

**PENGEMBANGAN MODEL KEPUTUSAN LOKASI DAN ALOKASI
PADA JEJARING RANTAI PASOK MULTI-ESELON DENGAN
*PARTICLE SWARM OPTIMIZATION ALGORITHM***

Eunike Rianiputri Kosasih, Amelia Santoso, Dina Natalia Prayogo

Jurusan Teknik Industri, Universitas Surabaya

Raya Kalirungkut, Surabaya 60293, Indonesia

E-mail: nikeekosasih@gmail.com

Abstrak

Pada *supply chain design* penentuan lokasi fasilitas industri merupakan keputusan yang harus diperhitungkan dengan tepat, karena keputusan lokasi merupakan keputusan jangka panjang. Selain itu, penentuan alokasi ke tiap entitas pada rantai pasok juga harus ditentukan. Shankar *et al.* (2013) mengembangkan model matematis terkait pemilihan lokasi dan alokasi pada jejaring rantai pasok multi-eselon. Namun model yang dikembangkan tersebut belum memperhitungkan batasan kapasitas armada dan kevariasian produk. Sedangkan jika penggunaan armada lebih besar dibandingkan dengan armada yang tersedia batasan kapasitas armada harus diperhitungkan, dan pada umumnya saat ini perusahaan memproduksi produk lebih dari satu jenis. Oleh karena itu penelitian ini akan mengembangkan model Shankar *et al.* (2013) menjadi model keputusan lokasi dan alokasi yang mempertimbangkan batasan kapasitas armada dan variasi produk. Model yang telah dikembangkan kemudian diuji coba menggunakan dua metode, yaitu metode optimasi dan *Particle Swarm Optimization* (PSO) *Algorithm*. Hasil yang diperoleh dari dua uji coba tersebut adalah, total biaya dari metode PSO 8% lebih tinggi dibandingkan dengan metode optimasi, namun waktu yang dibutuhkan PSO untuk menyelesaikan model lima kali lebih cepat dibanding metode optimasi, sehingga dapat dikatakan bahwa metode PSO lebih efektif untuk digunakan. Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa fungsi tujuan total biaya sensitif terhadap perubahan parameter *demand* dan tidak sensitif terhadap perubahan parameter kapasitas.

Kata kunci : *Supply chain design*, keputusan lokasi dan alokasi, PSO *algorithm*

Abstract

In the supply chain design, decision about industrial facility siting should be taken properly, because the location decision is a long-term decision. In addition, the determination of the allocation to each entity in the supply chain must also be determined. Shankar et al. (2013) developed a mathematical modelling related to location and allocation decisions on a network of multi-echelon supply chain. However, these model has not been considered the limitation of fleet capacity and variations product. Whereas if the usage of fleet larger than available fleet, capacity constraints must be considered, and nowadays the companies produce more than one type of product. Therefore, this study will develop a model of Shankar et al. (2013) into a location and allocation decision model that considers the limitation of fleet capacity and product variety. The model has been developed and tested using two methods, that are the optimization method and the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm. The results of these two methods are, total cost of PSO method is 8 % higher than the optimization method, but the time required by PSO to complete the model is five times faster than the optimization methods, so it can be concluded that PSO method is more effective to use. The sensitivity analysis shows that the objective function is sensitive to demand parameter changes and it is not sensitive to capacity parameters changes.

Keywords: *Supply chain design, location and allocation decisions, PSO algorithm*

PENDAHULUAN

Menurut Shankar *et al.* (2013), SCM berfokus pada tiga kategori utama yaitu, (i) *supply chain design* (ii) *supply chain planning* dan (iii) *supply chain control*. Pada *supply chain design*, salah satu keputusan yang harus ditentukan adalah keputusan dimana lokasi fasilitas pabrik akan didirikan dan keputusan alokasi pada setiap entitas pada rantai pasok. Keputusan tersebut merupakan keputusan untuk jangka panjang, oleh karena itu harus ditentukan dengan benar agar biaya yang dikeluarkan adalah biaya yang paling minimal.

