

**STRATEGI PENJADWALAN KENDARAAN *INBOUND* DAN
OUTBOUND PADA TERMINAL *CROSS-DOCKING* DARI
PERUSAHAAN 3PL**

SKRIPSI

**DIANA MERDEKA SARI
04 05 07 0178**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JULI 2009**

**STRATEGI PENJADWALAN KENDARAAN *INBOUND* DAN
OUTBOUND PADA TERMINAL *CROSS-DOCKING* DARI
PERUSAHAAN 3PL**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**DIANA MERDEKA SARI
04 05 07 0178**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JULI 2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Diana Merdeka Sari

NPM : 0405070178

Tanda Tangan :

Tanggal : 9 Juli 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Diana Merdeka Sari
NPM : 0405070178
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Strategi Penjadwalan Kendaraan *Inbound* dan
Outbound pada Terminal *Cross-docking* dari
Perusahaan 3PL

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Amar Rachman, MEIM ()
Penguji : Arian Dhini ST., MT. ()
Penguji : Armand Omar Moeis, ST., MSc. ()
Penguji : Ir. Isti Surjandari, MT., MA., PhD ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 9 Juli 2009

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, sebab hanya atas rahmat dan bimbingan-Nya penelitian ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Penelitian ini disusun dalam rangka melengkapai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan Progam Pendidikan Sarjana di Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dan bimbingan dari berbagai pihak, penelitian ini tentunya mustahil dapat diselesaikan, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

- (1) Ir. Amar Rachman, MEIM, selaku dosen pembimbing yang telah begitu banyak menyediakan waktu, tenaga, pikiran, dan kesabarannya yang luar biasa untuk mengarahkan penulis dalam penelitian ini.
- (2) Professor Ching-Jung Ting, dari Departemen Manajemen dan Teknik Industri, Universitas Yuan Ze, Taiwan, atas kesediaannya berkorespondensi dengan penulis mengenai penelitiannya yang sangat menarik.
- (3) Bapak Sandy, Bapak Denny, Bapak Deddy, Bapak Doddy, Bapak Nursalim, dan seluruh staf DHL Exel Supply Chain Indonesia, yang sangat ramah, perhatian dan banyak membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini.
- (4) Ayah dan ibu penulis yang tercinta, atas seluruh perhatian dan kasih sayangnya yang tanpa batas, dimana tanpanya penulis tidak mungkin mencapai tahap seperti sekarang ini.
- (5) Arthur Dias, rekan penulis yang luar biasa, yang tanpa bantuannya penulis tentu tidak akan dapat menyelesaikan penelitian ini tepat pada waktunya.
- (6) Keshia, Nangke, Pipop, Lia, Tansen, Hery, dan rekan-rekan TI 2005 lainnya yang telah menjadi sahabat setia penulis baik dalam suka maupun duka dalam menyelesaikan penelitian ini.

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT membalas segala kebaikan semua pihak yang telah banyak membantu penulis selama ini. Semoga penelitian ini dapat berguna di masa yang akan datang.

Depok, 9 Juli 2009

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Diana Merdeka Sari
NPM : 0405070178
Program Studi : Teknik Industri
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**Strategi Penjadwalan Kendaraan *Inbound* dan *Outbound* pada Terminal
Cross-docking dari Perusahaan 3PL**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 9 Juli 2009
Yang menyatakan

(Diana Merdeka Sari)

ABSTRAK

Nama : Diana Merdeka Sari
Program Studi : Teknik Industri
Judul : Strategi Penjadwalan Kendaraan *Inbound* dan *Outbound* pada Terminal *Cross-docking* dari Perusahaan 3PL

Penelitian ini berfokus pada tiga macam strategi penjadwalan kendaraan pada terminal *cross-docking* dari perusahaan 3PL (*Third Party Logistics*). Ketiga strategi tersebut adalah strategi tak terkoordinasi, terkoordinasi dengan satu *headway* yang sama, dan terkoordinasi dengan *headway* dari rasio bilangan bulat. Awalnya dicari nilai *headway* dari masing-masing strategi, lalu dilanjutkan dengan perhitungan biaya operasional, biaya inventori dan biaya tunggu perpindahan, dimana penjumlahan dari ketiganya merupakan biaya total pada sistem. Khusus untuk strategi ketiga, pencarian *headway* dan biaya akan diolah menggunakan algoritma heuristik. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa strategi terkoordinasi dengan *headway* rasio bilangan bulat adalah strategi terbaik dari ketiga strategi tersebut.

Kata kunci:

Strategi penjadwalan, kendaraan *inbound*, kendaraan *outbound*, *cross-docking*, *third party logistics*, *headway*, heuristik

