vol-7. No 1.

Shi, Y.H & Eberhart, R. C. (1998). *A Modified Particle Swarm Optimizer*. *IEEE International Conference Evolutionary Computation*, Anchorage, Alaska

Shi, X.H.; Liang, Y.C.; Lee, H.P.;Lu, C. & Wang, Q.X. (2007). *Particle swarm optimization based algorithms for TSP and generalized TSP*, *Information Processing Letters*, Vol. 103, pp. 169-176.

Sulistiyowati Heni, Rusdiansyah Ahmad dan Arvitrida.I. Niniet. (2011). Model Jaringan Distribusi Multi Eselon Untuk Produk Multi Item. ITS-Surabaya.

Xin-Li XU.; Xu CHENG.; Zhong-Chen YANG, Xu-Hua YANG (2003). *Improved Particle Swarm Optimization for Traveling Salesman Problem*. *Zhejiang University of Technology Hangzhou, China*.