

## INTEGRASI KEBIJAKAN PERSEDIAAN-TRANSPORTASI (PENGIRIMAN LANGSUNG DAN BERBAGI) DI SISTEM RANTAI PASOK 4-ESELON

**Amelia Santoso<sup>1</sup>, Senator Nur Bahagia<sup>2</sup>, Suprayogi<sup>3</sup> dan Dwiwahju Sasongko<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Fakultas Teknologi Industri, Program Studi Teknik Industri, Institut Teknologi Bandung  
Jl. Ganesha 10, Bandung 40132

Email: amelia@ubaya.ac.id, senator@mail.ti.itb.ac.id, yogi@mail.ti.itb.ac.id

<sup>1</sup>Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Industri, Universitas Surabaya

Jl. Raya Kalirungkut, Surabaya 60293

<sup>4</sup>Fakultas Teknologi Industri, Program Studi Teknik Kimia, Institut Teknologi Bandung.

Jl. Ganesha 10, Bandung 40132

Email: sasongko@che.itb.ac.id

### ABSTRAK

Koordinasi antar pabrik, distributor dan pengecer merupakan kunci keberhasilan dalam sistem rantai pasok. Koordinasi diperlukan saat pendistribusian produk (pengaturan persediaan dan transportasi) dari satu eselon ke eselon di bawahnya. Kebijakan transportasi mempengaruhi kebijakan persediaan dan sebaliknya oleh karena itu kedua kebijakan tersebut seharusnya ditetapkan secara terintegrasi. *Paper* ini mengembangkan model integrasi kebijakan persediaan-transportasi di sistem rantai pasok 4-eselon yang terdiri dari sebuah pabrik dengan proses produksi kontinu, sebuah gudang penyangga, multi distributor dan multi pengecer. Model ini mempertimbangkan permintaan yang bergantung pada waktu, pengiriman langsung di pabrik dan gudang penyangga serta pengiriman langsung dan berbagi di distributor. *Paper* ini menetapkan kebijakan produksi di pabrik, kebijakan pemesanan di gudang penyangga, distributor dan pengecer serta kebijakan transportasi di pabrik, gudang penyangga dan distributor untuk meminimumkan ongkos sistem. Ongkos sistem terdiri atas ongkos total di pabrik, gudang penyangga, distributor dan pengecer. Model yang dikembangkan termasuk dalam kategori NP-hard sehingga dikembangkan metode solusi yang berbasis pada algoritma genetika. Kesimpulan yang diperoleh dari hasil algoritma genetika menyatakan bahwa ongkos total sistem lebih kecil secara statistik jika pengiriman langsung dan berbagi dipergunakan di distributor dibandingkan hanya menggunakan pengiriman langsung.

**Kata kunci:** integrasi, kebijakan persediaan, kebijakan transportasi, multi eselon

### ABSTRACT

*Coordination among manufacturers, distributors and retailers is a key of success in supply chain management. Moreover, coordination is also needed in distributing product (managing inventory and transportation) from an echelon to its successive echelons. The transportation policy and inventory policy affect each others so the inventory and transportation policy should be integrated. This paper develops model of integrated inventory-transportation policies in 4-echelons supply chain systems that consist of a manufacturer, a distribution center, distributors and retailers. This model considers continuous production process as well as time-dependent demand. We consider direct and sharing shipping at distributor when we only consider direct shipping at manufacturer and distribution center. The production policy at the manufacturer, replenishment policies at the distribution center, distributors and retailers, and transportation policies at the manufacturer, distribution center and distributors will be determined in order to minimize system cost. The system cost consists of total costs at the manufacturer, distribution centers, distributors and retailers. Due to the model is classified as NP-hard model, the model is solved using genetic algorithm. From the result of genetic algorithm, the total system cost if the distributors who use sharing shipping as well as*

*direct shipping, is lower stasitiscally than the distributors who only use direct shipping for delivering produk to their retailers.*

**Keywords:** *integration, inventory policy, transportation policy, multi-echelon*

## 1. PENDAHULUAN

Koordinasi fungsi logistik lintas perusahaan adalah kunci keberhasilan integrasi dalam sistem rantai pasok (Chopra dan Meindl, 2007). Penelitian ini mempertimbangkan koordinasi di sistem rantai pasok 4-eselon yang terdiri dari satu pabrik, satu gudang penyangga, multi distributor dan multi pengecer. Lokasi setiap eselon (pabrik, distributor dan pengecer) yang berbeda mengakibatkan perlu koordinasi aliran produk antar eselon termasuk pemindahan produk dari satu eselon ke eselon dibawahnya. Pengaturan pemindahan produk atau yang dikenal dengan kebijakan transportasi ini mempengaruhi kebijakan persediaan (kebijakan produksi dan pemesanan) di pabrik dan distributor. Hal ini menunjukkan dalam sistem rantai pasok, penetapan kebijakan persediaan (produksi dan pemesanan) dan transportasi perlu dilakukan secara terintegrasi.

Sebagian besar penelitian kebijakan persediaan di sistem rantai pasok multi eselon, seperti yang dikembangkan oleh Santoso *et al.* (2007a,b), Routroy dan Kodali (2005), Weng (2004), Abdul-Jalbar *et al.* (2003) dan Nur Bahagia (1999) belum terintegrasi dengan kebijakan transportasi. Gaur dan Fisher (2004), Nur Bahagia dan Sofitra (2001) serta Chan dan Simchi-Levi (1998) mengembangkan model kebijakan persediaan yang terintegrasi dengan kebijakan transportasi. Dalam penelitian-penelitian tersebut, pengembangan model kebijakan persediaan dan kebijakan transportasi masih ditetapkan secara berurutan (*sequential*), tidak secara simultan.

Santoso *et al.* (2008a,b) mengembangkan model integrasi kebijakan persediaan-transportasi yang menetapkan kedua kebijakan tersebut secara simultan. Dalam kedua penelitian tersebut, pemindahan produk dari satu eselon ke eselon dibawahnya dilakukan secara langsung (*direct shipping*). Seringkali jumlah produk yang dipindahkan lebih kecil atau lebih besar dari kapasitas kendaraan sehingga perlu dipertimbangkan pengiriman berbagi (*sharing shipping*). Sebuah kendaraan di distributor dapat mengirim ke beberapa pengecer dalam satu perjalanan (*trip*) pengiriman berbagi. Paper ini mengembangkan model integrasi kebijakan persediaan dengan kebijakan transportasi secara simultan dengan mempertimbangkan pengiriman langsung di pabrik dan gudang penyangga serta pengiriman langsung dan berbagi di distributor.

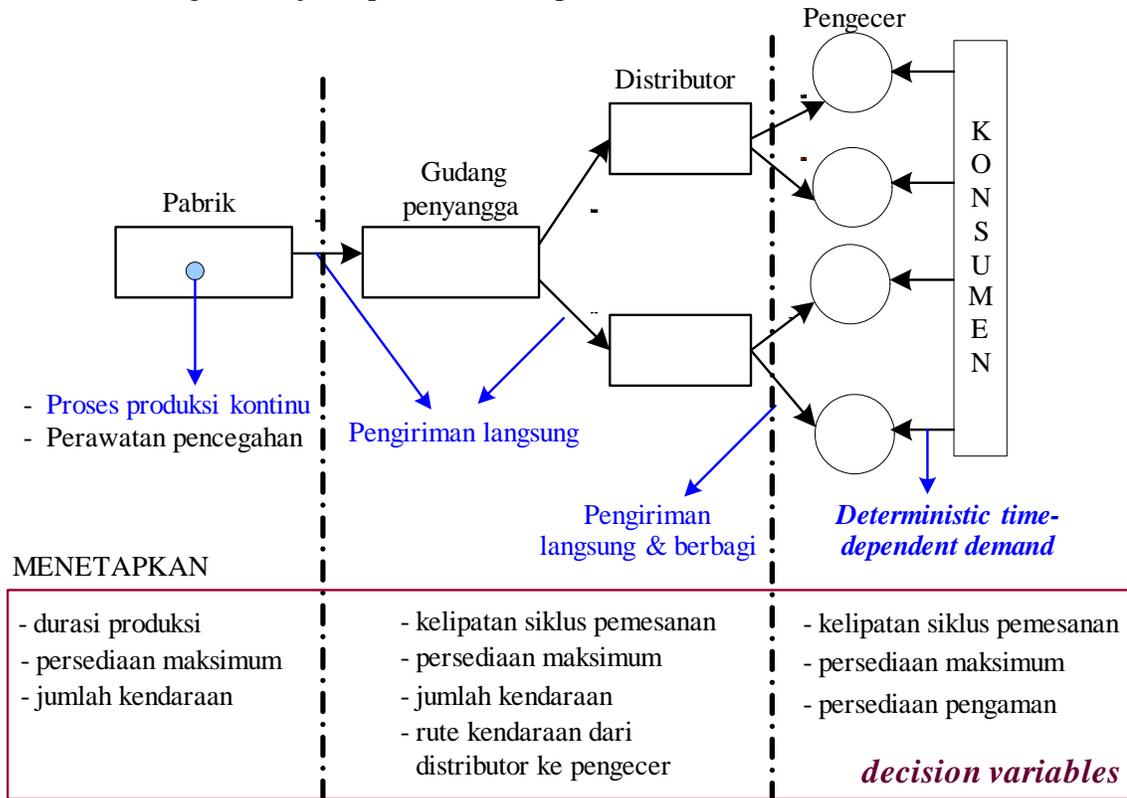
Seperti Santoso *et al.* (2008a,b), model yang dikembangkan untuk sistem rantai pasok 4-eselon ini mempertimbangkan proses produksi kontinu di pabrik dan permintaan bergantung waktu di pengecer. Model ini juga mempertimbangkan sistem pengiriman secara langsung untuk memindahkan produk (transportasi) dari pabrik dan gudang penyangga ke eselon berikutnya. Sedangkan di distributor dipertimbangkan sistem pengiriman langsung dan berbagi. Perbedaan utama model ini dengan model Santoso *et al.* (2008a,b) adalah pengiriman berbagi yang juga dipertimbangkan di distributor.