Shankar *et al.* (2013) mengembangkan model matematis terkait pemilihan lokasi dan alokasi pada jejaring rantai pasok multi-eselon yang terdiri dari *supplier*, *plant* (pabrik), *distribution center* (DC) dan *customer zones* (CZ). Keputusan yang akan ditentukan dari model matematis Shankar *et al.* (2013) adalah dimana pabrik dan DC akan dibangun (alternatif lokasi pabrik dan DC diketahui) dan berapa jumlah bahan baku yang akan dialokasikan dari *supplier* ke pabrik, berapa jumlah produk yang akan dialokasikan dari pabrik ke DC dan berapa yang akan dialokasikan dari DC ke CZ.

Model yang dikembangkan Shankar *et al.* (2013) adalah model keputusan lokasi dan alokasi yang tidak memperhitungkan kapasitas armada. Sedangkan untuk perusahaan yang penggunaan armadanya lebih besar dari armada yang tersedia, batasan kapasitas armada perlu diperhitungkan. Oleh karena itu penelitian ini akan mempertimbangkan batasan kapasitas armada pada model keputusan lokasi dan alokasi. Selain itu, kebanyakan industri-industri saat ini memproduksi produk lebih dari satu jenis (multi-produk), sedangkan model milik Shankar *et al.* (2013) hanya mempertimbangkan satu jenis produk. Sehingga pada penelitian ini juga akan dilakukan pengembangan terhadap model Shankar *et al.* (2013) menjadi model keputusan lokasi dan alokasi yang mempertimbangkan kevariasian produk.

METODE PENELITIAN

Agar penelitian ini tetap terarah pada tujuan yang telah ditetapkan, diperlukan langkah-langkah sistematis mengenai pengerjaan penelitian ini. Langkah-langkah dalam penelitian ini meliputi: identifikasi masalah, merumuskan masalah, menentukan tujuan penelitian, menentukan manfaat penelitian, melakukan studi pustaka, menganalisis model awal, mengembangkan model, mengembangkan prosedur PSO *algorithm*, melakukan analisis sensitivitas, serta menyusun kesimpulan dan saran.

Langkah awal yang dilakukan adalah menganalisis model awal dan melakukan beberapa penyesuaian model. Setelah melakukan analisis, langkah selanjutnya adalah mengembangkan model kearah pengembangan yang telah ditentukan. Pengembangan model disertai dengan perancangan skenario yang selanjutnya akan digunakan untuk menyelesaikan model. Skenario dibangkitkan secara *random (generate data)* dengan menggunakan beberapa asumsi. Selanjutnya model pengembangan diselesaikan menggunakan skenario yang telah dirancang dengan metode optimasi.

Perancangan PSO *algorithm* dibutuhkan agar model pengembangan dapat diselesaikan dengan menggunakan metode ini. Setelah perancangan PSO *algorithm* selesai dilakukan, kemudian model pengembangan diselesaikan dengan metode ini. Skenario yang digunakan pada penyelesaian ini adalah skenario yang sama dengan skenario yang digunakan pada metode optimasi, sehingga hasil yang didapatkan dari kedua metode dapat dibandingkan. Analisis sensitivitas dilakukan pada akhir penelitian untuk mengetahui pengaruh perubahan parameter *input* terhadap fungsi tujuan model.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini berisi penjelasan mengenai pengembangan yang dilakukan beserta hasil penyelesaian dengan menggunakan dua metode, yaitu metode optimasi dan *PSO algorithm*. Selain itu disajikan pula hasil analisis sensitivitas terhadap perubahan dua parameter *input*.

1. Pengembangan model keputusan lokasi dan alokasi pada jejaring rantai pasok multi-eselon

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa pada umumnya perusahaan saat ini memproduksi produk lebih dari satu jenis, sehingga perlu dilakukan pengembangan agar model ini dapat digunakan untuk perusahaan yang memproduksi produk lebih dari satu jenis. Selain itu pengembangan lain yang perlu dilakukan adalah penambahan batasan kapasitas armada yang dimiliki masing-masing entitas (pabrik dan DC). Pada umumnya, permintaan satu jenis produk pada satu CZ dipenuhi oleh satu DC saja dan jumlah produk yang dialokasikan dari DC ke CZ sesuai dengan permintaan yang terdapat pada CZ tersebut (*full demand*). Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan penyesuaian model terhadap kondisi tersebut. Berikut adalah perbandingan antara model awal dengan model pengembangan yang akan dilakukan:

Tabel 1. Perbandingan model awal dengan model pengembangan

Karakteristik	Model Awal	Model Pengembangan
Produk	<i>Single-product</i>	<i>Multi-product</i>
Kapasitas armada	Tidak diperhitungkan	Diperhitungkan
Sistem alokasi	<i>Multi-supplier</i> Tidak <i>full demand</i>	<i>Single-supplier</i> <i>Full demand</i>

Model Shankar *et al.*(2013) kemudian dikembangkan sesuai dengan arah pengembangan tersebut. Berikut adalah model keputusan lokasi dan alokasi yang telah dikembangkan:

Indeks

h	<i>supplier</i>
i	pabrik
e	DC
j	CZ
b	jenis produk
c	bahan baku
s	armada DC
r	armada pabrik

Parameter

D_{bj}	: Permintaan rata-rata pelanggan j untuk jenis produk b
K_{ib}	: Kapasitas pabrik i untuk jenis produk b
K_e	: Kapasitas DC e
K_{ch}	: Kapasitas suplai bahan baku c pada <i>supplier</i> h
K_{es}	: Kapasitas armada s pada DC e
K_{ir}	: Kapasitas armada r pada pabrik i
f_i	: Biaya tetap untuk membangun pabrik i
f_e	: Biaya tetap untuk membangun DC e
FC_{es}	: Biaya tetap penggunaan armada s pada DC e
FC_{ir}	: Biaya tetap penggunaan armada r pada pabrik i
C_{hc}	: Harga beli bahan baku c pada <i>supplier</i> h
T_{hi}	: Biaya transportasi dari <i>supplier</i> h ke pabrik i
C_{ib}	: Biaya produksi satu unit jenis produk b pada pabrik i
T_{ire}	: Biaya transportasi dari pabrik i ke DC e menggunakan armada pabrik r
T_{esj}	: Biaya transportasi dari DC e ke CZ j menggunakan armada DC s
HC_e	: Biaya penanganan satu unit produk pada DC e
BOM_{bc}	: <i>Bill of material</i> jenis produk b

Variabel keputusan

- X_{hci} Jumlah bahan baku c yang dikirim dari *supplier* h kepada pabrik i
- X_{ib} Jumlah jenis produk b yang dipasok pabrik i
- X_{ci} Jumlah bahan baku c yang dibutuhkan pabrik i
- XS_{ci} Jumlah bahan baku c yang diterima pabrik i
- X_{irbe} Jumlah jenis produk b yang dipasok pabrik i ke DC e menggunakan armada pabrik r
- X_{esbj} Jumlah jenis produk b yang dipasok DC e ke CZ j menggunakan armada DC s

Fungsi tujuan : Minimasi total biaya

Total biaya =

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^n f_i y_i + \sum_{e=1}^t f_e y_e + \sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^y FC_{ir} Y_{ir} + \sum_{e=1}^t \sum_{s=1}^d FC_{es} Y_{es} + \sum_{h=1}^l \sum_{c=1}^p C_{hc} \left(\sum_{i=1}^n X_{hci} \right) + \\ & \sum_{h=1}^l \sum_{i=1}^n T_{hi} Y_{hi} + \sum_{i=1}^n \sum_{b=1}^w C_{ib} \left(\sum_{r=1}^y \sum_{e=1}^t X_{irbe} \right) + \sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^y \sum_{e=1}^t T_{ire} Y_{ire} + \\ & \sum_{e=1}^t HC_e \left(\sum_{s=1}^d \sum_{b=1}^w \sum_{j=1}^m X_{esbj} \right) + \sum_{e=1}^t \sum_{s=1}^d \sum_{j=1}^m T_{esj} Y_{esj} \end{aligned} \quad (1)$$

S.t

Batasan yang menjamin pemenuhan permintaan produk b pada CZ j .

$$D_{bj} = \sum_{e=1}^t \sum_{s=1}^d X_{esbj} \quad \text{for } b=1,..w, j = 1,..m \quad (2)$$

Batasan yang menjamin jumlah produk yang dikirim DC e tidak melebihi kapasitas DC tersebut.

$$\sum_{s=1}^d \sum_{b=1}^w \sum_{j=1}^m X_{esbj} \leq K_e y_e \quad \text{for } e = 1,..t \quad (3)$$