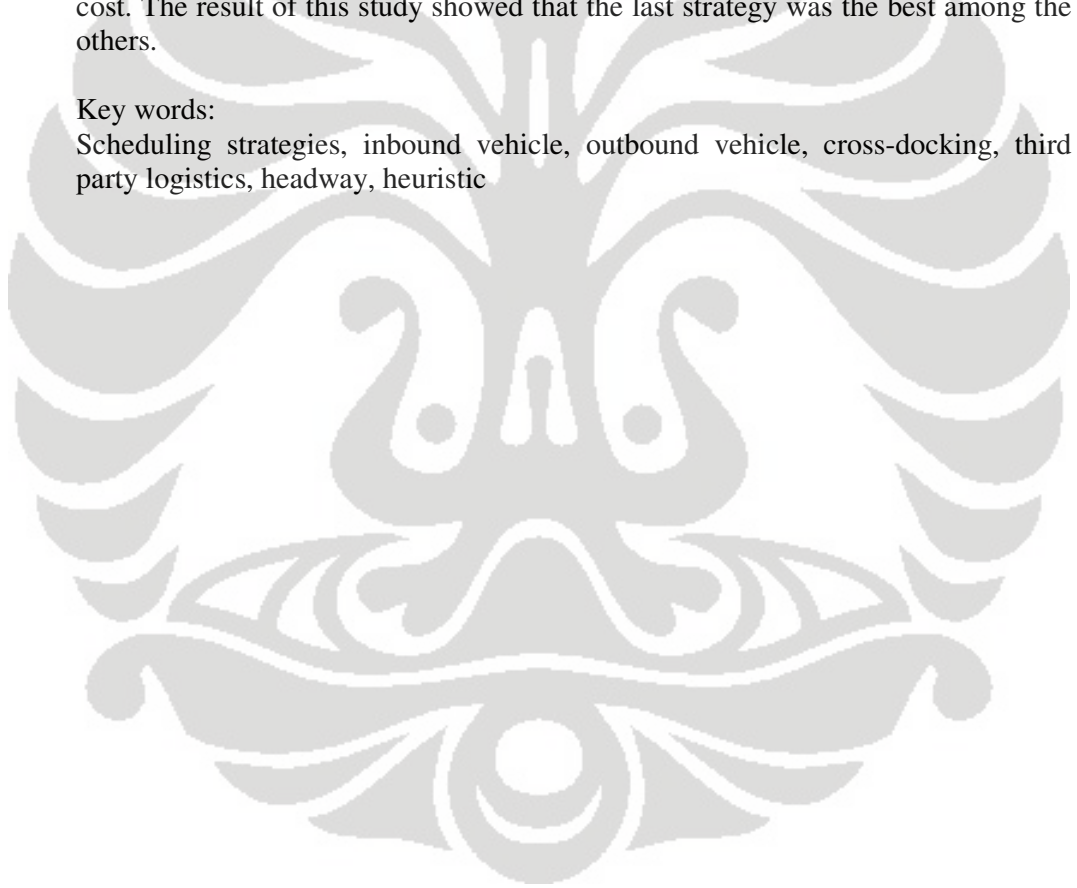
ABSTRACT

Name : Diana Merdeka Sari
Study Program : Industrial Engineering
Title : Scheduling Strategies for Inbound and Outbound Vehicles in a Cross-docking Terminal of 3PL Company

The study's focusing on three vehicle scheduling strategies for the cross-docking terminals of 3PL (Third Party Logistics) companies. These strategies were uncoordinated, coordinated with a common headway, and coordinated with integer ratio headways. At first, headways for each strategies were found, then the costs involved, such as operating, inventory, and transshipment waiting cost, were counted. The sums of those three resulted in total system cost. Only for the third strategy, a heuristic algorithm is used to find the best headway and the minimum cost. The result of this study showed that the last strategy was the best among the others.

Key words:

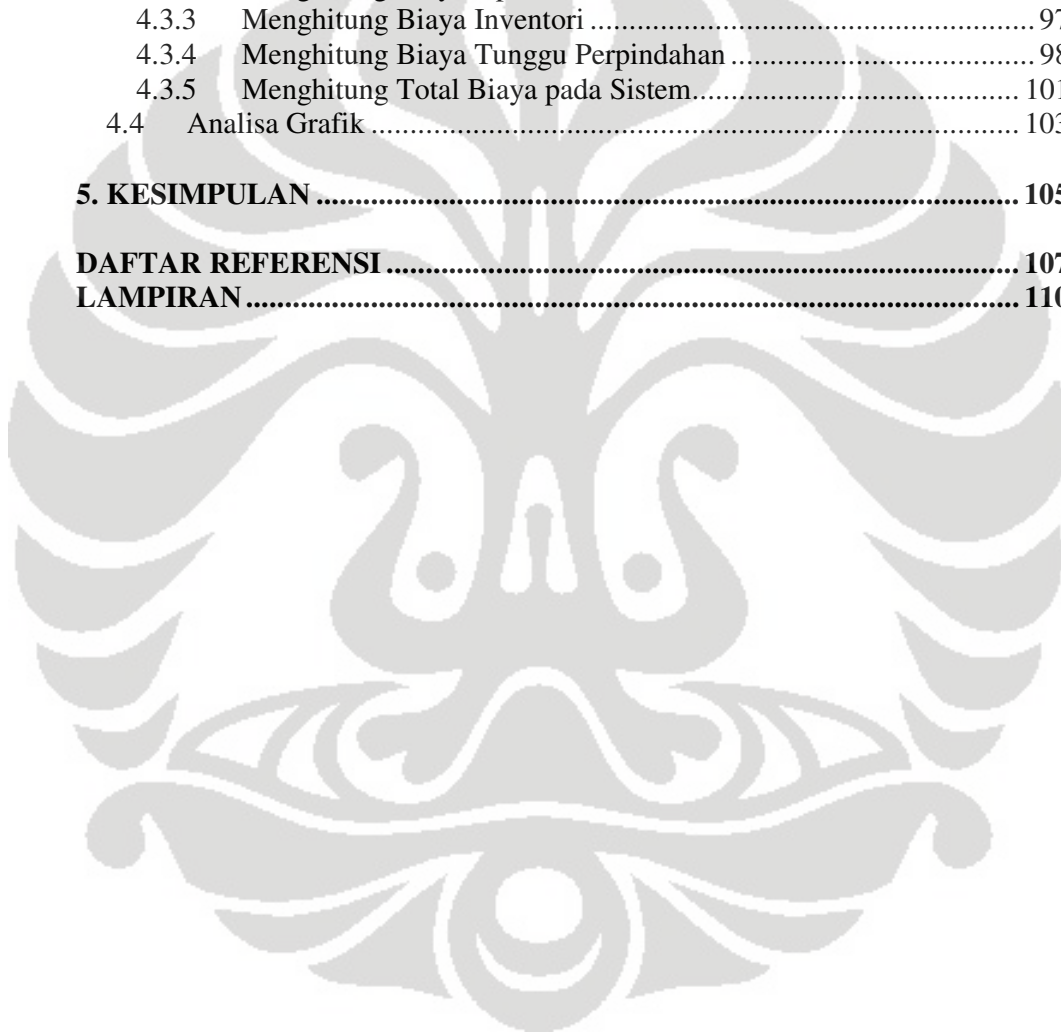
Scheduling strategies, inbound vehicle, outbound vehicle, cross-docking, third party logistics, headway, heuristic