Model di paper ini bertujuan untuk menetapkan kebijakan persediaan dan transportasi secara terintegrasi agar ongkos total sistem selama satu horison perencanaan minimum. Kebijakan persediaan meliputi kebijakan produksi di pabrik dan kebijakan pemesanan (*replenishment*) di gudang penyangga, distributor dan pengecer. Sedangkan kebijakan transportasi untuk memindahkan produk dari pabrik ke gudang penyangga, dari gudang penyangga ke distributor dan dari distributor ke pengecernya. Ongkos total sistem terdiri atas ongkos total di eselon pabrik, gudang penyangga, distributor dan pengecer.

## 2. METODOLOGI

Model integrasi kebijakan persediaan-transportasi ini dikembangkan untuk sistem rantai pasok 4-eselon yang terdiri dari satu pabrik, satu gudang penyangga, sejumlah distributor dan pengecer seperti pada Gambar 1. Kebijakan persediaan meliputi kebijakan produksi di pabrik yang menggunakan proses produksi kontinu dan kebijakan pemesanan di gudang penyangga, semua distributor dan pengecer.

Model integrasi kebijakan persediaan-transportasi



Gambar 1. Metode penelitian

Penggunaan proses produksi kontinu di pabrik menyebabkan produksi dilakukan secara kontinu sampai tiba saat fasilitas produksi dirawat atau semua permintaan konsumen selama satu horison perencanaan dipenuhi. Hal ini berarti dalam satu horison perencanaan hanya ada satu siklus produksi (*production run*). Panjang horison perencanaan ( $T$ ) ditentukan dari penjumlahan waktu yang tersedia untuk produksi sebelum saat dilakukan perawatan pencegahan ( $w^f$ ) dan waktu yang diperlukan untuk merawat fasilitas produksi ( $w^p$ ).

$$T = w^f + w^p \quad (1)$$

Permintaan konsumen yang hanya terjadi di pengecer bergantung pada waktu. Setiap distributor memasok sejumlah pengecer tertentu yang lokasinya berbeda. Pabrik dan gudang penyangga mengirim produk ke eselon yang mengikutinya dengan pengiriman langsung (satu kendaraan hanya mengirim ke satu tujuan dalam satu perjalanan). Sedangkan distributor mengirim produk ke semua pengecernya dengan pengiriman langsung dan berbagi. Gambar 1. menunjukkan

sebuah pengecer yang dipasok oleh sebuah distributor tidak dapat dipasok oleh distributor lain. Agar dapat meminimumkan ongkos total sistem, diperlukan koordinasi dalam penetapan kebijakan persediaan-transportasi antara pabrik, gudang penyangga, distributor dan pengecer.

Seperti Santoso *et al.* (2008b), pengembangan model yang dilakukan menggunakan pendekatan perencanaan terkoordinasi (*coordinated policy*), konsep *echelon inventory* dan kebijakan waktu siklus tunggal (*single cycle time policy*). Penerapan pendekatan perencanaan terkoordinasi menyebabkan jumlah permintaan di sebuah eselon merupakan jumlahan semua permintaan di eselon yang mengikutinya, misal jumlah permintaan di eselon distributor adalah total permintaan di semua eselon pengecer yang dipasoknya. Perencanaan terkoordinasi berarti kebijakan persediaan dan kebijakan transportasi yang diputuskan secara terkoordinasi ini harus dipatuhi oleh semua eselon dalam sistem rantai pasok. Total persediaan di sebuah eselon dalam konsep *echelon inventory* (Clark dan Scarf, 1960) merupakan jumlahan persediaan yang dimiliki di eselon tersebut dan semua persediaan yang ada di semua eselon yang mengikutinya (*downstream echelons*). Penggunaan konsep waktu siklus tunggal (Nur Bahagia, 1999 dan Abdul-Jalbar *et al.*, 2006) berarti semua eselon akan mulai produksi atau pesan produk di saat yang sama. Hal ini menyebabkan panjang horison perencanaan ( $T$ ) adalah kelipatan bilangan bulat dari siklus pemesanan di gudang penyangga ( $T^g$ ) sehingga  $T = N^g T^g$  dengan  $N^g =$  kelipatan bilangan bulat siklus pemesanan di gudang penyangga dalam satu horison perencanaan produksi. Dengan cara yang sama, siklus pemesanan di gudang penyangga sama dengan kelipatan bilangan bulat dari panjang siklus pemesanan di distributor  $k$  ( $T_k^d$ ) dan panjang siklus pemesanan di distributor  $k$  merupakan kelipatan bilangan bulat dari panjang siklus pemesanan di pengecer  $j$ ;  $j \in k$  ( $T_{kj}^r$ ). Secara umum, kebijakan waktu siklus tunggal dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$T = N^g T^g = N^g N_k^d T_k^d = N^g N_k^d N_{kj}^r T_{kj}^r \quad (2)$$

### 3. PENGEMBANGAN MODEL

#### 3.1 Notasi Matematik

$K$	indeks distributor (posisi indeks di sebuah variabel adalah di posisi <i>subscript</i> )
$J$	indeks pengecer
$v, w$	indeks pengecer yang masuk dalam satu kelompok pengiriman
$E$	indeks kelompok pengiriman
$B$	indeks kendaraan
$S$	indeks siklus pemesanan di pengecer
$L$	indeks siklus pemesanan di distributor
$P$	indeks siklus pemesanan di gudang penyangga
$T$	panjang horison perencanaan
$w^t$	waktu yang tersedia untuk produksi sebelum dilakukan perawatan pencegahan ( <i>preventive maintenance</i> ) fasilitas produksi
$w^p$	waktu yang diperlukan untuk merawat mesin dan untuk <i>setup</i> (tahun)
$t^p$	durasi produksi produk (tahun)
$T_{kj}^r$	panjang siklus pemesanan di pengecer $j$ yang dipasok distributor $k$ (tahun)
$T_k^d$	panjang siklus pemesanan di distributor $k$ (tahun)
$T^g$	panjang siklus pemesanan di gudang penyangga (tahun)