Batasan yang menjamin jumlah produk yang dikirim DC e menggunakan armada s tidak melebihi kapasitas armada tersebut.

$$\sum_{b=1}^w \sum_{j=1}^m X_{esbj} \leq K_{es} Y_{es} \quad \text{for } e = 1,..t, s = 1,..d \quad (4)$$

Batasan untuk menentukan keputusan ada tidaknya pengiriman dari DC e ke CZ j menggunakan armada s .

$$\sum_{b=1}^w X_{esbj} \leq M.Y_{esj} \quad \text{for } e = 1,..t, s = 1,..d, j = 1,..m \quad (5)$$

Batasan untuk menentukan keputusan ada tidaknya pengiriman produk b dari DC e ke CZ j menggunakan armada s .

$$X_{esbj} \leq M.Y_{esbj} \quad \text{for } e = 1,..t, s = 1,..d, b=1,..w, j = 1,..m \quad (6)$$

Batasan yang memastikan pemenuhan permintaan produk b pada CZ j hanya dilayani oleh satu DC saja.

$$\sum_{e=1}^t \sum_{s=1}^d Y_{esbj} = 1 \quad \text{for } b=1,..w, j = 1,..m \quad (7)$$

Batasan yang menjamin bahwa jumlah produk b yang dikirim oleh DC e tidak melebihi jumlah produk b yang diterima DC tersebut.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^y X_{irbe} - \sum_{s=1}^d \sum_{j=1}^m X_{esbj} \geq 0 \quad \text{for } e = 1,..t, b = 1,..w \quad (8)$$

Batasan yang menjamin jumlah produk b yang dikirim oleh pabrik i tidak melebihi kapasitas pabrik i untuk produk tersebut.

$$\sum_{r=1}^y \sum_{e=1}^t X_{irbe} \leq K_{ib} y_i \quad \text{for } i = 1,..n, b = 1,..w \quad (9)$$

Batasan yang menjamin jumlah produk yang dikirim pabrik i menggunakan armada r tidak melebihi kapasitas armada tersebut.

$$\sum_{b=1}^w \sum_{e=1}^t X_{irbe} \leq K_{ir} Y_{ir} \quad \text{for } i = 1,..n, r = 1,..y \quad (10)$$

Batasan untuk menentukan keputusan ada tidaknya pengiriman dari pabrik i ke DC e menggunakan armada r .

$$\sum_{b=1}^w X_{irbe} \leq M.Y_{ire} \quad \text{for } i = 1,..n, r = 1,..y, e = 1,..t \quad (11)$$

Batasan untuk menentukan keputusan ada tidaknya pengiriman produk b dari pabrik i ke DC e menggunakan armada r .

$$X_{irbe} \leq M.Y_{ire} \quad \text{for } i=1,..n, r=1,..y, e = 1,..t, b=1,..w \quad (12)$$

Batasan yang memastikan pemenuhan permintaan produk b pada DC e hanya dilayani oleh satu pabrik saja.

$$\sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^y Y_{irbe} = Y_e \quad \text{for } b=1,..w, e = 1,..t \quad (13)$$

Batasan-batasan untuk mengonversi produk menjadi bahan baku.

$$X_{ib} = \sum_{e=1}^t \sum_{r=1}^y X_{irbe} \quad \text{for } i = 1,..n, b = 1,..w \quad (14)$$

$$X_{ci} = \sum_{b=1}^w X_{ib} BOM_{bc} \quad \text{for } c = 1, \dots, p, i = 1, \dots, n \quad (15)$$

$$XS_{ci} = \sum_{h=1}^l X_{hci} \quad \text{for } c = 1, \dots, p, i = 1, \dots, n \quad (16)$$

$$X_{ci} \leq XS_{ci} \quad \text{for } c = 1, \dots, p, i = 1, \dots, n \quad (17)$$

Batasan yang menjamin jumlah bahan baku c yang dikirim oleh *supplier* h tidak melebihi kapasitas *supplier* h untuk bahan baku tersebut.

$$\sum_{i=1}^n X_{hci} y_i \leq K_{ch} \quad \text{for } h = 1, \dots, l, c = 1, \dots, p \quad (18)$$