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Permasalahan	1
1.2 Diagram Keterkaitan Permasalahan	3
1.3 Rumusan Permasalahan	5
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	5
1.6 Metodologi Penelitian	6
1.7 Sistematika Penulisan	8
2. TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1 Pengertian Perusahaan <i>Third Party Logistics</i> (TPL/3PL)	10
2.2 Pengertian <i>Cross-docking</i>	12
2.3 Penelitian mengenai Penjadwalan Kendaraan <i>Inbound</i> dan <i>Outbound</i> pada Terminal <i>Cross-docking</i>	17
2.3.1 Strategi Tak-Terkoordinasi (<i>Uncoordinated Strategy</i>)	18
2.3.2 Strategi Terkoordinasi dengan Satu <i>Headway</i> yang Sama (<i>Coordinated with a Common Headway Strategy</i>)	20
2.3.3 Strategi Terkoordinasi dengan <i>Headway</i> dari Rasio Bilangan Bulat (<i>Coordinated with Integer Ratio Headways Strategy</i>)	21
2.3.4 Contoh Kasus	28
3. PENGUMPULAN DATA	35
3.1 <i>Cross-docking Overview</i> pada DHL Exel Supply Chain	35
3.1.1 Prinsip Operasi <i>Cross-docking</i> DHL Exel Supply Chain	37
3.1.2 <i>Business Process</i> WMS <i>Cross-docking</i> DHL Exel Supply Chain	38
3.2 Rute <i>Inbound</i> dan <i>Outbound</i> pada <i>Cross-docking</i> DESC-Makro	44
3.3 <i>Shipping Quantity</i> pada <i>Cross-docking</i> DESC-Makro	48
3.4 <i>Transportation Rate</i> dan <i>Delivery Times</i> untuk Tiap <i>Destination</i>	58
3.5 <i>Unit Inventory Carrying Cost</i>	59
4. PENGOLAHAN DAN ANALISA	60
4.1 Strategi Tak Terkoordinasi	60
4.1.1 Mencari Nilai <i>Headway</i>	61
4.1.2 Menghitung Biaya Operasional Kendaraan	72

4.1.3	Menghitung Biaya Inventori	75
4.1.4	Menghitung Biaya Tunggu Perpindahan	78
4.1.5	Menghitung Total Biaya pada Sistem.....	78
4.2	Strategi Terkoordinasi dengan Satu <i>Headway</i> yang Sama	78
4.2.1	Mencari Nilai <i>Headway</i>	79
4.2.2	Menghitung Biaya Operasional Kendaraan	79
4.2.3	Menghitung Biaya Inventori	80
4.2.4	Menghitung Total Biaya pada Sistem.....	80
4.3	Strategi Terkoordinasi dengan <i>Headway</i> dari Rasio Bilangan Bulat	81
4.3.1	Mencari Nilai <i>Headway</i>	83
4.3.2	Menghitung Biaya Operasional Kendaraan	95
4.3.3	Menghitung Biaya Inventori	97
4.3.4	Menghitung Biaya Tunggu Perpindahan	98
4.3.5	Menghitung Total Biaya pada Sistem.....	101
4.4	Analisa Grafik	103
5.	KESIMPULAN	105
	DAFTAR REFERENSI	107
	LAMPIRAN	110