$N^g$	kelipatan siklus pemesanan gudang penyangga dalam satu siklus produksi pabrik
$N_k^d$	kelipatan siklus pemesanan distributor $k$ dalam satu siklus pemesanan gudang penyangga
$N_{kj}^r$	kelipatan siklus pemesanan pengecer $j$ dalam satu siklus pemesanan distributor $k$ ; $j \in k$
$R^o$	persediaan maksimum di pabrik (unit)
$R_p^g$	persediaan maksimum di gudang penyangga pada siklus pemesanan ke- $p$ (unit)
$R_{kl}^d$	persediaan maksimum di distributor $k$ pada siklus pemesanan ke- $l$ (unit)
$R_{kjs}^r$	persediaan maksimum di pengecer $j$ yang dipasok distributor $k$ pada siklus pemesanan ke- $s$ ; $j \in k$ (unit)
$X_{bvw}$	variabel biner yang bernilai 1 jika dilakukan pengiriman ke pengecer $w$ langsung setelah dari pengecer $v$ dengan menggunakan kendaraan $b$ (variabel rute)
$K_{bkes}$	variabel biner yang bernilai 1 jika kendaraan $b$ dipergunakan distributor $k$ untuk mengirim produk ke semua pengecer di kelompok pengiriman ke- $e$ secara berbagi ( <i>sharing shipping</i> ) pada siklus pemesanan ke- $s$
$\beta_{ke}$	kelompok pengiriman ke- $e$ yang beranggotakan pengecer yang dipasok oleh distributor $k$ dan memiliki siklus pemesanan yang sama
$C$	ongkos total sistem selama horison perencanaan (rupiah)
$C^{pbrk}$	ongkos total di pabrik selama horison perencanaan (rupiah)
$C^{gdp}$	ongkos total di gudang penyangga selama horison perencanaan (rupiah)
$C^{dist}$	ongkos total di distributor selama horison perencanaan (rupiah)
$C^r$	ongkos total di pengecer selama horison perencanaan (rupiah)
$r_{kjs}^r$	posisi persediaan di pengecer $j$ yang dipasok oleh distributor $k$ pada siklus pemesanan ke- $s$ (unit)
$r_{kl}^d$	posisi persediaan di distributor $k$ pada siklus pemesanan ke- $l$ (unit)
$r_p^g$	posisi persediaan di gudang penyangga pada siklus pemesanan ke- $p$ (unit)
$r_1^o$	posisi persediaan di pabrik pada awal horison perencanaan (unit)
$Q_{kjs}^d$	jumlah yang dikirim dari distributor $k$ ke pengecer $j$ di siklus pemesanan ke- $s$
$Q_{kl}^g$	jumlah yang dikirim dari gudang penyangga ke distributor $k$ di siklus pemesanan ke- $l$
$Q_p^o$	jumlah yang dikirim dari pabrik ke gudang penyangga di siklus pemesanan ke- $p$
$Q_{kjs}^{d^1}$	siswa produk yang belum dikirim oleh distributor $k$ ke pengecer $j$ di siklus pemesanan ke- $s$
$q_{kjs}^r$	jumlah yang dipesan pengecer $j$ ke distributor $k$ di siklus pemesanan ke- $s$ (unit)
$q_{kl}^d$	jumlah yang dipesan distributor $k$ ke gudang penyangga di siklus pemesanan ke- $l$ (unit)
$q_p^g$	jumlah yang dipesan gudang penyangga ke pabrik di siklus pemesanan ke- $p$ (unit)
$z_{kj}^r(t)$	fungsi permintaan yang bergantung waktu di pengecer $j$ yang dipasok distributor $k$ ; $j \in k$
$A_{kj}^r$	ongkos per sekali pesan produk di pengecer $j$ yang dipasok oleh distributor $k$ (rupiah)
$A_k^d$	ongkos sekali pengadaan produk di distributor $k$ (rupiah)
$A^g$	ongkos satu pesan produk di gudang penyangga (rupiah)

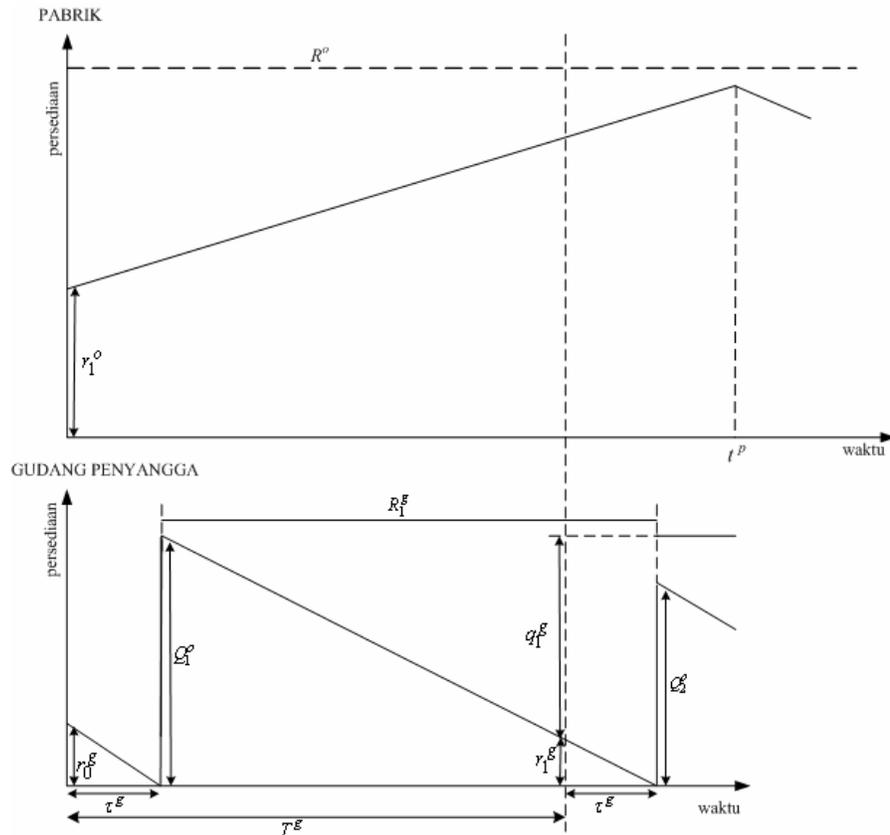
$A^o$	ongkos sekali <i>setup</i> mesin (rupiah)
$A^p$	ongkos per sekali perawatan mesin (rupiah)
$H_{kj}^r$	ongkos simpan produk per unit per tahun di eselon pengecer $j$ yang dipasok oleh distributor $k$ (rupiah)
$H_k^d$	ongkos simpan produk per unit per tahun di eselon distributor $k$ (rupiah)
$H^g$	ongkos simpan produk per unit per tahun di eselon gudang penyangga (rupiah)
$H^o$	ongkos simpan produk per unit per tahun di eselon pabrik (rupiah)
$C^{dr}$	ongkos transportasi per km jarak dari distributor ke pengecer (rupiah)
$C^d$	ongkos tetap per kendaraan yang dipergunakan di distributor (rupiah)
$C^g$	ongkos tetap per kendaraan yang dipergunakan di gudang penyangga untuk mengirim produk (rupiah)
$C^{gd}$	ongkos transportasi per km jarak dari gudang penyangga ke distributor $k$ (rupiah)
$C^o$	ongkos tetap per kendaraan yang dipergunakan di pabrik untuk mengirim produk (rupiah)
$C^{og}$	ongkos transportasi per km jarak dari pabrik ke gudang penyangga (rupiah)
	kapasitas kendaraan yang dipergunakan di distributor (unit)
$\phi^g$	kapasitas kendaraan yang dipergunakan di gudang penyangga (unit)
$\phi^o$	kapasitas kendaraan yang dipergunakan di pabrik (unit)
$J_{kj}^{dr}$	jarak lokasi distributor $k$ dan lokasi pengecer $j$
$J_{vw}$	jarak lokasi pengecer $v$ dan lokasi pengecer $w$ yang dipasok oleh distributor yang sama dan tergabung dalam kelompok pengiriman ke- $e$ (km)
$J_k^{gd}$	jarak lokasi gudang penyangga dan lokasi distributor $k$ (km)
$J^{og}$	jarak lokasi pabrik dan lokasi gudang penyangga (km)
$P^{os}$	harga <i>outsourc</i> e produk per unit (rupiah)
$\psi$	kecepatan produksi per tahun (unit)
$\tau^g$	<i>leadtime</i> di gudang penyangga (tahun)
$\tau_{kj}^r$	<i>leadtime</i> di pengecer $j, j \in k$ (tahun)

### 3.2 Formulasi Matematik

Model integrasi kebijakan persediaan-transportasi dikembangkan untuk menetapkan kebijakan produksi dan pemesanan serta transportasi untuk meminimumkan ongkos total sistem selama satu horison perencanaan. Ongkos total sistem selama horison perencanaan ( $C$ ) merupakan penjumlahan ongkos total selama horison perencanaan di pabrik ( $C^{pbrk}$ ), gudang penyangga ( $C^{gdp}$ ), distributor ( $C^{dist}$ ) dan pengecer ( $C^p$ ).

Seperti pada model Santoso *et al.* (2008b), model ini mengasumsikan permintaan produk di semua pengecer bergantung pada waktu dan deterministik dan tidak diijinkan terjadi kekurangan. Semua permintaan di eselon pabrik diasumsikan dapat dipenuhi dari produksi dan *outsourc*e. *Outsourc*e dilakukan jika waktu yang diperlukan untuk produksi semua permintaan selama horison perencanaan lebih besar dari interval perawatan pencegahan. *Outsourc*e juga dilakukan apabila jumlah produk yang dimiliki di awal horison perencanaan ( $r_1^o$ ) ditambah dengan hasil

produksi selama *leadtime* eselon gudang penyangga tidak cukup untuk memenuhi jumlah pengiriman ( $Q_1^o$ ) pada awal siklus pemesanan pertama gudang penyangga (Gambar 2).