Batasan untuk menentukan keputusan ada tidaknya pengiriman dari *supplier* h ke pabrik i .

$$\sum_{c=1}^p X_{hci} \leq M \cdot Y_{hi} \quad \text{for } h = 1, \dots, l, i = 1, \dots, n \quad (19)$$

Batasan untuk menentukan keputusan ada tidaknya pengiriman bahan baku c dari *supplier* h ke pabrik i .

$$X_{hci} \leq M \cdot Y_{hci} \quad \text{for } h=1,..l, c=1,..p, i=1,..n \quad (20)$$

Batasan yang menjamin pemenuhan kebutuhan bahan baku c pada pabrik i hanya dilayani oleh satu *supplier* saja.

$$\sum_{h=1}^l Y_{hci} = Y_i \quad \text{for } c=1,..p, i=1,..n \quad (21)$$

$Y_i, Y_e, Y_{es}, Y_{ir}, Y_{esj}, Y_{ire}, Y_{hi}, Y_{esbj}, Y_{irbe}, Y_{hci}$

for $i = 1, \dots, n, e = 1, \dots, t, s = 1, \dots, d, r = 1, \dots, y, j = 1, \dots, m, \text{ for } h = 1, \dots, l, b=1,..w, c=1,..p$

Keterangan:

M : *Big M*, bilangan positif yang sangat besar nilainya

2. Perancangan PSO algorithm

Perancangan *PSO algorithm* dibutuhkan agar model keputusan lokasi dan alokasi yang telah dikembangkan dapat diselesaikan dengan menggunakan metode ini. Definisi *PSO* yang dikemukakan oleh Ai dan Kachitvichyanukul

(2009), yaitu PSO merupakan metode pencarian yang mengadopsi perilaku sekelompok organisme (seperti kumpulan lebah, ikan, dan burung) dan meniru perpindahan fisik individu dalam kelompoknya sebagai metode pencarian. Berikut adalah langkah-langkah untuk merancang PSO yang sesuai dengan model keputusan lokasi dan alokasi:

1. Memasukkan nilai parameter-parameter yang dibutuhkan.
2. Menentukan jumlah partikel.
3. Membentuk solusi awal (*initial solution*) yang tetap memenuhi batasan-batasan yang ada dan menentukan nilai *fitness* awal secara *random*. Solusi awal dibangkitkan sejumlah partikel yang telah ditentukan.
4. Menentukan *personal best* (*pbest*) awal untuk setiap partikel n dan *global best* (*gbest*) awal secara keseluruhan. *Pbest* adalah solusi terbaik partikel n pada setiap iterasinya. Pada solusi awal, *pbest* partikel n adalah sama dengan bilangan *random* yang telah dibangkitkan pada langkah ke-3 di atas. Sedangkan *gbest* adalah solusi paling terbaik di antara semua partikel n .
5. Menentukan besarnya kecepatan untuk setiap partikel n . Untuk posisi awal, kecepatan setiap partikel n ditentukan sebesar 0,1.
6. Memperbaharui posisi setiap partikel n (). Setiap partikel n dapat memiliki posisi yang berbeda-beda. Posisi baru partikel merupakan penjumlahan antara posisi pada iterasi sebelumnya dengan kecepatan partikel.
7. Menghitung nilai fungsi tujuan (*fitness*) untuk setiap partikel n . Untuk setiap posisi baru yang dikunjungi oleh partikel n , nilai fungsi tujuan akan dihitung kembali.
8. Menentukan *pbest* untuk setiap partikel n . *Pbest* baru ditentukan dengan membandingkan nilai fungsi tujuan partikel n dengan *pbest* sebelumnya. Jika nilai fungsi tujuan pada posisi baru lebih baik daripada *pbest* sebelumnya, maka posisi baru tersebut menjadi *pbest*. Jika tidak, maka *pbest* partikel n tidak diperbaharui.
9. Menentukan *gbest*. *Gbest* diperbaharui jika ada solusi baru yang lebih baik dari *gbest* sebelumnya. Jika tidak ada solusi yang lebih baik, maka *gbest* tidak diperbaharui.

10. Mengecek apakah *stopping rule* sudah terpenuhi, jika tidak maka dan kembali ke langkah 5. Jika ya, maka iterasi selesai.