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Permintaan (<i>Demand</i>) dari Produk (dalam satuan pon/jam)	29
Tabel 2.2 Hasil Pengolahan dari Tiap Strategi	29
Tabel 2.3 Nilai <i>Headway</i> yang Optimal untuk tiap Rute pada Strategi Rasio Bilangan Bulat	31
Tabel 3.1 Daftar <i>Supplier</i> yang Mengirimkan Produk ke Gudang <i>Cross-docking</i> DESC-Makro	45
Tabel 3.2 Daftar Lokasi Toko Makro	48
Tabel 3.3 Data <i>Shipping Quantity</i> dalam Satuan <i>cases</i> pada Gudang <i>Cross-docking</i> DESC-Makro	49
Tabel 3.4 <i>Transportation Rate</i> dan <i>Delivery Times</i> untuk Tiap <i>Destination</i>	58
Tabel 3.5 <i>Unit Inventory Carrying Cost</i>	59
Tabel 4.1 Perhitungan <i>Inbound Delivery Times</i> (t_i^a)	62
Tabel 4.2 Perhitungan <i>Outbound Delivery Times</i> (t_j^d)	63
Tabel 4.3 Perhitungan Biaya Operasional Linear per Unit untuk Kendaraan <i>Inbound</i> (B_i^a)	64
Tabel 4.4 Perhitungan Biaya Operasional Linear per Unit untuk Kendaraan <i>Outbound</i> (B_j^d)	65
Tabel 4.5 Perhitungan Nilai <i>Inventory Carrying Cost</i> (v)	66
Tabel 4.6 <i>Shipping Quantity</i> untuk Tiap Rute <i>Inbound</i> (Q_i)	66
Tabel 4.7 <i>Shipping Quantity</i> untuk Tiap Rute <i>Outbound</i> (Q_j)	69
Tabel 4.8 Nilai <i>Headway</i> untuk Tiap Rute <i>Inbound</i> (h_i^a)	70
Tabel 4.9 Nilai <i>Headway</i> untuk Tiap Rute <i>Outbound</i> (h_j^d)	72
Tabel 4.10 Biaya Operasional Kendaraan <i>Inbound</i> ($C_{Binbound}$)	73
Tabel 4.11 Biaya Operasional Kendaraan <i>Outbound</i> ($C_{Boutbound}$)	74
Tabel 4.12 Biaya Inventori pada Daerah Asal Pengiriman (C_i^a)	75
Tabel 4.13 Biaya Inventori pada Daerah Tujuan Pengiriman (C_i^d)	77
Tabel 4.14 Langkah Pertama dari Pencarian <i>Headway</i> pada Rute <i>Inbound</i> (h_i^a)	84
Tabel 4.15 Langkah Pertama dari Pencarian <i>Headway</i> pada Rute <i>Outbound</i> (h_j^d)	85
Tabel 4.16 Pencarian <i>Base Cycle</i> (y) dengan beberapa Nilai <i>Incremental Search</i> (Δ) yang Berbeda	86
Tabel 4.17 <i>Lower</i> dan <i>Upper Bound</i> untuk tiap Rute <i>Inbound</i> pada <i>Base Cycle</i> 5.8	88
Tabel 4.18 <i>Lower</i> dan <i>Upper Bound</i> untuk tiap Rute <i>Outbound</i> pada <i>Base Cycle</i> 5.8	90
Tabel 4.19 Nilai <i>Headway</i> Akhir untuk tiap Rute <i>Inbound</i> pada <i>Base Cycle</i> 5.8	91
Tabel 4.20 Nilai <i>Headway</i> Akhir untuk tiap Rute <i>Outbound</i> pada <i>Base Cycle</i> 5.8	92
Tabel 4.21 <i>Headway</i> Optimal untuk Rute <i>Inbound</i>	94
Tabel 4.22 <i>Headway</i> Optimal untuk Rute <i>Outbound</i>	95
Tabel 4.23 Biaya Operasional Kendaraan pada Tiap <i>Base Cycle</i> (y)	96
Tabel 4.24 Biaya Inventori pada Tiap <i>Base Cycle</i> (y)	97
Tabel 4.25 Perkalian <i>Headway</i> untuk Rute <i>Inbound</i> (γ^a) pada <i>Base Cycle</i> 5.8	99

Tabel 4.26 Perkalian <i>Headway</i> untuk Rute <i>Outbound</i> (γ^d) pada <i>Base Cycle</i> 5.8	100
Tabel 4.27 Biaya Tunggu Perpindahan pada Tiap <i>Base Cycle</i> (y)	101
Tabel 4.28 Total Biaya pada Sistem untuk Tiap <i>Base Cycle</i> (y) yang Berbeda .	102



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah	4
Gambar 1.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	7
Gambar 2.1 Tiga Tipe Utama Solusi Bisnis yang Ditawarkan Perusahaan 3PL.	11
Gambar 2.2 Konsolidasi Muatan pada Terminal Cross-Docking	13
Gambar 2.3 Jadwal Pertemuan dari Kendaraan Inbound dan Outbound untuk Strategi dengan Integer Ratio Headway.....	23
Gambar 2.4 Algoritma Heuristik untuk Strategi dengan Rasio Integer	26
Gambar 2.5 Contoh untuk Branch-and-Bound dimana $y=1$	27
Gambar 2.6 Efek dari Δ pada Run Time dan Total Biaya pada Sistem.....	30
Gambar 2.7 Total Biaya pada Sistem vs. Tingkatan Demand yang Berbeda pada Rute 1	31
Gambar 2.8 Total Biaya pada Sistem vs. Biaya Tetap Operasional Kendaraan yang Berbeda.....	32
Gambar 2.9 Total Biaya pada Sistem vs. Biaya Variabel per Unit Operasional Kendaraan yang Berbeda	33
Gambar 2.10 Total Biaya pada Sistem vs. Unit Inventory Carrying Cost yang Berbeda	33
Gambar 3.1 Aliran Sederhana pada Gudang <i>Cross-Docking</i>	35
Gambar 3.2 <i>Warehouse Management System</i> pada Gudang <i>Cross-Docking</i> DHL Exel Supply Chain untuk Makro	37
Gambar 3.3 Aliran <i>Order Processing</i> pada Gudang <i>Cross-Docking</i> DHL Exel Supply Chain untuk Makro	39
Gambar 3.4 Aliran <i>Receiving</i> pada Gudang <i>Cross-Docking</i> DHL Exel Supply Chain untuk Makro	40
Gambar 3.5 <i>Virtual Location</i>	41
Gambar 3.6 Aliran <i>Picking</i> pada Gudang <i>Cross-Docking</i> DHL Exel Supply Chain untuk Makro	42
Gambar 3.7 SOP untuk Proses <i>Cycle Counting</i>	43
Gambar 3.8 Aliran <i>Dispatching</i> pada Gudang <i>Cross-Docking</i> DHL Exel Supply Chain untuk Makro	44
Gambar 4.1 Algoritma Heuristik untuk Mencari Nilai <i>Headway</i> pada Strategi Terkoordinasi dengan Rasio Bilangan Bulat.....	82
Gambar 4.2 <i>Coding</i> untuk Mencari Nilai <i>Headway</i> Awal	83
Gambar 4.3 <i>Coding</i> untuk Mencari Nilai <i>Base Cycle</i> y	86
Gambar 4.4 <i>Coding</i> untuk Mencari Nilai Batasan atau Kendala dalam Mencari <i>Headway</i>	87
Gambar 4.5 <i>Coding</i> untuk Mencari Nilai <i>Headway</i> Akhir yang Memenuhi Kendala	90
Gambar 4.6 <i>Coding</i> untuk Mencari Total Biaya pada Sistem	93
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Nilai <i>Outbound Headway</i> untuk tiap Strategi	103
Gambar 4.8 Perbandingan Biaya untuk Masing-masing Strategi	104

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab ini merupakan pengantar dari penelitian yang membahas tentang strategi penjadwalan kendaraan pada terminal *cross-docking* ini. Secara singkat, pada bab ini pula akan dibahas mengenai inti dari penelitian ini, langkah-langkah yang dilakukan, beserta hasil apa yang dapat dicapai dari penelitian ini, berikut paparan dan alasan mengapa penelitian ini dilakukan.

