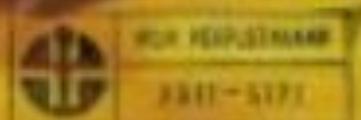


ISSN 1979-0600

Journal of
**Logistics and
Supply Chain Management**

Volume 1, Number 1, February 2008



Published by:

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING, UNIVERSITY OF SURABAYA
and
ASOSIASI LOGISTIK INDONESIA

Volume 1

Issue 1

February

2008

ISSN 1979-0600

1979-0600

Journal of
**Logistics and
Supply Chain Management**

Volume 3, Number 1, September 2013

Editorial

Perancangan Model Optimasi dan Algoritma *Tabu Search* untuk *Split Delivery Vehicle Routing Problem with Balanced Total Service Time Sistem* 01 – 11

· Amelia Santoso, Dina Natalia Prayogo, dan David Ongkowidjoyo

Perancangan Sistem Persediaan Multi Produk pada Distributor UD. X, Surabaya 12 – 21

· Edwin Wahyudi

Perancangan Strategi Distribusi PT DPH untuk Meminimalkan Total Biaya Distribusi dengan Mempertimbangkan Keseimbangan *Supply* dan *Demand* 22 – 33

· Amelia Santoso, Jerry Agus Arlianto, dan Ferry Setiawan

Pengembangan Model Optimasi *Closed Loop Supply Chain* Menggunakan *Fuzzy Goal Programming* 34 – 46

· Jerry Agus Arlianto, Dina Natalia Prayogo, dan Winda Christina

Perancangan Sistem Distribusi dan Transportasi pada Distributor Semen Gresik di PT. Sinar Abadi Karya Bersama, Surabaya 47 – 60

· Wirawan Shelly Sugianto

Perancangan Strategi Distribusi PT DPH untuk Meminimalkan Total Biaya Distribusi dengan Mempertimbangkan Keseimbangan Supply dan Demand

Amelia Santoso, Jerry Agus Arlianto dan Ferry Setiawan
Jurusan Teknik Industri, Universitas Surabaya
Raya Kalirungkut, Surabaya 60293, Indonesia
E-mail: amelia@staff.ubaya.ac.id

Abstrak

PT DPH merupakan perusahaan bisnis perdagangan buku dengan jaringan distribusi 3 eselon yang kompleks. PT DPH kesulitan untuk meminimalkan total biaya distribusinya, terutama disebabkan adanya ketidakseimbangan antara supply dan demand produk. Penelitian ini merancang suatu strategi distribusi, mulai dari strategi persediaan produk hingga strategi pengalokasian dan pengiriman produk. Strategi persediaan produk berupa rancangan jaringan distribusi baru dan juga sistem kontrol persediaan berdasarkan karakteristik produk. Sedangkan strategi pengalokasian dan pengiriman produk berupa keputusan jadwal dan rute pengiriman, serta jumlah setiap jenis produk yang dikirimkan. Keputusan tersebut dibuat melalui model GA IRP DPH yang bertujuan untuk meminimalkan biaya persediaan dan biaya pengiriman dari PT DPH secara simultan.

Kata kunci: Keseimbangan supply dan demand, inventory routing problem (IRP), Genetic Algorithm (GA), strategi distribusi

Abstract

PT DPH is a company in trading book business with complex three-echelon distribution networks. Therefore, PT DPH difficult to minimize the total cost of distribution, primarily due to an imbalance between supply and demand of products. This study to design a distribution strategy, ranging from strategy of product inventory to strategy of product allocation and product delivery. Strategy of product inventory are new distribution network design and inventory control system based on product characteristics. While the strategy of product allocation and product delivery are the decisions of schedules and routes of delivery, and also the number of each type of product shipped. The decisions was made through the GA IRP DPH model aims to minimize inventory costs and delivery costs of PT DPH simultaneously.

Keywords: Balance supply and demand, inventory routing problem (IRP), Genetic Algorithm (GA), distribution strategy

1. Pendahuluan

PT Dharmasava Putera Harapan (DPH) adalah perusahaan yang mengelola sistem kemitraan Toko Buku Togamas. Saat ini, jaringan distribusi PT DPH terdiri dari 1 kantor pusat sebagai pengambil segala keputusan distribusi perusahaan, 3 distributor sebagai *crossdock* yang mendistribusikan buku ke toko-toko di bawah tanggung jawabnya dan 24 toko sebagai *point of sales* (POS). Distributor Malang bertanggung jawab atas pendistribusian buku untuk toko di wilayah Jawa Timur (14 toko), distributor Jogjakarta untuk toko di wilayah Jawa Tengah (7 toko) dan distributor Bandung untuk toko di wilayah Jawa Barat (3 toko). Dengan jaringan distribusi tersebut, PT DPH kesulitan untuk meminimalkan total biaya distribusinya, yang terutama disebabkan oleh ketidakseimbangan antara *supply* dan *demand*.

Ketidakeimbangan ini sendiri terjadi karena pemesanan produk yang dilakukan kantor pusat dilakukan hanya dengan memperkirakan permintaan berdasar data penjualan di masing-masing toko. Strategi ini seringkali menyebabkan ketersediaan buku tidak sesuai dengan permintaan yang terjadi,

baik berupa kekurangan produk ataupun kelebihan produk. Ketidakseimbangan *supply* dan *demand* juga terjadi karena strategi pengiriman produk, khususnya pada distributor Malang, tidak fleksibel. Setiap toko di wilayah Jawa Timur hanya memperoleh kiriman produk seminggu sekali akibat terbatasnya jumlah kendaraan. Secara tidak langsung, hal ini menyebabkan pengaturan persediaan dan pengiriman produk tidak dapat dilakukan secara simultan sehingga total biaya distribusi PT DPH menjadi lebih besar. Penyelesaian masalah pada jaringan distribusi PT DPH semakin rumit karena setiap buku maupun toko memiliki karakteristik yang berbeda. Sebuah buku tidak dapat disubstitusi dengan mudah meskipun jenis dan pertambahannya sangat banyak. Buku juga memiliki umur ataupun umur jual yang bervariasi, bisa beberapa bulan atau hanya beberapa hari. Karakteristik toko dibedakan berdasarkan tipe permintaan buku dari konsumennya.

Salah satu cara PT DPH mengatasi segala permasalahan di atas adalah dengan menerapkan sistem *pick-up* dan *delivery* pada setiap kunjungan ke toko. Artinya, pada setiap kunjungan tidak hanya dilakukan pengiriman produk tetapi juga pengambilan produk berlebih untuk nantinya didistribusikan ke toko lain. Selain itu, terkadang PT DPH juga memanfaatkan jasa ekspedisi untuk mengirimkan produk yang dibutuhkan toko dengan segera. Namun karena kedua cara tersebut hanya bersifat menanggulangi dan tidak mengatasi akar masalahnya, pada penelitian ini akan dibuat suatu rancangan strategi distribusi yang berfokus pada keseimbangan *supply* dan *demand* produk di PT Dharmasava Putera Harapan guna meminimalkan total biaya distribusi.