**Gambar 2.** Sistem persediaan di eselon pabrik dan gudang penyangga

Jika terdapat kelebihan kapasitas produksi diasumsikan hasil produksi dipergunakan untuk memenuhi permintaan non subsidi atau ekspor. Selain itu juga diasumsikan tidak pernah terjadi kerusakan mesin mendadak dan bahan baku selalu tersedia. Produk yang ada di sebuah distributor tidak dapat dipindahkan ke distributor lain, demikian juga untuk produk yang ada di sebuah pengecer. Asumsi yang terakhir adalah ongkos produksi per unit, ongkos sekali pesan baik di gudang penyangga, distributor dan pengecer adalah konstan

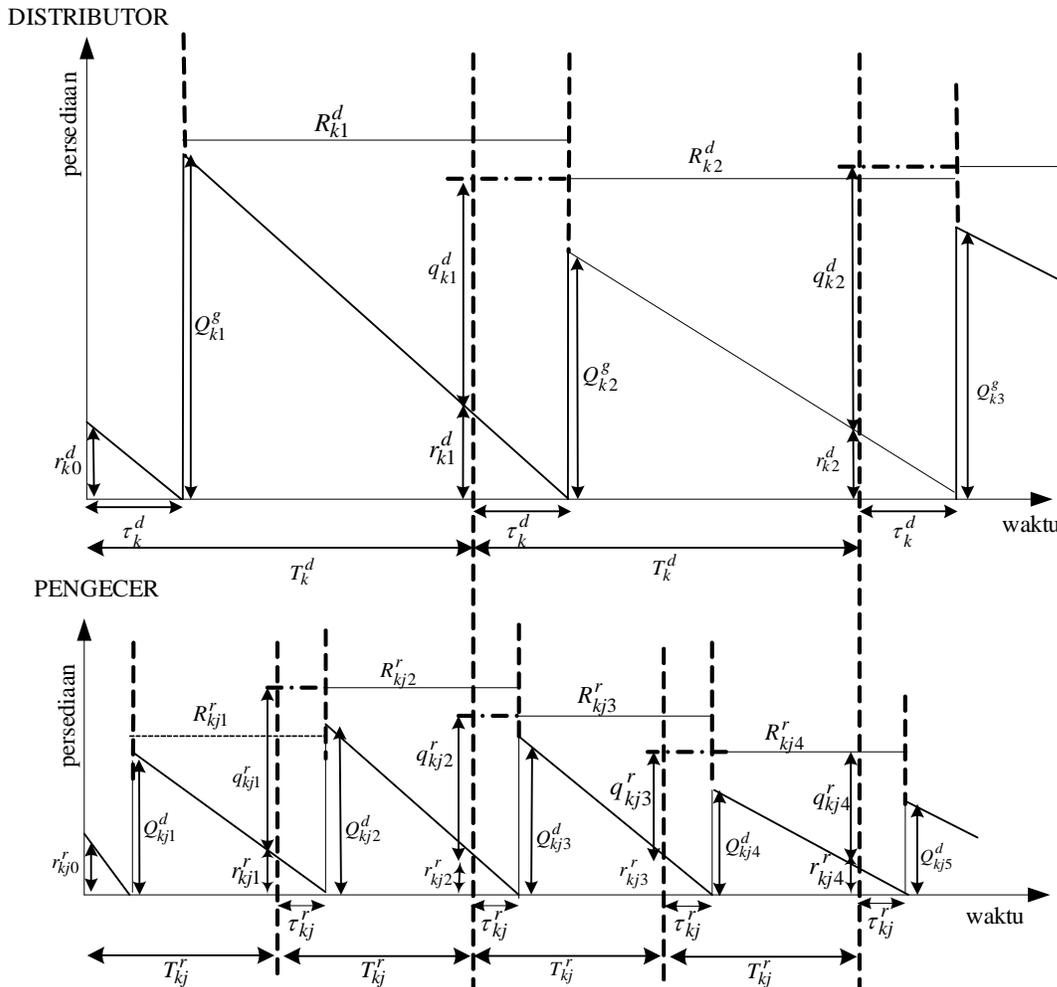
Permintaan konsumen yang bergantung pada waktu di eselon pengecer menyebabkan tingkat persediaan maksimum berbeda di setiap siklus pemesanan baik di eselon gudang penyangga, distributor maupun pengecer. Seperti model Santoso *et al.* (2008a,b), permintaan konsumen yang bergantung pada waktu di model ini didekati dengan fungsi polinomial.

Implikasi penerapan konsep waktu siklus tunggal adalah siklus pemesanan distributor adalah kelipatan siklus pemesanan semua pengecernya. Hal ini menyebabkan posisi persediaan saat distributor melakukan pemesanan (misal  $r_{k2}^d$ ) harus dapat memenuhi total produk yang akan dikirim ke pengecer-pengecernya ( $Q_{kjs}^d$ ) seperti pada Gambar 3. Hal ini juga berlaku untuk gudang penyangga dan pabrik. Jumlah pesan sebuah pengecer  $j$  yang dipasok distributor  $k$  pada akhir siklus pemesanan ke- $s$  ( $q_{kjs}^r$ ) diperoleh dari selisih persediaan maksimum di siklus pemesanan ke- $(s+1)$  dengan posisi persediaan di akhir siklus pemesanan ke- $s$

$$q_{kjs}^r = R_{kj(s+1)}^r - r_{kjs}^r \quad (3)$$

Produk yang dipesan pengecer  $j$  pada akhir siklus pemesanan ke- $s$  akan dikirim distributor  $k$  pada awal siklus berikutnya. Jumlah yang dikirim distributor  $k$  di awal siklus  $(s+1)$  sama dengan jumlah pesan pengecer  $j$  pada siklus ke- $s$ .

$$Q_{kj(s+1)}^d = q_{kjs}^r \quad (4)$$



**Gambar 3.** Sistem persediaan di eselon distributor dan pengecer

Ongkos total di eselon pengecer  $j$  dalam satu horison perencanaan terdiri dari ongkos pesan dan ongkos simpan di semua pengecer. Ongkos pesan dihitung dari frekuensi pesan dalam satu horison perencanaan dan ongkos sekali pesan ( $A_{kj}^r$ ). Sedangkan ongkos simpan dihitung dari hasil kali antara rata-rata persediaan per horison perencanaan dan ongkos simpan di eselon pengecer per unit per horison perencanaan ( $H_{kj}^r$ ). Permintaan yang bergantung pada waktu dan deterministik di pengecer  $j$  ( $z_{kj}^r(t)$ ) didekati dengan fungsi polinomial. Persediaan pengecer  $j$  di

awal siklus pemesanan ke- $s$  sebesar  $\int_{(s-1)T_{kj}^r}^{sT_{kj}^r} z_{kj}^r(t)dt$  dan sebesar nol di akhir siklus maka persediaan rata-rata di siklus ke- $s$  sebesar  $\frac{1}{T_{kj}^r} \int_{(s-1)T_{kj}^r}^{sT_{kj}^r} z_{kj}^r(t)dt$ . Ongkos total pengecer per horison perencanaan dapat diformulasikan:

$$C^r = \sum_k \sum_{j \in k} \left\{ \frac{A_{kj}^r T}{T_{kj}^r} + \frac{H_{kj}^r}{T_{kj}^r N^s N_k^d N_{kj}^r} \sum_{s=1}^{N^s N_k^d N_{kj}^r} \int_{(s-1)T_{kj}^r}^{sT_{kj}^r} z_{kj}^r(t) dt \right\} \quad (5)$$

Sebuah distributor mengirim produk ke beberapa pengecer yang lokasinya terpisah. Oleh karena itu ongkos transportasi merupakan salah satu komponen dalam ongkos total di eselon distributor selain ongkos pesan dan ongkos simpan. Ongkos pesan diperoleh dari frekuensi pesan selama horison perencanaan dan ongkos sekali pesan di distributor ( $A_k^d$ ). Ongkos simpan ditentukan oleh rata-rata persediaan per horison perencanaan dan ongkos simpan per unit per horison perencanaan ( $H_k^d$ ) dimana  $H_k^d > H_{kj}^r$ . Penerapan konsep *echelon inventory* dan perencanaan terkoordinasi menyebabkan rata-rata persediaan di distributor  $k$  di siklus pemesanan ke- $l$  sebesar  $\sum_{j \in k} \frac{1}{T_k^d} \int_{(l-1)T_k^d}^{lT_k^d} z_{kj}^r(t)dt$ . Pengiriman produk dari distributor ke semua pengecer

dilakukan secara langsung dan berbagi. Mengacu pada model *k-split delivery vehicle routing* (Archetti et al., 2006), ditentukan pengecer mana yang masih memiliki sisa yang belum dikirim.