1.1 Latar Belakang Permasalahan

Logistik sudah menjadi suatu bagian yang penting dari setiap entitas ekonomi dan bisnis. Dalam dekade terakhir ini, banyak perusahaan yang baru menyadari bahwa biaya logistik mereka sudah mencapai sekitar 10-35% dari pendapatan kotor perusahaan, yang menjadikan biaya logistik sebagai komponen biaya operasional paling tinggi yang dikeluarkan perusahaan (Carter, 1998). Bahkan sumber lain mengatakan bahwa rata-rata dari biaya logistik adalah sebesar 12% dari GDP dunia (Ballou, 1999). Pihak manajemen dari berbagai perusahaan di Amerika Serikat pun sudah mulai membenahi urusan logistik mereka sejak Departemen Perdagangan AS melaporkan bahwa 60% dari seluruh biaya logistik yang dikeluarkan oleh perusahaan-perusahaan yang termasuk dalam Fortune 500, ternyata habis digunakan hanya untuk mendistribusikan produk mereka (Spalding, 1998).

Sejalan dengan membengkaknya biaya logistik tersebut, tren atau kecenderungan dunia dalam era globalisasi seperti saat ini menunjukkan bahwa ada begitu banyak perusahaan manufaktur yang akhirnya mempercayakan urusan logistiknya kepada perusahaan penyedia jasa logistik pihak ketiga atau biasa disebut dengan *Third Party Logistics (3PL/TPL) providers/companies*. Hal tersebut mereka lakukan agar perusahaan-perusahaan manufaktur ini dapat lebih memfokuskan usahanya kepada kompetensi utama mereka, yaitu manufaktur atau proses pembuatan/perakitan suatu produk. Dalam kerjasama tersebut, perusahaan 3PL bertindak sebagai pihak eksternal atau pihak ketiga yang menyediakan, mengatur, dan mengendalikan pelayanan logistik atas nama klien mereka.

Beberapa studi belakangan ini sudah mulai banyak berfokus pada permasalahan-permasalahan yang terkait dengan 3PL. Vlasak (2001) telah mempelajari integrasi dari 3PL pada jaringan distribusi Intel menggunakan suatu kerangka kerja yang mencakupi aspek finansial, non-finansial, strategi, dan operasional yang mempengaruhi keputusan dalam *outsourcing*. Ko (2003) menyajikan suatu model programa integer campuran (*mixed-integer program model*) untuk merancang suatu jaringan distribusi terintegrasi yang dinamis untuk perusahaan 3PL. Disini ia berfokus pada permasalahan jaringan yang multi-periode (*multi-period*), dua tingkat (*two-echelon*), multi-kapasitas (*multi-commodity*), dan berkapasitas (*capacitated*), mencakupi arus bolak-balik secara bersamaan. Ia mengajukan suatu algoritma genetika berbasis heuristik (*genetic algorithm-based heuristics*) untuk memecahkan *NP hard combinatorial problem* ini dan mencari solusi yang paling optimal.

Salah satu permasalahan lain yang tidak kalah menarik dan ada pada perusahaan 3PL adalah adanya *demand* yang sedikit untuk sebuah tujuan (*destination*), sehingga seringkali pengiriman dilakukan dalam bentuk *less than truck load* (LTL). Pengiriman LTL membuat biaya transportasi atau pengiriman menjadi tinggi atau dengan kata lain kurang optimal, karena biasanya biaya pengiriman produk atau biaya transportasi akan sama baik dalam bentuk LTL maupun *full truck load* (FTL). Dengan kata lain, nilai pengiriman produk dalam bentuk LTL akan jauh lebih tinggi daripada pengiriman dalam bentuk FTL.

Untuk mengurangi biaya tersebut, banyak strategi telah diterapkan oleh perusahaan 3PL. Namun salah satu strategi yang dapat dikatakan paling menarik adalah *cross-docking*. *Cross-docking* telah banyak disukai dan digunakan oleh banyak perusahaan manufaktur maupun perusahaan 3PL karena ia mencakupi berbagai faktor yang dapat memperbaiki proses logistik secara langsung sekaligus tetap menjaga level dari *customer service* secara bersamaan. Beberapa faktor yang dicakupi tersebut antara lain *just-in-time manufacturing*, *zero inventories*, *electronic data interchange*, *bar-code tracking*, dan berbagai teknik *drop ship* (Schwind, 1995, 1996; Kinnear, 1997).

Teknik *cross-docking* didefinisikan sebagai suatu proses dimana produk yang diterima dalam suatu *distribution center* (DC) atau gudang (*warehouse*),