Sebagian besar penelitian terdahulu terkait minimalisasi biaya perusahaan hanya berfokus pada 1 bagian strategi saja, strategi persediaan atau strategi pengiriman. Persediaan berperan penting dalam meningkatkan total *demand* yang dapat dilayani serta dapat mengurangi biaya karena pencapaian skala ekonomis ketika proses produksi dan distribusi [1]. Secara umum, terdapat 5 komponen biaya yang sangat mempengaruhi total biaya distribusi perusahaan, antara lain *procurement cost*, *inventory carrying cost*, *cost of filling customer's orders*, *stockout cost* dan *cost of operating the information processing system*. Terdapat 2 jenis sistem kontrol persediaan yang paling umum digunakan, yakni *perpetual inventory system* dan *periodic inventory system* [2]. *Perpetual system* memerlukan pencatatan jumlah persediaan secara terus-menerus sehingga juga sering disebut *continuous review*. Sedangkan *periodic system*, jumlah persediaan diperiksa pada suatu interval waktu yang tetap. Selain itu juga dijelaskan tentang *service levels* sebagai salah satu dasar untuk menentukan besarnya *reorder points*.

Secara khusus telah dilakukan penelitian pengaturan persediaan dari produk *perishable* [3]. Pengaturan ini bertujuan untuk menurunkan biaya utama dari *perishables* yaitu “waste”. Beberapa strategi untuk mengurangi jumlah “waste” tersebut adalah menurunkan *lead time*, memanfaatkan kemauan konsumen untuk mensubstitusi permintaan, dan membatasi *product assortment* sehingga rata-rata permintaan tiap produk menjadi lebih pasti.

Perancangan *distribution network* sebagai kunci keseluruhan keuntungan perusahaan karena dapat mempengaruhi biaya *supply chain* maupun *customer experience* secara langsung [4]. Perubahan rancangan *distribution network* akan berdampak pada keseluruhan biaya *supply chain*, baik dari segi persediaan, transportasi, fasilitas, informasi, sumber daya, maupun harga. Misalnya saja dengan peningkatan jumlah fasilitas dalam *supply chain*, jumlah persediaan akan meningkat sehingga biaya persediaan juga meningkat. Akan tetapi, peningkatan jumlah fasilitas tersebut juga dapat menyebabkan turunnya rata-rata biaya pengiriman ke konsumen karena jarak pengiriman menjadi lebih dekat. Sejalan dengan peningkatan jumlah fasilitas, awalnya total biaya *supply chain* menurun dan kemudian meningkat. Oleh karena itu, suatu *supply chain network* harus menjaga semua segi biaya dalam kondisi skala ekonomis agar total biayanya menjadi minimal.

Perancangan model optimalisasi *vehicle routing problem with simultaneous pickups and deliveries and time windows* (VRP-SPDTW) bertujuan untuk meminimalkan total biaya pengiriman [5]. Model VRP-SPDTW ini merupakan pengembangan dari VRP dasar yang mempertimbangkan kebutuhan konsumen akan adanya pengiriman dan pengambilan barang secara simultan serta adanya batasan waktu.

Jadi pentingnya koordinasi dari 2 penggerak *supply chain*, yakni manajemen persediaan dan manajemen transportasi atau yang lebih dikenal dengan *inventory routing problem* (IRP), bertujuan untuk menentukan nilai persediaan dan strategi distribusi secara simultan guna meminimalkan total biaya *supply chain*. IRP memiliki jaringan distribusi berupa *a many-to-one distribution network* [6]. Ini merupakan bagian dari *inbound logistic* di mana jaringannya terdiri dari sebuah depot, sebuah

pabrik perakitan, dan N *supplier* yang masing-masing menyediakan produk yang berbeda bagi pabrik perakitan. Tujuan dari IRP ini adalah meminimalkan total biaya transportasi dan biaya simpan dari keseluruhan horizon perencanaan. Untuk penyelesaiannya menggunakan *Hybrid Genetic Algorithm* (HGA), yang merupakan pengembangan metode metaheuristik *Genetic Algorithm* (GA).

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah membuat suatu rancangan strategi distribusi untuk meminimalkan total biaya distribusi PT DPH dengan mempertimbangkan keseimbangan *supply* dan *demand* produk. Strategi distribusi yang dirancang akan meliputi seluruh bagian strategi distribusi, yaitu strategi persediaan produk serta strategi pengalokasian dan pengiriman produk.

2. Metode

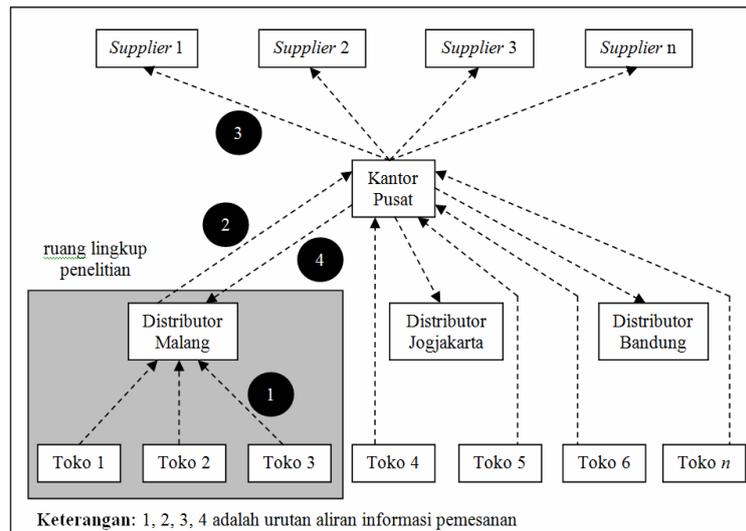
Pada penelitian ini akan dirancang suatu strategi distribusi bagi PT DPH yang terdiri dari 2 bagian, yakni strategi persediaan produk dan strategi pengalokasian dan pengiriman produk. Strategi persediaan produk akan berdasarkan analisis terhadap strategi distribusi yang digunakan PT DPH saat ini, mulai dari bentuk jaringan distribusi perusahaan hingga sistem pemesanan produk. Hasil dari strategi persediaan ini berupa sistem kontrol persediaan untuk mengambil keputusan pemesanan produk yang mampu menyeimbangkan *supply* dan *demand* produk. Strategi pengalokasian dan pengiriman produk berupa model metaheuristik GA IRP DPH untuk meminimalkan total biaya distribusi perusahaan. Total biaya distribusi tersebut terdiri dari biaya transportasi, baik biaya variabel maupun biaya tetap; biaya *inventory*; biaya *lost sales*; dan biaya lembur. Hasil optimasi dari model ini berupa keputusan jadwal kunjungan ke setiap toko, jumlah pengiriman dari setiap jenis produk, rute pengiriman pada masing-masing periode serta jumlah kendaraan yang diperlukan perusahaan.