Sisa yang belum dikirim ( $Q_{kjs}^d$ ) merupakan modifikasi jumlah yang dikirim ke setiap pengecer setelah memisahkan pengiriman secara langsung dengan kendaraan bermuatan penuh dari distributor ke pengecer tersebut. Jumlah kendaraan yang diperlukan untuk pengiriman langsung dihitung berdasarkan model Gallego dan Simchi-Levi (1990). Sedangkan sisa pesanan yang belum dikirim di sebuah pengecer akan dikirim secara berbagi dengan pengecer lain dalam satu kelompok pengiriman di distributor  $k$ . Sebuah kelompok pengiriman di sebuah distributor beranggotakan pengecer-pengecer yang dipasok oleh distributor tersebut dan memiliki panjang siklus pemesanan yang sama. Hal ini menyebabkan di sebuah distributor dapat memiliki lebih dari satu kelompok pengiriman. Kelompok pengiriman ke- $e$  di distributor ke- $k$  dinotasikan sebagai  $\beta_{ke}$ . Berdasarkan model Archetti et al.(2006), jumlah kendaraan berbagi dan penetapan rute ditentukan dengan VRP standar. Jumlah kirim ke sebuah pengecer pada siklus pemesanan ke- $s$  pengecer tersebut ( $Q_{kjs}^d$ ) sama besar dengan jumlah pesan pengecer tersebut pada siklus pemesanan ke- $(s-1)$

dengan notasi  $q_{kj(s-1)}^r$  sebesar  $R_{kjs}^r - r_{kj(s-1)}^r$ . Jarak lokasi distributor  $k$  dengan pengecer  $j; j \in k$  ( $J_{kj}^{dr}$ ) dan jarak lokasi pengecer  $v$  dan pengecer  $w$  sebesar  $J_{vw}$  dimana  $v, w \in \beta_{ke}$ , kapasitas kendaraan ( $\varphi$ ), ongkos tetap kendaraan ( $C^d$ ) dan ongkos per km jarak ( $C^{dr}$ ), persediaan maksimum pengecer di siklus pemesanan ke- $s$  dengan notasi  $R_{kjs}^r$  sebesar  $\int_{(s-1)T_{kj}^r}^{sT_{kj}^r + \tau_{kj}^r} z_{kj}^r(t)dt$  dan posisi

persediaan pengecer di siklus pemesanan ke-(s-1) sebesar  $\int_{(s-1)T_{kj}^r}^{(s-1)T_{kj}^r + \tau_{kj}^r} z_{kj}^r(t) dt$  maka ongkos total

distributor dapat diformulasikan:

$$C^{dist} = \sum_k \left\{ \frac{A_k^d T}{T_k^d} + \frac{H_k^d}{T_k^d N^g N_k^d} \sum_{l=1}^{N^g N_k^d} \sum_{j \in k} \int_{(l-1)T_k^d}^{lT_k^d} z_{kj}^r(t) dt + \sum_e \sum_s \left( \sum_j \left[ \frac{1}{\varphi} (R_{kjs}^r - r_{kj(s-1)}^r) \right] \right) \right. \\ \left. \left( C^d + C^{dr} 2J_{kj}^{dr} \right) + \sum_b \left( \sum_{v \neq w \in \beta_{ke}} C^d J_{vw} X_{bvw} + C^{dr} K_{bkes} \right) \right\} \quad (6)$$

Ongkos total di eselon gudang penyangga terdiri dari ongkos pesan, ongkos simpan dan ongkos transportasi. Pengiriman produk ke distributor  $k$  dilakukan secara langsung dengan jumlah kirim per siklus pemesanan ke- $l$  distributor  $k$  ( $Q_{kl}^g$ ) adalah selisih persediaan maksimum distributor di siklus ke- $l$  dan posisi persediaan distributor di siklus ke- $(l-1)$ . Persediaan maksimum distributor di siklus pemesanan ke- $l$  yang dinotasikan  $R_{kl}^d$  sebesar permintaan di distributor selama siklus pemesanan ke- $l$  dan *leadtime*. Permintaan selama *leadtime* sebesar total jumlah pengiriman dari gudang penyangga ke semua distributor sehingga permintaan distributor selama siklus pemesanan ke- $l$  dan *leadtime* sebesar  $\sum_{j \in k} \left( \int_{(l-1)T_k^d}^{lT_k^d} z_{kj}^r(t) dt + Q_{kj(lN_{kj}^r+1)}^d \right)$ . Posisi persediaan pada saat

melakukan pemesanan di siklus pemesanan ke- $(l-1)$  yang dinotasikan  $r_{k(l-1)}^d$  harus cukup untuk memenuhi semua pengiriman ke pengecer pada siklus pemesanan ke- $((l-1)N_{kj}^r + 1)$  di pengecer  $j$  yaitu sebesar  $\sum_{j \in k} Q_{kj((l-1)N_{kj}^r+1)}^d$ . Jika kapasitas kendaraan di gudang penyangga sebesar  $\varphi^g$  maka ongkos total di gudang penyangga diformulasikan:

$$C^{gdp} = \frac{A^g T}{T^g} + \frac{H^g}{T^g N^g} \sum_{p=1}^{N^g} \sum_k \sum_j \int_{(p-1)T^g}^{pT^g} z_{kj}^r(t) dt + \sum_k \sum_{l=1}^{N^g N_k^d} \left( C^g + C^{gd} 2J_k^{gd} \right) \\ \left[ \frac{1}{\varphi^g} \sum_{j \in k} \left( \int_{(l-1)T_k^d}^{lT_k^d} z_{kj}^r(t) dt + \int_{lN_{kj}^r T_{kj}^r + \tau_{kj}^r}^{(lN_{kj}^r+1)T_{kj}^r + \tau_{kj}^r} z_{kj}^r(t) dt - \int_{(l-1)N_{kj}^r T_{kj}^r + \tau_{kj}^r}^{(l-1)N_{kj}^r+1)T_{kj}^r + \tau_{kj}^r} z_{kj}^r(t) dt \right) \right] \quad (7)$$

Proses produksi di pabrik dijalankan terus menerus sampai tiba saat fasilitas produksi dirawat atau semua pesanan selesai diproduksi. Hal ini menyebabkan hanya ada satu siklus produksi dalam satu horison perencanaan. Jika belum semua pesanan selesai diproduksi saat jadwal perawatan fasilitas produksi maka dilakukan *outsourc*e untuk memenuhi pesanan. Ongkos total di eselon pabrik terdiri dari ongkos *setup*, ongkos *outsourc*e, ongkos simpan dan ongkos transportasi. Jumlah yang dikirim pabrik ke gudang penyangga di siklus pemesanan ke- $p$  sebesar selisih persediaan maksimum gudang penyangga di siklus pemesanan ke- $p$  dan posisi persediaan di gudang penyangga di siklus ke- $(p-1)$ . Persediaan maksimum gudang penyangga di siklus

pemesanan ke- $p$  dengan notasi  $R_p^g$  sebesar  $\sum_k \sum_{j \in k} \int_{(p-1)T^g}^{pT^g} z_{kj}^r(t) dt + \sum_k Q_{k(pN_k^d+1)}^g$  dan posisi

persediaan gudang penyangga di akhir siklus pemesanan ke-( $p-1$ ) dengan notasi  $r_{(p-1)}^g$  sebesar  $\sum_k Q_k^g$ . Di awal horison perencanaan di pabrik harus tersedia persediaan yang cukup untuk memenuhi pengiriman ke gudang penyangga di siklus pemesanan pertamanya, sebesar

$$Q_1^o = \int_{(p-1)T^g}^{pT^g} z^g(t)dt + \sum_k \left( R_{k((p-1)N_k^d+1)}^d - r_{kpN_k^d}^d \right) - \sum_k \left( R_{k((p-1)N_k^d+1)}^d - r_{k((p-1)N_k^d)}^d \right) \quad (8)$$

Jika kecepatan produksi sebesar  $\psi$ , ongkos *setup* sebesar  $A^o$ , ongkos perawatan sebesar  $A^p$ , ongkos simpan di eselon pabrik sebesar  $H^o$  dan kapasitas kendaraan di pabrik sebesar  $\phi^o$  maka ongkos total di pabrik diformulasikan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C^{pbrk} = & \left( A^o + A^p \right) + \frac{H^o}{T} \sum_k \sum_{j \in k} \left( \int_0^T z_{kj}^r(t) dt - \int_0^{t^p} z_{kj}^r(t) dt + Q_1^o - \psi \tau^g \right) + \\ & P^{os} \left( \max \left( 0, \sum_k \sum_{j \in k} \int_0^T z_{kj}^r(t) dt - \psi t^p \right) + \max \left( \sum_k \sum_{j \in k} \left( Q_1^o - \psi \tau^g \right), 0 \right) \right) + \\ & \sum_{p=1}^{N^g} \left( C^o + C^{og} 2J^{og} \right) \left[ \frac{1}{\phi^o} \left( R_p^g - \sum_k \left( R_{k((p-1)N_k^d+1)}^d - \sum_j \left( R_{kj((p-1)N_k^d N_{kj}^r+1)}^r - r_{kj((p-1)N_k^d N_{kj}^r)}^r \right) \right) \right) \right] \quad (9) \end{aligned}$$