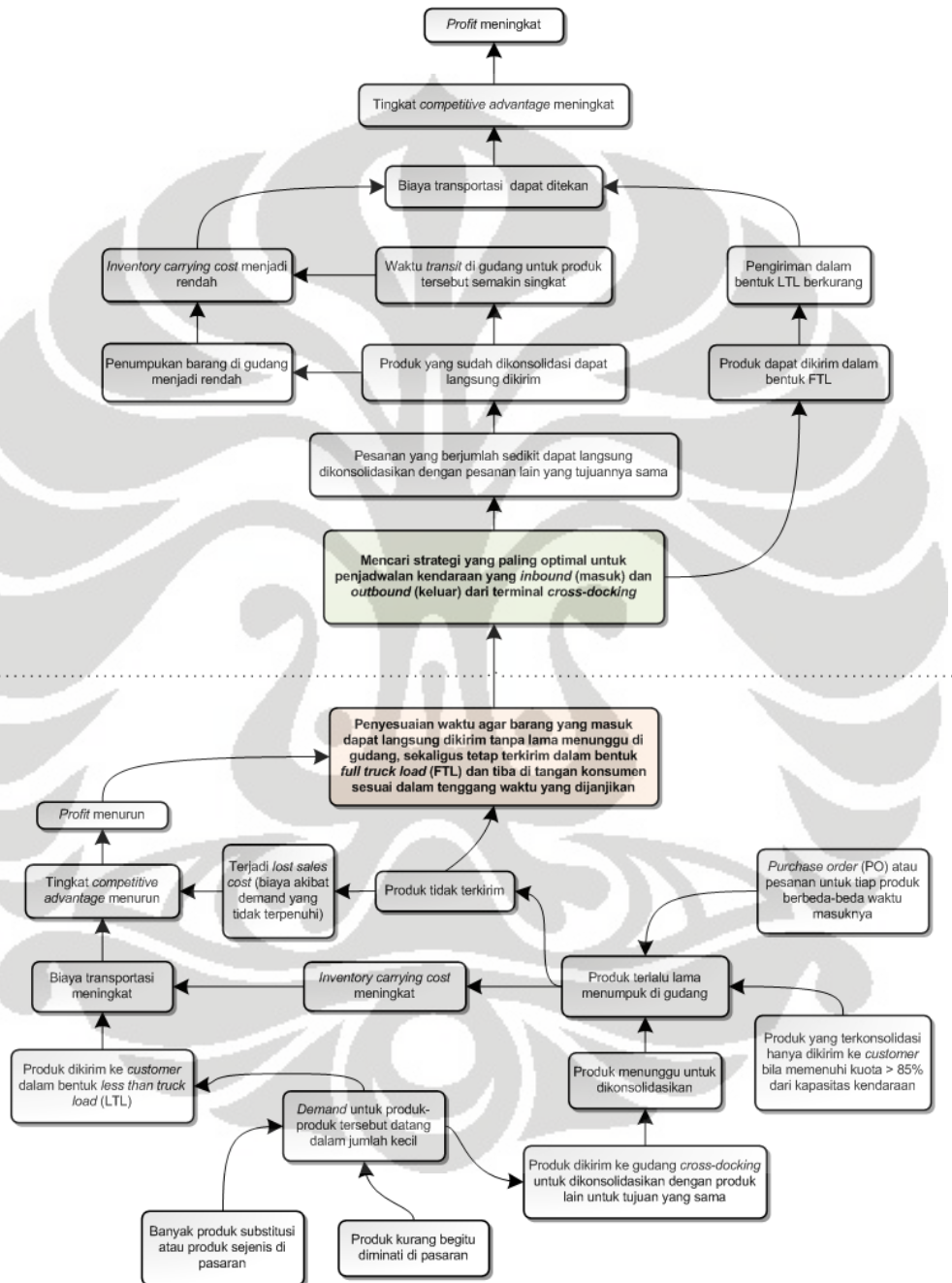
digabung atau dikonsolidasikan dengan produk lain yang akan dikirim ke tujuan (*destination*) yang sama, lalu biasanya produk tersebut akan langsung dikirim ke *destination* tersebut tanpa melalui aktivitas *storage* atau *picking* terlebih dahulu. Aktivitas *storage* dan *picking* adalah dua aktivitas yang paling banyak memakan waktu dan biaya dari keseluruhan aktivitas yang ada pada gudang. *Cross-docking* juga dapat dikatakan sebagai pergerakan produk secara langsung dari aktivitas *receiving* ke *shipping* dengan waktu tunggu yang minimal diantara kedua aktivitas tersebut. Dengan menerapkan teknik ini, perusahaan 3PL dapat meminimalkan waktu tunggu barang di gudang (*in-transit time*) untuk produk yang masuk, sekaligus mengirim produk tersebut dalam bentuk FTL sehingga biaya transportasi pun dapat ditekan.

Bagaimanapun juga, untuk menerapkan suatu sistem *cross-docking* yang baik diperlukan sistem informasi yang baik serta sinkronisasi yang baik pula terhadap pengiriman produk, baik dari rute masuk (*inbound*) maupun pada rute keluar (*outbound*). Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada permasalahan koordinasi penjadwalan kendaraan (*vehicle schedule coordination problem*). Penelitian ini mengacu pada penelitian Ting, Weng, dan Chen (2004) yang membahas mengenai tiga strategi penjadwalan kendaraan yang berbeda yang kemudian dibandingkan dan dicari mana yang paling optimal dari ketiganya. Ketiga strategi penjadwalan tersebut antara lain, strategi penjadwalan tidak terkoordinasi (*uncoordinated*), penjadwalan terkoordinasi dengan *headway* yang sama (*coordinated with a common headway*), dan penjadwalan terkoordinasi dengan *headways* yang berasal dari bilangan bulat (*coordinated with integer ratio headways*). *Headway* disini artinya adalah waktu interval antara dua truk yang berangkat baik dari *distribution center* (DC) ataupun dari terminal *cross-docking*. Sedangkan data yang akan digunakan disini berasal dari sebuah terminal *cross-docking* dari salah satu perusahaan 3PL terkemuka di Indonesia yaitu DHL Exel Supply Chain Indonesia.