Data untuk penelitian ini diperoleh dari wawancara dengan CEO dan *staff* PT DPH, serta dari data sekunder yang terdapat pada teknologi informasi perusahaan. Data tersebut terdiri dari profil perusahaan, detail strategi distribusi PT DPH saat ini dan *lead time* distribusinya. Selain itu, data yang hanya berfokus pada PT DPH wilayah Jawa Timur, seperti jadwal dan rute pengiriman produk, data penjualan dan retur produk juga data lainnya.

Selanjutnya, seluruh data tersebut diolah dan dianalisis guna memahami lebih lanjut tentang permasalahan yang dihadapi PT DPH. Hasilnya, diketahui bahwa produk PT DPH dapat dibedakan berdasar jumlah penjualannya menjadi 2 klasifikasi, antara lain produk dengan penjualan kecil (≤ 30 buku/ 3 bulan) dan produk dengan penjualan besar (> 30 unit/ 3 bulan). Produk dengan penjualan kecil dapat dikelompokkan kembali menjadi produk *perishable* dan produk *non-perishable*. Secara lebih detail, produk *perishable* dibagi lagi berdasar umurnya, yaitu *perishable* mingguan, *perishable* 2 mingguan, dan *perishable* bulanan. Sedangkan produk dengan penjualan besar dikelompokkan menjadi produk dengan pola permintaan dan produk tanpa pola permintaan. Hasil pengolahan dan analisis data retur dari toko-toko di Jawa Timur menunjukkan bahwa rata-rata jumlah retur produk setiap minggunya selalu lebih kecil daripada jumlah pengirimannya. Dengan kata lain, *pick-up* produk pada sistem distribusi PT DPH dapat diasumsikan tidak ada.

3. Hasil dan pembahasan

Analisis terhadap strategi distribusi PT DPH saat ini menunjukkan bahwa sistem persediaan sentralisasi menyebabkan *lead time* distribusi menjadi lama. Penyebabnya, pada sistem sentralisasi, kantor pusat harus mengolah informasi seluruh toko dan ini memerlukan waktu sekitar 12 jam atau 2 hari kerja. Karena itu, rancangan strategi persediaan yang pertama berupa sistem persediaan desentralisasi, khususnya pada aliran informasi pemesanan PT DPH. Dengan sistem ini, *distributor* Malang akan bertanggung jawab terhadap pengambilan keputusan pemesanan 14 toko di wilayah Jawa Timur, sedangkan kantor pusat terhadap 10 toko yang lain. Keputusan pemesanan *distributor* Malang selanjutnya dikirimkan ke kantor pusat untuk digabungkan menjadi PO dan dikirimkan ke *supplier-supplier*. Penggabungan keputusan pemesanan di kantor pusat ini dilakukan agar alur informasi antara PT DPH dan *supplier* tetap sederhana karena hanya melalui kantor pusat saja. Sistem aliran informasi pemesanan ini ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Aliran informasi pemesanan PT DPH dengan sistem desentralisasi

Dengan sistem desentralisasi ini, keputusan pemesanan semua toko diselesaikan dalam 1 hari kerja, lebih cepat 1 hari dibandingkan dengan sistem sentralisasi. Kondisi ini juga berarti bahwa keseluruhan *lead time* proses pemesanan PT DPH berkurang menjadi 4 hari. Selanjutnya, penurunan *lead time* ini akan mempercepat *response time*, mempercepat *time to market* produk baru, dan mengurangi jumlah persediaan produk, sehingga secara tidak langsung akan meminimalkan total biaya distribusi PT Dharmasava Putera Harapan.

Rancangan strategi persediaan yang kedua berupa sistem pemesanan produk berdasarkan klasifikasi produk yang telah dilakukan sebelumnya. Hal ini dilakukan agar masing-masing produk dipesan dalam jumlah dan waktu yang tepat sehingga terjadi keseimbangan antara *supply* dan *demand*. Kemudian karena produk *perishable* dan produk *non-perishable* pada klasifikasi produk dengan jumlah penjualan kecil memiliki sifat yang bertentangan, strategi setiap kelompok tentu berbeda satu dengan lainnya. Berikut adalah strateginya:

- Pengelolaan produk *perishable* sebaiknya dilakukan dengan sistem konsinyasi. Dengan sistem ini, PT DPH tidak akan lagi menanggung resiko kerugian akibat produk yang kadaluarsa dan *supplier* dapat meminimalkan *lost sales* ataupun *overstock* produknya karena ketersediaan produk dikelola langsung oleh *supplier* itu sendiri. Apabila sistem konsinyasi tidak dapat diterapkan, pemesanan produk *perishable* (Q) ditetapkan sama untuk setiap jenis produk dan dihitung berdasarkan rata-rata dan standar deviasi penjualan seluruh produk di masing-masing toko (1). Jika produk termasuk dalam produk *perishable* 2 mingguan ataupun produk *perishable* bulanan, akan ditentukan juga nilai *reorder point*-nya (B_{toko}).

$$Q_{per\ toko} = \bar{x} + (Z_{5\%} \times SD) \quad (1)$$

$$B_{toko} = (\bar{x}_{harian} \times L) + (SD_{harian} \times L) \quad (2)$$

Hasil dari perhitungan dengan kedua formulasi antara lain: produk *perishable* mingguan, $Q = 28$ unit (2 unit per toko); produk *perishable* 2 mingguan, $Q = 42$ unit (3 unit per toko) dan $B_{toko} = 1$ unit; dan produk *perishable* bulanan, $Q = 42$ unit dan $B_{toko} = 1$ unit.

- Formulasi perhitungan jumlah pemesanan dan *reorder point* setiap toko untuk produk *non-perishable* juga akan menggunakan formulasi (1) dan (2). Bedanya, *lead time* distribusi untuk produk ini ditetapkan selama 1 minggu, sesuai dengan jadwal pengiriman periodik PT DPH. Hal ini bisa diterapkan karena produk *non-perishable* tidak memiliki masa kadaluarsa tertentu. Dan dengan *lead time* tersebut diharapkan bahwa pengiriman produk *non-perishable* dapat digabungkan dengan pengiriman produk lainnya serta dapat memenuhi kapasitas kendaraan, sehingga dapat mengurangi biaya transportasi perusahaan dan juga biaya distribusi per unit produk. Dari hasil perhitungan diperoleh bahwa jumlah pemesanan adalah 56 unit (4 unit per toko) dan *reorder point*-nya adalah 1 unit.