Fungsi tujuan adalah ongkos sistem ( $C$ ) yang terdiri dari ongkos total di pabrik (9), di gudang penyangga (7), di distributor (6) dan di pengecer (5). Beberapa pembatas yang dipergunakan dalam formulasi model adalah:

$$T = N^g T^g = N^g N_k^d T_k^d = N^g N_k^d N_{kj}^r T_{kj}^r \quad (10)$$

$$\int_0^T z^o(t) dt = \int_0^T z^g(t) dt = \sum_k \int_0^T z_k^d(t) dt = \sum_k \sum_{j \in k} \int_0^T z_{kj}^r(t) dt \quad (11)$$

$$T^g \leq T - t^p \quad (12)$$

$$t^p = \min \left[ \left( \frac{1}{\psi} \sum_k \sum_{j \in k} \int_0^T z_{kj}^r(t) dt \right), w^t \right] \quad (13)$$

$$\sum_{w \in \beta_{ke}} \sum_b X_{bvw} = 1 \quad v = 2, \dots, n \quad (14)$$

$$\sum_{v \in \beta_{ke}} \sum_b X_{bvw} = 1 \quad w = 2, \dots, n \quad (15)$$

$$\sum_{v \in \beta_{ke}} X_{bv u} = \sum_{w \in \beta_{ke}} X_{buw} \quad \forall u \in \beta_{ke}; \forall b \quad (16)$$

$$\sum_{v \in \beta_{ke}} \sum_{w \in \beta_{ke}} X_{bvw} \leq |B| - 1 \quad \forall b; B \subseteq V / \{1\}; |B| \geq 2 \quad (17)$$

$$\sum_{v \in \beta_{ke}} Q_{kjs}^{d1} \left( \sum_{w \in \beta_{ke}} X_{bvw} \right) \leq \phi \quad \forall b \quad (18)$$

$$\sum_w X_{b1w} \leq 1 \quad \forall b; w = 2, \dots, n \quad (19)$$

$$\sum_v X_{bv1} \leq 1 \quad \forall b; v = 2, \dots, n \quad (20)$$

$$K_{bkes} = \begin{cases} 1 & \text{jika kendaraan } b \text{ dipergunakan} \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases} \quad (21)$$

$$X_{bvw} = \begin{cases} 1 & \text{jika kendaraan } b \text{ berkunjung dari pengecer } v \text{ langsung ke pengecer } w \\ 0 & \text{selain itu} \end{cases} \quad (22)$$

$$N^g, N_k^d, N_{kj}^r \geq 1 \text{ dan bilangan bulat} \quad (23)$$

Pembatas (10) menjamin penerapan pendekatan kebijakan waktu siklus tunggal. Pembatas (11) diperlukan akibat penerapan perencanaan terkoordinasi. Pembatas (12) menjamin pesanan gudang penyangga di siklus terakhir terpenuhi. Pembatas (13) menjamin tidak boleh ada produksi selama fasilitas produksi dirawat. Pembatas (14) sampai (22) adalah pembatas problem *vehicle routing* yang umum (Barbarosoglu dan Ozgur, 1999). Pembatas (23) menjamin variabel keputusan  $N^g, N_k^d, N_{kj}^r$  bilangan bulat dan bernilai lebih besar dari nol.

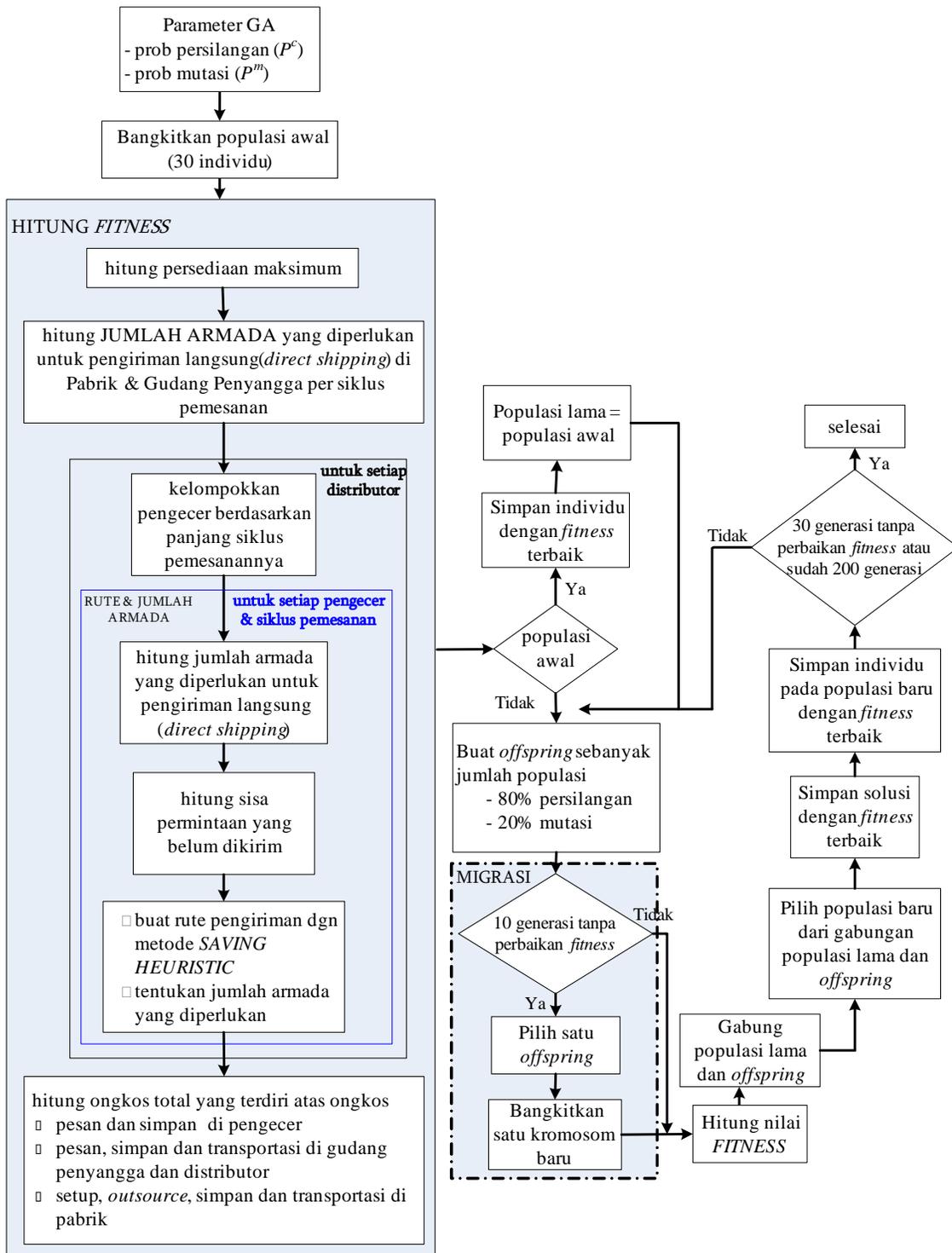
#### 4. ALGORITMA SOLUSI

Problem optimisasi dengan variabel keputusan bilangan bulat (*integer*) dan terbatas (*finite*) dikategorikan sebagai optimisasi kombinatorial (Papadimitriou dan Steiglitz, 1982). Selain itu, pengaturan rute (*vehicle routing problem*) dalam pengiriman berbagi di distributor juga merupakan problem optimisasi kombinatorial (Cordeau et al., 2002). Dengan demikian problem model ini secara keseluruhan dapat dikategorikan sebagai problem optimisasi kombinatorial dan masuk dalam kategori model NP-hard (Hertz dan Widmer, 2003). Dipergunakan algoritma genetika untuk menyelesaikan model yang dikembangkan. Pada pemodelan di atas terdapat beberapa variabel keputusan bilangan bulat, oleh karena itu pada algoritma ini akan digunakan *integer encoding* (Pasandideh dan Niaki, 2008).