3. *Perbandingan penyelesaian model menggunakan metode optimasi dengan PSO algorithm*

Setelah model keputusan lokasi dan alokasi diuji coba dengan menggunakan dua metode, selanjutnya akan dibandingkan hasil yang didapat dari kedua metode ini. Berikut adalah perbandingan hasil penyelesaian model menggunakan metode optimasi dan menggunakan *PSO algorithm*:

Tabel 2. Perbandingan Hasil Penyelesaian Model dengan Metode Optimasi dan *PSO Algorithm*

	Metode Optimasi	Metode <i>PSO Algorithm</i>	% selisih
<i>Run time (menit)</i>	99	20	80%
Total biaya (Rp/tahun)	153.454.242.400	166.436.843.243	8%

Berdasarkan Tabel 5.19 dapat dilihat bahwa total biaya yang didapatkan dengan menggunakan metode optimasi lebih baik dibandingkan dengan hasil yang didapat dari metode PSO. Hasil metode PSO 8% lebih tinggi dibandingkan dengan hasil metode optimasi. Namun waktu yang dibutuhkan metode PSO untuk menyelesaikan model ini hampir lima kali lebih cepat dibandingkan dengan metode optimasi. Jadi dapat disimpulkan bahwa metode PSO lebih efektif digunakan untuk menyelesaikan model keputusan lokasi dan alokasi, karena selisih fungsi tujuan dibawah 10% masih bisa ditoleransi.

4. *Analisis sensitivitas*

Analisis sensitivitas dilakukan dengan mengubah dua parameter *input* yaitu permintaan konsumen (*demand*) dan semua parameter kapasitas. Perubahan parameter dilakukan dengan menaikkan nilai parameter menjadi +5%, +10%, +15% dan juga menurunkan nilai parameter menjadi -5%, -10%, -15%. Berikut adalah hasil analisis sensitivitas terhadap perubahan parameter *demand*.

Tabel 3. Analisis Sensitivitas – Perubahan Parameter *Demand*

Perubahan Parameter <i>Demand</i>	Total Biaya (Rp/tahun)	% Perubahan Fungsi Tujuan
-15%	152.486.295.121	9%
-10%	144.123.008.979	15%
-5%	165.081.121.343	1%
0%	166.436.843.243	0%
5%	177.406.432.038	6%
10%	184.419.752.093	10%
15%	201.815.138.209	18%

Fungsi tujuan dikatakan sensitif terhadap perubahan parameter jika persentase perubahan fungsi tujuan lebih besar dibandingkan dengan persentase perubahan parameter. Berdasarkan Tabel 3 dapat disimpulkan bahwa fungsi tujuan sensitif terhadap perubahan parameter *demand*.

Berikut adalah hasil analisis sensitivitas terhadap perubahan parameter kapasitas:

Tabel 4. Analisis Sensitivitas – Perubahan Parameter Kapasitas

Perubahan Parameter Kapasitas	Total Biaya (Rp/tahun)	% Perubahan Fungsi Tujuan
-15%	176.564.007.827	5,7%
-10%	168.370.146.479	1,1%
-5%	168.328.422.514	1,1%
0%	166.436.843.243	0%
+ 5%	160.586.882.915	3,6%
+ 10%	172.483.917.975	3,5%
+ 15%	152.566.228.417	0.09

Berdasarkan Tabel 4 dapat disimpulkan bahwa nilai fungsi tujuan tidak sensitif terhadap perubahan parameter kapasitas. Hal ini berarti persentase perubahan nilai fungsi tujuan tidak lebih besar dari persentase perubahan parameter kapasitas.

KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini mengembangkan model Shankar *et al.* (2013) menjadi model keputusan lokasi dan alokasi yang mempertimbangkan batasan kapasitas armada dan kevariasian produk (multi-produk). Algoritma metaheuristik yang digunakan untuk menyelesaikan model ini adalah *Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm*. Dengan menggunakan algoritma metaheuristik masalah keputusan lokasi dan alokasi dapat diselesaikan dalam waktu yang lebih singkat dengan hasil yang mendekati optimal. *Run time* yang dibutuhkan PSO untuk menyelesaikan model ini lima kali lebih cepat dari *run time* metode optimasi dengan hasil total biaya 8% lebih tinggi dibandingkan dengan metode optimasi. Metode PSO dapat dikatakan lebih efektif digunakan untuk menyelesaikan model keputusan lokasi dan alokasi. Berdasarkan analisis sensitivitas dapat disimpulkan bahwa fungsi tujuan total biaya sensitif terhadap perubahan parameter *demand*, namun tidak sensitif terhadap perubahan parameter kapasitas.