Untuk produk dengan jumlah penjualan besar, produk dengan pola permintaan dan produk tanpa pola permintaan juga memiliki strategi pemesanan yang berbeda, yaitu:

- Strategi pemesanan untuk produk dengan pola permintaan adalah penggabungan 2 sistem *inventory review*, yakni *periodic review* dan *continuous review*. Sistem *periodic review* sebagai sistem pemesanan utama untuk menentukan jumlah pemesanan setiap minggu. Periode pemesanan ditetapkan setiap minggu karena menyesuaikan dengan rata-rata waktu antar pengiriman produk baru dari *supplier*, Sistem *continuous review* sebagai sistem antisipasi jika terjadi kekurangan persediaan selama periode pemesanan karena jumlah permintaan jauh melebihi ekspektasinya. Bentuk antisipasi dari sistem ini adalah dilakukannya pemesanan tambahan ketika persediaan mencapai *reorder point* tertentu.
- Strategi pemesanan untuk produk tanpa pola permintaan menggunakan sistem *continuous review* yang menyerupai sistem pemesanan PT DPH saat ini. Bedanya, *reorder point* dan jumlah pemesanan akan dihitung dengan algoritma *inventory control*, bukan hanya dengan perkiraan berdasarkan jumlah penjualan.

Secara keseluruhan, rancangan strategi pemesanan ini lebih baik daripada strategi pemesanan yang diterapkan PT DPH saat ini. Kesimpulan ini didasarkan oleh beberapa faktor berikut: pemesanan produk tidak hanya berdasarkan data penjualan sebelumnya, melainkan juga berdasarkan karakteristik produk; ada tidaknya pola permintaan produk dianalisis secara lebih mendetail; jumlah pemesanan produk ditentukan dengan formulasi yang baku, bukan dengan perkiraan saja; strategi pemesanan mempunyai sistem yang fleksibel sehingga mampu mengantisipasi lonjakan permintaan yang jauh melebihi ekspektasi dan strategi pemesanan diupayakan bersifat agregat sehingga sehingga mempermudah tercapainya keseimbangan *supply* dan *demand* produk. Sebagai perbandingan, penerapan strategi pemesanan untuk produk dengan jumlah penjualan kecil mampu mengurangi rata-rata persediaan produk, yaitu dari minimal 5 unit produk per toko menjadi maksimal 4 unit produk per toko. Mengingat banyaknya variasi produk yang dikelola, perbedaan ini jelas memberikan dampak positif berupa penurunan biaya yang ditanggung PT DPH.

Strategi pengalokasian dan pengiriman produk dirancang secara simultan melalui sebuah model *Genetic Algorithm* (GA) untuk meminimalkan total biaya yang dikeluarkan PT DPH. Model tersebut akan menghasilkan kebijakan persediaan dan distribusi berupa jumlah dan jadwal pengiriman setiap produk dari distributor ke masing-masing toko, serta rute pengirimannya. Berdasarkan tujuan di atas, model pengalokasian dan pengiriman produk ini juga merupakan suatu *inventory routing problem* (IRP). Oleh karena itu, langkah-langkah pengembangan model PT DPH dapat mengikuti sumber literature.

Sebelum memulai pengembangan GA IRP DPH, terlebih dahulu akan dijabarkan secara mendetail jaringan distribusi dari PT DPH itu sendiri. Proses distribusi produk PT DPH melibatkan 3 distributor dan 24 toko yang terbagi dalam 3 wilayah, dimana distributor menyediakan berbagai produk untuk memenuhi permintaan di setiap toko. Namun pengembangan model IRP DPH hanya akan memakai 1 wilayah distribusi (1 distributor beserta toko-toko di bawah tanggung jawabnya). Hal ini dilakukan untuk menyederhanakan model tersebut. Lagipula, sistem distribusi di ketiga wilayah tersebut sama. Jumlah masing-masing produk di distributor terbatas sesuai dengan pemesanan yang telah dilakukan sebelumnya. Distributor dan toko memiliki hari kerja yang berbeda, toko-toko beroperasi seminggu penuh dan distributor libur pada hari Minggu. Oleh karena itulah, pengiriman produk hanya dilakukan pada hari Senin-Sabtu. Meskipun pada kenyataannya pengiriman produk dilakukan secara terus menerus, pada penelitian ini pengiriman dibatasi untuk beberapa periode saja.

Saat ini, produk PT DPH dikirim dengan menggunakan kendaraan perusahaan, yang jumlah dan kapasitasnya terbatas, dan terkadang juga menggunakan jasa ekspedisi. Pada model yang dikembangkan, pengiriman dengan jasa ekspedisi tidak diperbolehkan, tetapi dimungkinkan untuk melakukan investasi kendaraan baru. Setiap pengiriman juga hanya bisa dilakukan selama jam kerja perusahaan, yakni pada jam 08.00-24.00 WIB, dan kerja di atas jam 21.00 WIB terhitung jam kerja lembur. Selain itu, semua kendaraan juga harus kembali ke distributor pada setiap akhir periode. Jumlah produk yang dapat disimpan di masing-masing toko juga terbatas, karena setiap toko memiliki kapasitas simpan tertentu. Kapasitas tersebut dipengaruhi oleh luas lahan toko. Oleh karena, konsumen terkadang melakukan *backorder*, maka *backordering* pada model IRP DPH juga diijinkan.

Berikut adalah notasi-notasi yang digunakan pada pemodelan ini:

• **Indeks**

- $C = \{2, 3, \dots, N\}$ toko-toko
- $D = \{1\}$ distributor (toko ke-1)
- $T = \{1, 2, \dots, T\}$ indeks periode
- $P = \{1, 2, \dots, Produk\}$ indeks produk
- $V = \{1, 2, \dots, M\}$ indeks armada

• **Parameter**

- Dem_{pjt} demand produk p di toko j pada periode t
- $Supp_{pt}$ supply produk p di distributor pada periode t
- $PPrice_p$ harga dari produk p
- $CCap_j$ kapasitas toko j
- $Jarak_{jk}$ jarak tempuh antara lokasi j dan k
- fI fraksi biaya simpan per unit produk per periode
- fLS fraksi biaya *lost sales* per unit produk
- $ProbLS_p$ probabilitas *unsatisfied demand* produk p di suatu periode menjadi *lost sales*
- $ProbB_p$ probabilitas *unsatisfied demand* produk p di suatu periode menjadi *backorder* pada periode berikutnya, dengan nilai $ProbB_p = 1 - ProbLS_p$
- $SPrice$ harga solar per liter
- JS jarak tempuh per liter solar
- $VCap_v$ kapasitas armada v
- $FPrice_v$ biaya tetap pemakaian armada v
- $LSpeed$ waktu *loading-unloading* produk (menit/ unit)
- $VSpeed$ kecepatan kendaraan (km/ menit)
- $MaxT$ jam kerja maksimal perusahaan
- $OHPPrice$ biaya lembur (Rp/ jam)
- $Inv_{p,j,0}$ persediaan awal dari produk p di toko j pada awal periode 1
- $UD_{p,j,0}$ *unsatisfied demand* awal dari produk p di toko j pada awal periode 1
- $SisaSup_{p,0}$ sisa *supply* produk p pada awal periode 1