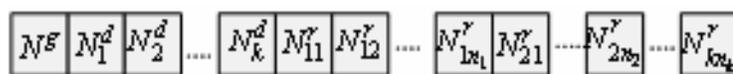
Seperti Santoso et al. (2008b), langkah awal algoritma genetika adalah membangkitkan populasi awal secara random dengan ukuran populasi sebesar 30 individu (kromosom). Setelah dihitung *fitness* untuk setiap individu, *offsprings* dibangkitkan dengan menggunakan 3 strategi reproduksi. Pertama, persilangan (80% ) dengan probabilitas terjadi persilangan ( $P^c$ ) sebesar 0,9. Kedua, mutasi (20%) dengan probabilitas terjadi mutasi 0,2. Ketiga, migrasi jika terdapat 10 generasi berurutan tanpa perbaikan nilai *fitness*. Generasi atau populasi baru diperoleh dari 30 individu terbaik dari hasil gabungan populasi lama dan *offspring*. Algoritma ini akan dihentikan apabila sudah mencapai 200 generasi atau terdapat 30 generasi berurutan tanpa perbaikan nilai *fitness*. Metode *saving heuristic* (Pujawan, 2005) dipergunakan untuk mencari rute pengiriman dalam setiap kelompok pengiriman seperti pada algoritma genetika selengkapnya di Gambar 4.

Sebuah kromosom terdiri dari beberapa gen yang merepresentasikan frekuensi pesan sebuah eselon di siklus pesan eselon atasnya ( $N^g; N_k^d; N_{kj}^r$ ). Jumlah gen ditentukan oleh jumlah distributor dan pengecer seperti pada Gambar 5.

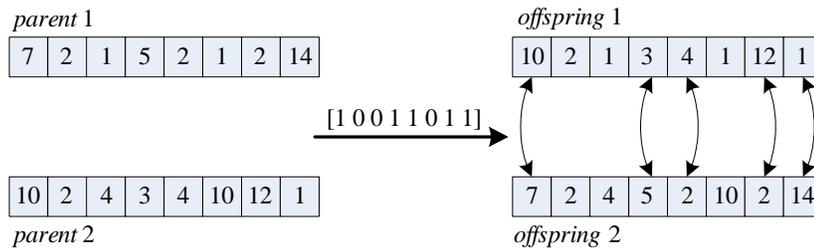
Dari, pada proses persilangan, dipilih 2 kromosom (individu) secara random dari populasi. Sebuah bilangan riil dibangkitkan secara random untuk menentukan apakah persilangan dilakukan atau tidak. Jika nilai bilangan tersebut lebih kecil dari  $P^c$  maka persilangan dilakukan. Jika persilangan dilakukan, satu set bilangan biner dibangkitkan. Gen dari 2 kromosom terpilih disilang jika bilangan biner bernilai 1 (Gambar 6).



Gambar 4. Algoritma metode solusi

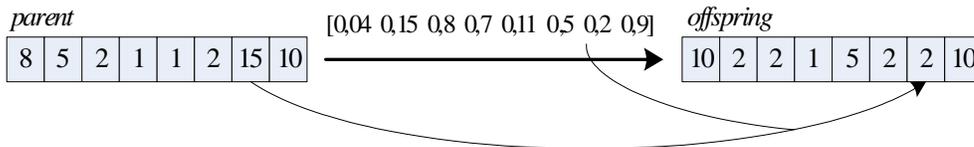


Gambar 5. Gen dalam kromosom



**Gambar 6.** Proses persilangan dengan *integer encoding*

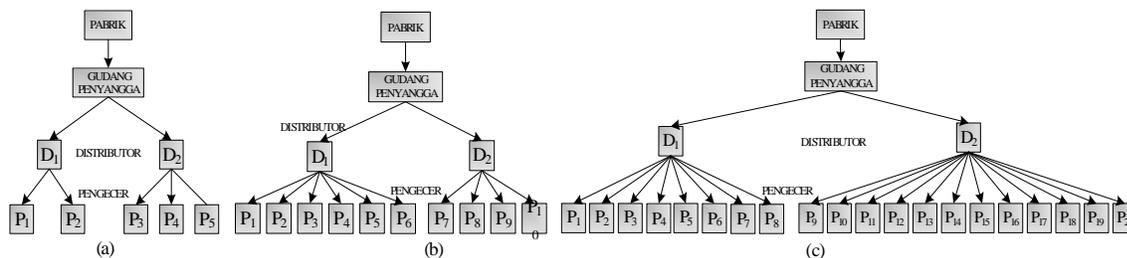
Sedangkan pada proses mutasi, dipilih sebuah kromosom secara random dari populasi. Satu *set* bilangan riil dibangkitkan secara random untuk menentukan apakah gen akan dimutasi atau tidak. Gen dimutasi jika nilai bilangan random kurang dari  $P^m$ . Jika gen dimutasi maka dibangkitkan sebuah gen baru secara random. Proses mutasi dapat dilihat pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Proses mutasi

## 5. CONTOH NUMERIK

Tiga kasus yang dipergunakan untuk menganalisis model. Kasus pertama mempertimbangkan 5 pengecer, kasus kedua 10 pengecer dan kasus ketiga 20 pengecer. Ketiga kasus mempertimbangkan 1 pabrik, 1 gudang penyangga dan 2 distributor. Struktur sistem rantai pasok ketiga kasus dapat dilihat pada Gambar 8.



**Gambar 8.** Struktur rantai pasok ketiga kasus

Kapasitas produksi sebesar 8000 ton untuk kasus 1, 15000 ton untuk kasus 2 dan 28000 ton untuk kasus 3. Fasilitas produksi dirawat setiap 0,9 tahun sekali dengan waktu yang diperlukan untuk merawat adalah 0,1 tahun. Fungsi permintaan (polinomial) di pengecer seperti di Tabel 1.

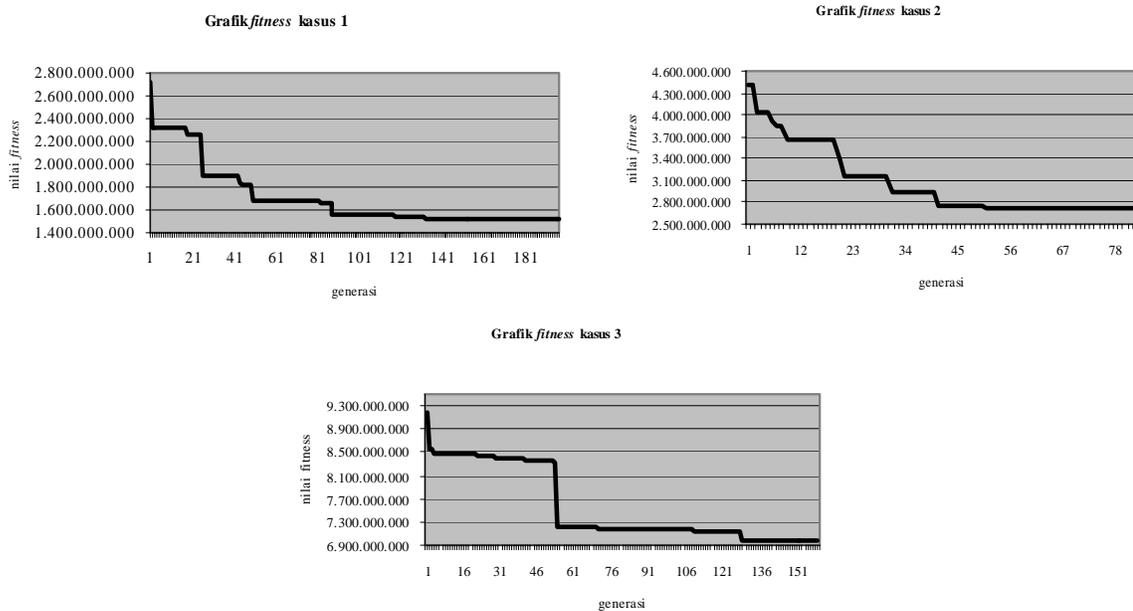
Spesifikasi komputer yang dipergunakan Intel Core-2-duo 2GHz dan RAM sebesar 2 GB untuk menyelesaikan model dengan menggunakan metode solusi algoritma genetika yang dikembangkan. Hasil *fitness* setiap kasus yang diperoleh dapat dilihat di Tabel 2 dan grafik *fitness* dari ketiga kasus di Gambar 9.