1.2 Diagram Keterkaitan Permasalahan

Dengan adanya permasalahan diatas dan untuk memberikan gambaran yang lebih jelas akan gejala-gejala dari permasalahan yang ada serta untuk

mendapatkan akar permasalahan dan solusinya, maka pada sub-bab ini permasalahan tersebut dipetakan melalui suatu diagram sebab akibat atau *interrelationship diagram* seperti pada gambar berikut:



Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah

1.3 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang diatas, maka pokok permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah bagaimana caranya untuk mensinkronisasikan pengiriman pada rute *inbound* dan *outbound* agar produk tidak lama menumpuk di gudang, sekaligus di saat yang bersamaan produk tersebut dapat dikirim dalam bentuk *full truck load* (FTL) dan sampai ke tangan konsumen sesuai dalam tenggang waktu yang dijanjikan. Permasalahan tersebut akan dipecahkan dengan mencari strategi yang paling tepat untuk meminimalkan waktu tunggu (*in-transit time*) dari produk-produk tersebut selama berada di gudang. Pada penelitian ini, strategi yang paling optimal untuk mengatasi permasalahan tersebut diperoleh dari analisa dan perbandingan tiga buah strategi penjadwalan kendaraan yang masuk (*inbound*) dan keluar (*outbound*) pada terminal *cross-docking*.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan utama yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah memperoleh suatu strategi yang dapat mengoptimalkan total biaya transportasi untuk kendaraan yang masuk (*inbound*) dan keluar (*outbound*) pada terminal *cross-docking* dari suatu perusahaan 3PL.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian atau batasan masalah dibuat agar penelitian dapat lebih difokuskan terhadap permasalahan diatas. Pada penelitian ini, ruang lingkup penelitian akan diarahkan pada tiga macam strategi pengendalian atau penjadwalan kendaraan yang keluar dan masuk (*inbound and outbound vehicles*) pada terminal *cross-docking*. Ketiga strategi tersebut diantaranya adalah strategi penjadwalan yang tidak terkoordinasi (*uncoordinated strategy*) atau disebut juga *base strategy*, penjadwalan terkoordinasi dengan *headway* yang sama (*coordinated operation with a common headway strategy*), dan penjadwalan terkoordinasi dengan *headway* dari rasio bilangan bulat (*coordinated operation with integer ratio headways strategy*). Untuk menyelesaikan strategi yang ketiga, suatu algoritma heuristik digunakan untuk mengoptimalkan kedua *inbound* dan *outbound headways* yang merupakan kelipatan dari suatu siklus dasar (*base*

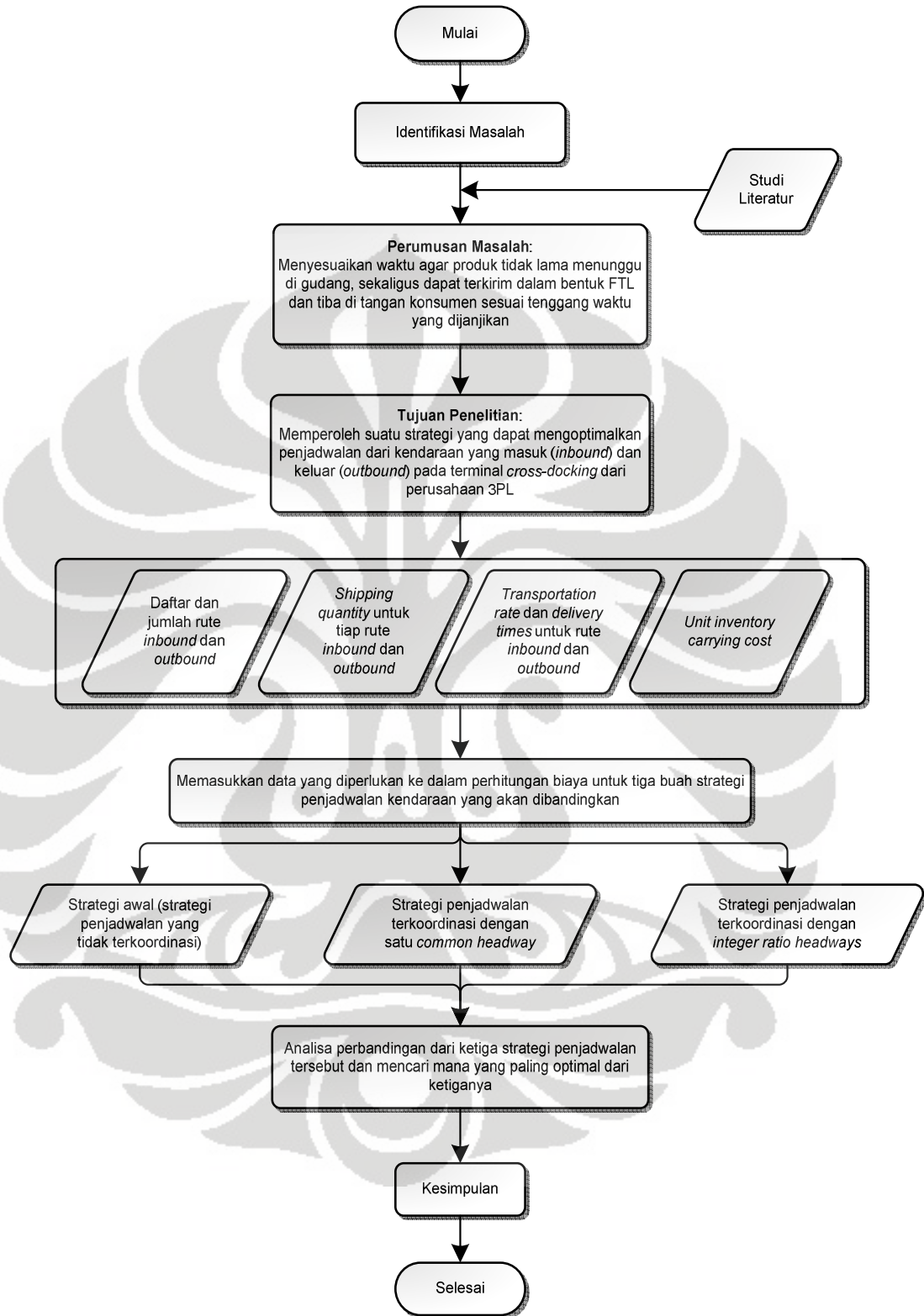
cycle). Ketiga strategi ini nantinya akan dibandingkan dan dicari yang paling optimal.