• **Variabel keputusan**

- Del_{pjt} jumlah total produk p yang dikirim dari distributor ke toko j di periode t
- Inv_{pjt} jumlah persediaan produk p di toko j pada akhir periode t
- UD_{pjt} jumlah *unsatisfied demand* produk p di toko j pada akhir periode t
- $SisaSup_{pt}$ sisa *supply* produk p pada akhir periode t
- Q_{pjkt} kuantitas yang ditransportasikan pada jalur (j,k) pada periode t
- X_{jktm} digunakan atau tidaknya jalur (j,k) pada periode t oleh armada m
- $UsedT_{tm}$ waktu tempuh kendaraan m pada periode t

Dan di bawah ini adalah fungsi matematiknya:

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad Z = \min & \underbrace{\sum_{p \in P} fI \times PPrice_p \left(\sum_{t \in T} \sum_{j \in C} Inv_{pjt} \right)}_{(A)} \\
 & + \underbrace{\sum_{p \in P} fLS \times PPrice_p \left(\sum_{t \in T} \sum_{j \in C} [round(UD)]_{pjt} \times ProbLS_p \right)}_{(B)} \\
 & + \sum_{\substack{k \in C \\ k \neq j}} \sum_{j \in C \cup D} Jarak_{jk} \left(\sum_{m \in V} \sum_{t \in T} X_{jktm} \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \underbrace{\sum_{j \in C} \left[\text{Jarak} \right]_{j,1} \left(\sum_{m \in V} \sum_{t \in \tau} X_{1,j,t,m} \right)}_{(C)} \\
 & + \underbrace{FPrice \left(\sum_{m \in V} \sum_{t \in \tau} \sum_{j \in C} X_{1,j,t,m} \right)}_{(D)} \\
 & + \underbrace{OHPrice \times \sum_{m \in V} \sum_{t \in \tau} \left[\max \left(0, \text{roundup} \left(\frac{UsedT_{tm} - 780}{60} \right) \right)}_{(E)} \right]}_{(E)}
 \end{aligned} \tag{3}$$

• Subject to

$$\begin{aligned}
 Inv_{pjt} &= I_{p,j,t-1} + Del_{pjt} \\
 &\quad - Dem_{pjt} - ProbB_p \times UD_{p,j,t-1}, \quad \forall j \in C, \forall t \in \tau, \forall p \in \rho
 \end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
 UD_{pjt} &= Dem_{pjt} + ProbB_p \times UD_{p,j,t-1} \\
 &\quad - I_{j,t-1,p} - Del_{pjt}, \quad \forall j \in C, \forall t \in \tau, \forall p \in \rho
 \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned}
 SisaSup_{pt} &= Supp_{pt} + SisaSup_{p,t-1} - \sum_{j \in C} Del_{pjt}, \\
 &\quad \forall t \in \tau, \forall p \in \rho
 \end{aligned} \tag{6}$$

$$SisaSup_{tp} \geq 0, \quad \forall t \in \tau, \forall p \in \rho \tag{7}$$

$$\sum_{p \in \rho} Inv_{pjt} \leq CCap_j, \quad \forall j \in C, \forall t \in \tau \tag{8}$$

$$\sum_{j \in C \cup D} X_{jktm} = \sum_{j \in C \cup D} X_{kjtm}, \quad \forall k \in C \cup D, \forall t \in \tau, \forall m \in V \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
 \sum_{j \in C \cup D} Q_{pkjt} - \sum_{j \in C \cup D} Q_{pjkt} &= Del_{pkt}, \\
 \forall k \in C \cup D, k \neq 1, \forall t \in \tau, \forall p \in \rho
 \end{aligned} \tag{10}$$

$$\sum_{p \in \rho} Q_{pjkt} \leq VCap \times X_{jktm}, \quad \forall j, k \in C \cup D, j \neq k, \forall t \in \tau, \forall m \in V \tag{11}$$

$$Inv_{jtp} \geq 0, \quad \forall j \in C, \forall t \in \tau, \forall p \in \rho \tag{12}$$

$$\text{UsedT}_{tm} = \sum_{j \in C \cup D} \left[(LSpeed \times \sum_{p \in \rho} \left[\text{Del} \right]_{tpjt}) \right] \tag{13}$$

$$\begin{aligned}
 & + 1/VSpeed \times \sum_{k \in C \cup D @ k \neq j} \left[\left[\text{Jarak} \right]_{jk} \times X_{jktm} \right], \quad \forall t \in \tau, \forall m \in V \\
 UsedT_{tm} &\leq MaxT, \quad \forall t \in \tau, \forall m \in V
 \end{aligned} \tag{14}$$

$$UD_{pjt} \geq 0, \quad \forall j \in C, \forall t \in \tau, \forall p \in \rho \tag{15}$$

$$Del_{pjt} \geq 0, \quad \forall j \in C, \forall t \in \tau, \forall p \in \rho \tag{16}$$

$$X_{jktm} \in \{0,1\}, \quad \forall j, k \in C, \forall t \in \tau, \forall m \in V \tag{17}$$

$$X_{1,k,t,m} \geq 0 \text{ and integer}, \quad \forall k \in C, \forall t \in \tau, \forall m \in V \tag{18}$$

$$X_{j,1,t,m} \geq 0 \text{ and integer}, \quad \forall j \in C, \forall t \in \tau, \forall m \in V \tag{19}$$

$$Q_{pjkt} \geq 0, \quad \forall p \in \rho, \forall j \in C, \forall k \in C \cup D, \forall t \in \tau \tag{20}$$