**Tabel 1.** Fungsi permintaan pengecer di ketiga kasus

1	Kasus		Fungsi polinomial permintaan
	2	3	
P1	P1; P4; P5 & P6	P1; P4; P5 & P6	$f(t) = 82590t^4 - 144900t^3 + 79830t^2 - 16690t + 2885$
P2	P2 & P3	P2 ; P3; P7 & P8	$f(t) = 56580t^4 - 91310t^3 + 43260t^2 - 6067t + 1071$
P3	P7	P9; P13; P16 & P19	$f(t) = 158300t^5 - 352700t^4 + 281900t^3 - 98210t^2 + 13220t + 490,1$
P4	P8	P10; P14; P15 & P20	$f(t) = 62430t^4 - 115300t^3 + 68030t^2 - 16170t + 3236$
P5	P9 & P10	P11; P12; P17 & P18	$f(t) = 49270t^4 - 73690t^3 + 25620t^2 - 234,2t + 1913$

**Tabel 2.** Hasil dari algoritma genetika ketiga kasus

Kasus	Fitness (rupiah)	Waktu komputasi (menit)	Generasi
1	1.495.537.871,25	590	195
2	2.652.653.367,40	565	81
3	6.747.026.665,58	1709	159



**Gambar 9.** Grafik *fitness* untuk ketiga kasus

Manfaat penggunaan pengiriman berbagi dapat diketahui dengan membandingkan ongkos transportasi di distributor jika pengiriman produk dari distributor ke pengecer hanya menggunakan pengiriman langsung saja dan jika menggunakan pengiriman langsung dan berbagi. Di Tabel 3 dapat dilihat peningkatan penghematan yang diperoleh jika menggunakan pengiriman berbagi selain pengiriman langsung untuk mengirim produk dari distributor ke pengecer. Penghematan yang diperoleh sejalan dengan jumlah pengecer yang dipertimbangkan. Jika hanya 5 pengecer

yang dipertimbangkan, pengiriman berbagi memberi penghematan sebesar 7,39%, akan tetapi jika 20 pengecer yang dipertimbangkan terjadi penghematan sebesar 19,50%. Waktu komputasi yang diperlukan jika juga menggunakan pengiriman berbagi meningkat dibandingkan waktu komputasi yang diperlukan tanpa mempertimbangkan pengiriman berbagi.

**Tabel 3.** Perbandingan ongkos transportasi antara dengan dan tanpa pengiriman berbagi

Kasus	Ongkos transportasi di distributor (rupiah)		Penghematan (%)
	Pengiriman langsung	Pengiriman langsung dan berbagi	
1	223.520.000,00	207.000.000,00	7,39
2	486.500.000,00	422.940.000,00	13,07
3	1.171.900.000,00	943.380.000,00	19,50

**Tabel 4.** Waktu komputasi dengan dan tanpa pengiriman berbagi

Kasus	Waktu komputasi (menit) dengan penerapan		Penambahan waktu komputasi (%)
	Pengiriman langsung	Pengiriman langsung & berbagi	
1	537	590	9,87
2	497	565	13,68
3	1400	1709	22,07

## 6. KESIMPULAN

Model integrasi persediaan-transportasi di sistem rantai pasok 4-eselon diklasifikasikan sebagai model optimasi kombinatorial. Hal ini berarti model ini adalah model NP-hard sehingga dikembangkan algoritma genetika dengan *integer encoding*.

Dengan mempertimbangkan pengiriman berbagi memberikan penghematan yang makin besar jika jumlah pengecer yang dipertimbangkan makin besar. Oleh karena itu pengiriman berbagi makin bermanfaat dipergunakan jika jumlah pengecer yang dipertimbangkan makin besar.

Hal yang menjadi masalah adalah waktu komputasi yang juga semakin meningkat sejalan dengan bertambah jumlah pengecer yang dipertimbangkan. Oleh karena itu untuk penelitian ke depan selain dapat mempertimbangkan permintaan bergantung waktu dan probabilistik, juga perlu dikembangkan algoritma solusi yang dapat menurunkan waktu komputasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdul-Jalbar, B., Gutierrez, J., Puerto, J., and Sicilia, J., 2003. "Policies for Inventory/Distribution Systems: The Effect of Centralization vs. Decentralization." *International Journal of Production Economics*, Vol. 81-82, pp. 281-293.
- Abdul-Jalbar, B., Gutierrez, J. M., and Sicilia, J., 2006. "Single Cycle Policies for One-Warehouse N-Retailer Inventory/Distribution System." *Omega*, Vol. 34, pp. 196-208.
- Archetti, C., Speranza, M. G., and Hertz, A., 2006. "A Tabu Search Algorithm for the Split Delivery Vehicle Routing Problem." *Transportation Science*, Vol. 40, No. 1, pp. 64-73.
- Barbarosoglu, G., and Ozgur, D., 1999. "A Tabu Search Algorithm for the Vehicle Routing Problem." *Computers & Operations Research*, Vol. 26, pp. 255-270.

- Chan, L. M. A., and Simchi-Levi, D., 1998. "Probabilistic Analysis and Algorithms for Three-Level Distribution Systems." *Management Science*, Vol. 40, No. 11, pp. 1562-1576.
- Chopra, S., and Meindl, P., 2007. *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operations*, 3<sup>rd</sup> ed., Prentice Hall, New Jersey.
- Clark, A. J., and Scarf, H., 1960. "Optimal Policies for a Multi-Echelon Inventory Problem." *Management Science*, Vol. 6, pp. 475-490.
- Cordeau, J. F., Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J. Y., and Semet, F., 2002. "A Guide to Vehicle Routing Heuristics." *Journal of the Operational Society*, Vol. 53, pp. 512-522.
- Gallego, G., and Simchi-Levi, D., 1990. "On the Effectiveness of Direct Shipping Strategy for the One-Warehouse Multi-Retailer R-Systems." *Management Science*, Vol. 36, No. 2, pp. 240-243.
- Gaur, V., and Fisher, M. L., 2004. "A Periodic Inventory Routing Problem at a Supermarket Chain." *Operations Research*, Vol. 52, No. 6, pp. 813-822.
- Hertz, A., and Widmer, M., 2003. "Guidelines for the Use of Meta-Heuristics in Combinatorial Optimization." *European Journal of Operational Research*, Vol. 151, pp. 247-252.
- Nur Bahagia, S., 1999. "Model Optimasi Integral Sistem Rantai Nilai 3 Eselon." *Proceedings Seminar Sistem Produksi IV*, ITB-Bandung.
- Nur Bahagia, S., dan Sofitra, M., 2001. "Model Integrasi Sistem Logistik Tiga Eselon dengan Mempertimbangkan Jalur Distribusinya." *Jurnal Teknik dan Manajemen Industri ITB-Bandung*, Vol. 21, No. 2, pp. 1-19.
- Papadimitriou, C. H., and Steiglitz, K., 1982. *Combinatorial Optimization: Algorithms and Complexity*. Prentice-Hall, New Jersey.
- Pasandideh, S. H. R., and Niaki, S. T. A., 2008. "A Genetic Algorithm Approach to Optimize a Multi-Products EPQ Model with Discrete Delivery Orders and Constrained Space." *Applied Mathematics and Computation*, Vol. 195, pp. 506-514.
- Pujawan, I. N., 2005. *Supply Chain Management*, Guna Widya, Surabaya.
- Routroy, S., and Kodali, R., 2005. "Differential Evolution Algorithm for Supply Chain Inventory Planning." *Journal of Manufacturing Technology Management*, Vol. 16, No. 1, pp. 7-17.
- Santoso, A., Nur Bahagia, S., Suprayogi, and Sasongko, D., 2007a. "Integrated Production-Distribution Planning with Time-Dependent Demand in Multi-Echelon Supply Chain." *Proceedings of the 2nd Operation and Supply Chain Management Conference*, Bangkok-Thailand, pp. 1037-1046.
- Santoso, A., Nur Bahagia, S., Suprayogi, and Sasongko, D., 2007b. "Integrated Production-Distribution Planning with Considering Preventive Maintenance." *Proceedings of the 1st Asia Pasific Conference on Manufacturing Systems*, Bali Indonesia, pp. 167-177.
- Santoso, A., Nur Bahagia, S., Suprayogi, dan Sasongko, D., 2008a. "Integrasi Perencanaan Produksi-Distribusi-Transportasi dengan Pengiriman Langsung." *Proceedings Seminar Nasional Perencanaan Sistem Industri*, ITB, Bandung-Indonesia, pp. 252-265.

- Santoso, A., Nur Bahagia, S., Suprayogi, and Sasongko, D., 2008b. "Genetic Algorithm for Solving the Integrated Production-Distribution-Direct Transportation Planning." *Proceedings of the 9th Asia Pasific Industrial Engineering & Management Systems Conference*, Bali-Indonesia, pp. 52-60.
- Weng, Z. K., 2004. "Coordinating Order Quantities between the Manufacturer and the Buyer: A Generalized Newsvendor Model." *European Journal of Operational Research*, Vol. 156, pp. 148-161.