Hasil uji coba model dengan menggunakan algoritma PSO belum lebih bagus dari hasil uji coba model menggunakan metode optimasi, sehingga untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat memperbaiki prosedur PSO yang telah dirancang pada penelitian ini. Selain memperbaiki prosedur PSO, saran untuk penelitian selanjutnya adalah mencoba algoritma lain yang lebih sesuai diterapkan pada model keputusan lokasi dan alokasi, sehingga hasil yang didapatkan dapat lebih baik. Pada pengembangan model ini konversi produk menjadi bahan baku belum mempertimbangkan *waste* produk. Sedangkan pada industri umumnya selalu ada *waste*. Oleh karena itu, untuk penelitian selanjutnya diharapkan *waste* dapat diperhitungkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ai, T.J., Kachitvichyanukul, V., (2009), "A Particle Swarm Optimization for the Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery", *Computers & Operation Research* 36, pp. 1693-1702.
- Bowersox, D.J., Closs, D.J., Cooper, M.B., Bowersox, J.C., (2013), *Supply Chain Logistics Management, Fourth Edition*, New York: McGraw-Hill.
- Chopra, S., Meindl, P., (2013), *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation, Fifth Edition*, Pearson Education International, New Jersey USA.
- Christopher, M., (1998), *Logistics and Supply Chain Management: Strategies for Reducing Cost and Improving Service*, England: Financial Times.
- Coyle, J.J., Langley, C.J., Gibson, B.J., Novack, R.A., Bardi, E.J., (2008), *Supply Chain Management: A Logistics Perspective*, USA: South-Western Cengage Learning.
- Hosseinenezhad, S.J., Jabalameli, M.S., Naini, S.G.J., (2013), "A Fuzzy Algorithm for Continuous Capacitated Location Allocation Model with Risk Consideration", *Applied Mathematical Modelling*.
- Hugos, M., (2003), *Essentials of Supply Chain Management, USA: Wiley*.
- Melo M.T., Nickel S., Saldanha-da-Gama F., (2009), "Facility Location and Supply Chain Management – A Review", *European Journal of Operational Research*, Vol 196, pp. 401-412.
- Mousavi, S.M., (2013), "Capacitated Location Allocation Problem with Stochastic Location and Fuzzy Demand: A Hybrid Algorithm", *Applied Mathematical Modelling*, Vol 37, pp. 5109-5119.
- Parung, J., (2008), *Buku Ajar Metodologi Penelitian*, Jurusan Teknik Industri, Universitas Surabaya.
- Pujawan, I.N., (2005), *Supply Chain Management*, Surabaya: Guna Widya.
- Santoso, B., Willy, P., (2011), *Metoda Metaheuristik Konsep dan Implementasi*, Surabaya: Guna Widya.

- Shankar, B.L., Basavarajappa, S., Chen, J.C.H., Kadadevaramath, R.S., (2013), “Location and Allocation Decisions for Multi-echelon Supply Chain Network – A Multi-Objective Evolutionary Approach”, *Expert Systems with Application*, Vol 40, pp. 551-562.
- Simchi-Levi D., Kaminsky P., Simchi-Levi Edith, (2008), *Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies, and Case Studies, Third Edition*, New York: McGraw-Hill.
- Wang, K.J., Makond, B., Liu S.Y., (2011), “Location and Allocation Decisions in A Two-Echelon Supply Chain with Stochastic Demand – A Genetic-Algorithm Based Solution”, *Expert Systems with Application*, Vol 38, pp. 6125-6131.
- Wang, S., Watada, J., (2012), “A Hybrid Modified PSO Approach to VaR-Based Facility Location Problems with Variable Capacity in Fuzzy Random Uncertainty”, *Information Sciences*, Vol 192, pp. 3-18.