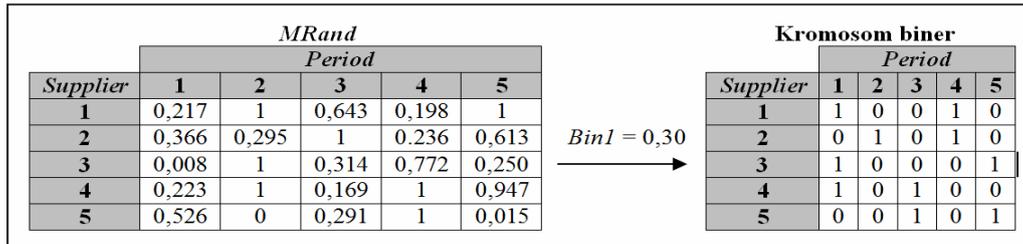
Fungsi tujuan (3) terdiri dari biaya *inventory* (A), biaya *lost sales* (B), biaya transportasi (biaya variabel (C) dan biaya tetap (D)), dan biaya lembur (E). Persamaan (4) dan (5) berturut-turut adalah persamaan keseimbangan persediaan dan *unsatisfied demand* setiap produk di setiap toko dan (6) adalah persamaan keseimbangan sisa *supply* di distributor. Konstrain (7) memastikan bahwa jumlah produk yang dikirimkan tidak melebihi *supply*-nya, (8) memastikan bahwa total persediaan di setiap toko tidak melebihi kapasitasnya, dan (9) menjamin jumlah datang dan pergi seluruh proses pengiriman adalah sama. Konstrain (10) menunjukkan persamaan aliran *delivery demands*. (11) menjamin bahwa kapasitas armada tidak dilanggar dan memberikan hubungan logis antara Q_{jkp} dan

X_{jkt} yang mengizinkan *split pick-ups*. Konstrain (12) memastikan jumlah kendaraan yang dapat digunakan tidak melebihi batasnya. Sedangkan konstrain yang tersisa adalah non-negatif konstrain dari semua variabel. Konstrain *time window* tidak dimasukkan pada model karena jam kerja dari semua toko sama.

Kerangka perancangan GA IRP DPH adalah sebagai berikut:

a. Pembentukan kromosom.

Kromosom pada penelitian ini terdiri dari 2 bagian, kromosom biner dan kromosom acak. Kromosom biner adalah matriks ($N \times T$) yang masing-masing *gene*-nya (misal *gene(j,t)*) berisi nilai 0 atau 1, dimana nilai 1 menunjukkan bahwa toko j dikunjungi pada periode t , dan nilai 0 menunjukkan hal sebaliknya.



Gambar 2. Pembentukan kromosom biner

Kromosom acak adalah kumpulan matriks ($N \times T$) sejumlah jenis produk (*Produk*), yang mewakili jumlah produk yang dikirimkan pada setiap kunjungan ke toko. Jumlah yang dikirimkan untuk setiap jenis produk diperoleh dari interval:

$$\left[0, \left(\sum_{t=1}^k [Dem_{jtp}] - Inv_{j,l-1,p} + ProbB_p \times UD_{j,l-1,p} \right) \right]$$

dimana saat ini adalah periode l dan pengiriman selanjutnya pada periode k , Dem_{jtp} adalah *demand* produk p pada toko j di periode t , $Inv_{j,l-1,p}$ serta $UD_{j,l-1,p}$ adalah *inventory* dan *unsatisfied demand* produk p pada periode sebelumnya, dan $ProbB_p$ adalah probabilitas *backorder* produk p . Dengan memahami formulasi interval di atas, tampak bahwa jumlah produk tersebut sangat dipengaruhi oleh kromosom biner yang dibuat sebelumnya. Sedangkan besarnya *inventory* dan *unsatisfied demand* dipengaruhi oleh kromosom acak itu sendiri, dengan perhitungan menggunakan formulasi (4) – (5). Untuk mempermudah pemahaman dari perhitungan ini, perhatikanlah Gambar 3 di bawah.

Demand produk 1 dan produk 2											
1						2					
Supplier						Supplier					
Period						Period					
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	
1	4	2	4	4	4	1	2	1	1	6	2
2	2	2	2	2	2	2	2	6	6	1	2
3	2	1	2	2	2	3	1	1	6	2	2
4	4	1	4	4	4	4	1	6	2	6	6
5	2	1	2	2	2	5	2	1	2	1	1

Kromosom biner					
Supplier					
Period					
1	2	3	4	5	6
1	1	0	0	1	0
2	0	1	0	1	0
3	1	0	0	0	1
4	1	0	1	0	0
5	0	0	1	0	1

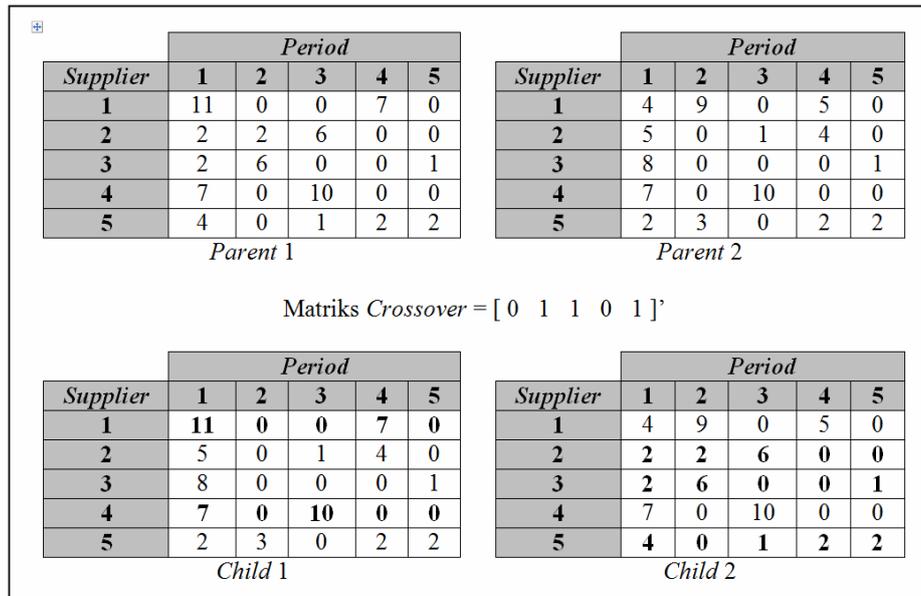
Kromosom acak																	
Produk 1 (pB ₁ = 0,6)						Inventory					Unsatisfied demand						
Supplier						Supplier					Supplier						
Period						Period					Period						
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	8	0	0	5	0	1	4	2	0	0	0	1	0	0	2	0	4
2	0	3	0	2	0	2	0	0	0	0	0	2	2	0	2	1	1
3	1	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	3	1	2	3	4	2
4	1	0	9	0	0	4	0	0	3	0	0	4	3	3	0	1	5
5	0	0	3	0	2	5	0	0	0	0	0	5	2	2	0	2	1

Produk 2 (pB ₂ = 0,2)																	
Supplier						Inventory					Unsatisfied demand						
Period						Supplier					Supplier						
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	4	0	0	7	0	1	2	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
2	0	5	0	2	0	2	0	0	0	0	0	2	2	1	6	0	2
3	1	0	0	0	2	3	0	0	0	0	0	3	0	1	6	3	1
4	5	0	9	0	0	4	4	0	7	1	0	4	0	2	0	0	5
5	0	0	2	0	1	5	0	0	0	0	0	5	2	1	0	1	0

Gambar 3. Kromosom beserta nilai *inventory* dan *unsatisfied demand*

Selanjutnya, kromosom biner dan kromosom acak diolah lebih lanjut untuk membentuk *cluster* dan rute pengiriman dari setiap periode.

- b. Pembentukan populasi awal.
Populasi awal adalah kumpulan kromosom *feasible* sejumlah *PopSize*. Jumlah *PopSize* pada GA IRP DPH harus besar karena permasalahannya cukup kompleks.
- c. Pengevaluasian fungsi tujuan.
Pengevaluasian fungsi tujuan dilakukan terhadap populasi awal yang telah terbentuk. Nantinya, evaluasi ini akan digabungkan dengan evaluasi tujuan dari kromosom hasil *genetic operators* guna memperoleh solusi optimal dari model GA IRP DPH.
- d. Pengaplikasian *genetic operators*.
Genetic operators pada GA terdiri dari *crossover operator* dan *mutation operator*. *Crossover operator* IRP DPH dilakukan dengan menukar jadwal dan jumlah pengiriman produk ke toko-toko antar 2 *parent* seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Crossover operator untuk 1 produk

Sedangkan *mutation operator* pada IRP DPH dirancang untuk menghapus persediaan ataupun *unsatisfied demand* pada suatu rentang periode dengan mengubah jumlah pengiriman produk bahkan menambah jadwal pengirimannya. Di bawah ini adalah langkah-langkah *mutation operator* tersebut (langkah ke-2 hingga ke-4 hanya berlaku untuk produk yang dimutasi):

1. Membentuk matriks mutasi produk ($Produk \times 1$) berisi bilangan biner acak, dimana jika elemen pertama matriks tersebut bernilai 1, produk ke-1 dilibatkan dalam proses mutasi selanjutnya.
 2. Memilih secara acak posisi *gene* yang akan mengalami proses mutasi. *Gene* ini selanjutnya disebut *gene (A,B)*, dengan *A* dan *B* berturut-turut adalah toko dan periode. Oleh karena tidak diperbolehkan melakukan pengiriman pada Hari Minggu, jika nilai *B* adalah kelipatan 7, ulangi proses ini.
 3. Jika $B \neq 1$, lanjut ke proses 4. Jika sebaliknya, cari jadwal pengiriman berikutnya (*C*). Selanjutnya, hitung nilai pengubah *gene (R1)* yang membuat jumlah persediaan maupun *unsatisfied demand* hingga periode ($C - 1$) menjadi 0.
 Hitung $gene(A,B) = \max(0, gene(A,B) + R1)$.
 Lalu cari jadwal pengiriman setelah *C* yang untuk selanjutnya disebut *D*, dan hitung total *demand (R2)* mulai dari periode *C* hingga periode *D*.
 Kemudian hitung $gene(A,C) = \text{round}(R2 \times \text{rand})$.
 4. Cari jadwal pengiriman sebelumnya (*C*).
 Lalu tentukan nilai *R1* yang membuat jumlah persediaan maupun *unsatisfied demand* mulai periode *C* hingga periode ($B - 1$) menjadi 0.
 Hitung $gene(A,C) = \max(0, gene(A,C) + R1)$.
 Cari jadwal pengiriman setelah *B* yang untuk selanjutnya disebut *D*, serta hitung total *demand (R2)* mulai dari periode *B* hingga periode *D*.
 Dan yang terakhir, hitung $gene(A,B) = \text{round}(R2 \times \text{rand})$.
- e. Pembentukan populasi baru.
 Populasi baru pada GA ini merupakan kromosom terbaik sejumlah *PopSize* dari gabungan kromosom dari populasi awal, serta kromosom hasil *crossover* maupun mutasi. Semua kromosom tersebut juga dipastikan berbeda satu dengan lainnya agar generasi selanjutnya dapat menghasilkan populasi yang semakin beragam dan semakin optimal.
- f. Pengecekan *stopping rule*.
 GA IRP DPH ini dihentikan apabila nilai MaxGen telah tercapai atau apabila terdapat 50 generasi tanpa peningkatan solusi optimal secara statistik. Nilai solusi optimal dikatakan tidak meningkat secara statistik jika besarnya perbaikan solusi optimal yang baru tidak mencapai 1% dari solusi optimal sebelumnya.

Model GA IRP DPH diimplementasikan pada PT DPH wilayah Jawa Timur. Wilayah ini dipilih karena memiliki mitra terbanyak (14 toko) sehingga juga mengalami masalah yang paling kompleks. Jumlah produk ditetapkan sebesar 10 jenis, dengan pola permintaan, harga dan juga probabilitas *lost sales* dan probabilitas *backorder* disesuaikan dengan kondisi riil. Jumlah *supply* untuk setiap jenis produk diasumsikan sama dengan jumlah *demand*. Selanjutnya, fraksi biaya simpan (fI) dan fraksi biaya *lost sales* (fLS) untuk semua jenis produk berturut-turut sebesar 30% per tahun per unit dan 15% per unit. *Horizon* perencanaan ditetapkan selama 21 hari. Model ini nantinya dijalankan dengan jumlah populasi 250; probabilitas *crossover* 0,7; probabilitas *mutation* 0,3; jumlah generasi 750, serta dengan repetisi sebanyak 10 kali.

Model tersebut menghasilkan solusi optimal dengan nilai rata-rata total biaya distribusi sebesar Rp 17.548.000,- dalam waktu sekitar 2.410 detik (± 40 menit). Koefisien variansi dari total biaya distribusi senilai 1,77% ($< 10\%$), dapat dikatakan bahwa model ini stabil. Setelah dianalisis lebih lanjut, diketahui bahwa biaya distribusi PT DPH sangat dipengaruhi oleh biaya *lost sales* dan biaya transportasi. Hal ini tampak karena biaya *lost sales* sebesar Rp 1.028.625,- (5,99%) disebabkan oleh *lost sales* sebesar 0,47% dan biaya transportasi (variabel dan tetap) mencapai 74,83% dari total biaya distribusi, yakni senilai Rp 12.859.700,-. Selain itu, tampak bahwa dengan jumlah persediaan yang besar ($SumTI = 1,97 Dem$), nilai biaya *inventory* masih cukup rendah (Rp 3.190.000,- atau 18,57%). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa total biaya distribusi PT DPH dapat diminimalkan dengan menambah persediaan produk.

Selain itu model GA IRP DPH memiliki keterbatasan dalam mengoptimalkan utilitas kendaraan dan rute pengiriman kendaraan. Pada solusi optimal, utilitas kendaraan hanya mencapai 48,35% dan terbentuk rute Malang – Blitar – Tulungagung – Tuban – Malang, dimana jarak antara Tulungagung dan Tuban sangatlah jauh. Untuk mengatasinya, model dapat dikembangkan lagi dengan menambahkan sistem pengecekan utilitas kendaraan. Artinya, jika kapasitas kendaraan yang digunakan tidak mencapai suatu batas tertentu, pengiriman yang dilakukan harus dialihkan ke pengiriman sebelumnya.

Analisis sensitivitas dilakukan dengan mengganti parameter jumlah *supply* produk yang sebelumnya sama dengan *demand* menjadi 90% *demand*. Hasilnya, total biaya distribusi menjadi Rp 21.438.988,- atau naik 24,76%. Faktor-faktor yang terpengaruh oleh perubahan jumlah *supply* ini adalah yang terkait dengan *inventory* dan *lost sales*. Pada faktor terkait *inventory*, biayanya berkurang dari Rp 3.190.900,- menjadi Rp 2.397.400,- (turun 24,87%) dan perbandingan antara jumlah *inventory* dan jumlah permintaan berkurang dari 1,97 menjadi 1,49 (turun 24,37%). Sedangkan pada faktor terkait *lost sales*, biayanya meningkat dari Rp 1.028.625,- menjadi Rp 5.877.150,- (naik 471,36%) dan persentase *lost sales* meningkat dari 0,47% menjadi 2,24% (naik 376,60%). Perubahan kedua faktor keputusan tersebut sangat logis terjadi pada praktik riil perusahaan. Ketika jumlah *supply* lebih kecil daripada jumlah *demand*, maka perusahaan akan mengurangi jumlah persediaan produk. Jika selisih antara *supply* dan *demand* tersebut cukup besar maka jumlah *lost sales* akan meningkat. Hasil analisis sensitivitas juga menunjukkan kehandalan GA IRP DPH karena ketika *supply* berkurang 10%, hanya terjadi peningkatan persentase *lost sales* sebesar 1,77%.

4. Kesimpulan

Strategi distribusi PT DPH untuk meminimalkan total biaya distribusi perusahaan dengan mempertimbangkan keseimbangan *supply* dan *demand* telah berhasil dirancang. Dimana rancangan tersebut terdiri dari 2 bagian utama, yakni strategi persediaan produk serta strategi pengalokasian dan pengiriman produk.

Strategi persediaan produk berupa keputusan untuk mengubah sistem persediaan PT DPH yang tersentralisasi menjadi desentralisasi. Sistem desentralisasi dilakukan dengan membagi tanggung jawab kantor pusat terkait pengambilan keputusan pemesanan produk ke *distributor* Malang. *Distributor* Malang akan bertanggung jawab terhadap pemesanan dari 14 toko di wilayah Jawa Timur, dan kantor pusat terhadap 10 toko lainnya. Dengan sistem ini, keseluruhan *lead time* proses pemesanan PT DPH berkurang menjadi 4 hari. Selanjutnya, penurunan *lead time* ini akan mempercepat *response time*, mempercepat *time to market* produk baru, dan mengurangi jumlah persediaan produk, sehingga secara tidak langsung akan meminimalkan total biaya distribusi PT DharmaSava Putera Harapan.

Strategi persediaan produk yang kedua berupa sistem kontrol persediaan berdasarkan karakteristik setiap jenis produk. Misalnya, strategi pemesanan produk *perishable* mingguan menerapkan *single order* sedangkan produk *perishable* lainnya menerapkan *multi order* (jika memungkinkan); produk dengan pola permintaan menerapkan strategi pemesanan gabungan antara *periodic review* dan *continuous review* juga produk tanpa pola permintaan menerapkan *continuous review* saja. Dengan strategi ini, keseimbangan *supply* dan *demand* dapat tercapai sehingga total biaya distribusi lebih minimal. Salah satu buktinya, pemesanan produk dengan jumlah penjualan kecil menggunakan sistem kontrol persediaan usulan mampu mengurangi jumlah persediaan, yaitu dari minimal 5 unit produk per toko untuk setiap jenis produk menjadi maksimal 4 unit produk per toko.

Strategi pengalokasian dan pengiriman produk dirancang pada sebuah model *inventory routing problem* (IRP) untuk meminimalkan total biaya persediaan serta biaya transportasi secara simultan dengan menggunakan metode metaheuristik *Genetic Algorithm* (GA). Model tersebut mempertimbangkan semua sistem distribusi dari satu wilayah PT DPH saja. Hasil dari GA ini menunjukkan bahwa total biaya distribusi PT DPH sangat dipengaruhi oleh biaya *lost sales* dan biaya transportasi, baik biaya variabel maupun biaya tetap. Oleh karena itu, strategi pengalokasian dan pengiriman produk yang tepat bagi PT DPH yaitu memaksimalkan utilitas kapasitas kendaraan serta mengoptimalkan persediaan produk. Strategi ini dilakukan untuk mengurangi frekuensi pengiriman dan juga jumlah *lost sales* agar total biaya distribusi menjadi minimal. Selain itu, model GA IRP DPH yang dikembangkan belum mampu meminimalkan total biaya distribusi perusahaan. Model lebih berfokus untuk meminimalkan biaya *inventory* dan biaya *lost sales*, namun belum untuk meminimalkan biaya transportasi. Dan agar dapat menghasilkan solusi yang optimal dan sesuai untuk PT DPH, model GA ini harus dikembangkan dengan memberikan suatu sistem pengecekan kapasitas kendaraan yang digunakan ketika pengiriman.

5. Daftar rujukan

- [1] Hadley, G. & Whitin, T.M. (1963), *Analysis of Inventory Systems*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- [2] Tersine, R.J. (1994), *Principles of Inventory and Materials Management*, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- [3] Donselaar, K.v., Woensel, T.v., Broekmeulen, R., & Fransoo, J. (2006), "Inventory control of perishables in supermarket", *International Journal of Production Economics*, Vol. 104, pp. 462-472.
- [4] Chopra, S. & Meindl, P. (2010), *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*, Pearson Education, Inc., New Jersey.
- [5] Mingyong, L. & Erbao, C. (2010), "An improved differential evolution algorithm for vehicle routing problem with simultaneous pickups and deliveries and time windows", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol. 23, pp. 188-195.
- [6] Moin, N.H., Salhi, S., & Aziz, N.A.B. (2011), "An efficient hybrid genetic algorithm for the multi-product multi-period inventory routing problem", *International Journal of Production Economics*, Vol. 133, pp. 334-343.