Total biaya pada sistem *cross-docking* yang akan dibahas pada masing-masing strategi nantinya, terdiri atas biaya *non-transshipment* (biaya operasional kendaraan dan biaya inventori) dan biaya *transshipment* (biaya tunggu perpindahan). Pada penelitian ini, faktor kapasitas kendaraan tidak akan dimasukkan dalam perhitungan biaya karena DHL menyewa seluruh armada transportasinya dengan tarif bervariasi sesuai dengan jarak tujuan. Selain itu, produk yang masuk ke terminal *cross-docking* adalah *multiple-product* atau lebih dari satu jenis produk.

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan pada penelitian ini dapat dijabarkan dalam bentuk diagram alir seperti tampak pada Gambar 1.2 dengan uraian sebagai berikut:

1. Melakukan identifikasi terhadap permasalahan yang ada. Identifikasi permasalahan pada penelitian ini didapat dari hasil diskusi dengan pihak perusahaan.
2. Mengumpulkan berbagai literatur terkait dengan permasalahan yang telah teridentifikasi tersebut. Literatur tersebut antara lain penelitian-penelitian terdahulu mengenai sistem *cross-docking*, baik yang membahas permasalahan apa saja yang dimiliki sistem ini, hingga metode apa saja yang dapat diterapkan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut.
3. Merumuskan permasalahan berdasarkan identifikasi masalah dan studi literatur yang terkait. Pada penelitian ini, rumusan permasalahannya adalah bagaimana menyesuaikan waktu agar produk tidak perlu terlalu lama menunggu di gudang, sekaligus tetap dapat terkirim dalam bentuk *full truck load* (FTL) dan sampai ke tangan konsumen sesuai dalam tenggang waktu yang dijanjikan.



Gambar 1.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian

4. Menentukan tujuan dari penelitian ini, dimana tujuannya adalah untuk memperoleh strategi yang paling optimal dari tiga buah strategi penjadwalan kendaraan yang masuk (*inbound*) dan keluar (*outbound*) pada terminal *cross-docking*.
5. Mengidentifikasi data yang dibutuhkan untuk penelitian ini, dimana data tersebut antara lain daftar rute *inbound* dan *outbound* pada terminal *cross-docking*, *shipping quantity* untuk masing-masing rute *inbound* dan *outbound*, *delivery times* dan *transport rate* untuk rute *inbound* dan *outbound*, dst.
6. Memasukkan data yang diperlukan ke dalam perhitungan biaya dari tiga buah strategi penjadwalan yang akan dibandingkan.
7. Hasil yang didapat adalah perhitungan total biaya dari strategi penjadwalan yang tak terkoordinasi (strategi awal), strategi terkoordinasi dengan *common headway*, dan strategi terkoordinasi dengan *integer ratio*.
8. Membuat analisis dan perbandingan dari hasil yang didapat pada ketiga strategi tersebut dan mencari mana yang paling optimal dari ketiganya.
9. Menarik kesimpulan berdasarkan hasil analisis tersebut.

1.7 Sistematika Penulisan

Secara umum pembahasan dari isi penelitian ini dijabarkan ke dalam beberapa bab dengan sistematika sebagai berikut:

Bab 1 merupakan bab pendahuluan yang menjabarkan tentang latar belakang dari dilakukannya penelitian ini, diagram yang menggambarkan keterkaitan masalah, perumusan masalah, tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini, ruang lingkup penelitian atau batasan dari masalah, lalu metodologi penelitian yang dilakukan, dan yang terakhir adalah sistematika dari penulisan atau penyusunan skripsi ini.

Bab 2 merupakan tinjauan penelitian yang dikenal juga dengan nama tinjauan pustaka atau landasan teori. Pada bab ini akan dibahas mengenai teori-teori yang berkaitan dengan penelitian ini, seperti pengertian dari perusahaan 3PL/TPL (*Third Party Logistics*), pengertian dari sistem *cross-docking*, dan seterusnya. Pada bab ini juga akan dibahas sekilas mengenai beberapa penelitian terdahulu yang telah membahas permasalahan-permasalahan dan permodelan pada

sistem *cross-docking*, beserta penelitian mengenai strategi penjadwalan kendaraan yang dijadikan rujukan utama pada penelitian ini.

Bab 3 berisikan pengumpulan data yang didapat selama penyusunan skripsi ini berlangsung. Data ini akan menjadi input atau masukan untuk menghitung total biaya dari masing-masing strategi penjadwalan kendaraan. Kemudian hasil perhitungan tersebut akan dibandingkan dan dianalisa pada bab berikutnya.

Bab 4 merupakan bab pengolahan data beserta analisa dari hasil yang diperoleh. Pada bab ini, akan dibahas konsep dari masing-masing strategi berikut bagaimana perhitungan biaya diterapkan pada masing-masing strategi. Selanjutnya, biaya-biaya yang digunakan pada masing-masing strategi akan dihitung, untuk kemudian dibandingkan dan dianalisa dengan tujuan untuk mencari strategi yang paling optimal diantara ketiga strategi tersebut.

Bab 5 berisikan kesimpulan yang didapat dari penelitian ini. Kesimpulan ini berupa ringkasan pembahasan dari keseluruhan penelitian baik dari tinjauan terhadap masing-masing strategi maupun tinjauan terhadap perbandingan hasil dari ketiga strategi tersebut.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi dasar teori yang berkaitan dengan penelitian yang ingin dilakukan. Disini akan dibahas mengenai perusahaan 3PL, sistem *cross-docking*, penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan dengan permasalahan-permasalahan pada sistem *cross-docking*, dan penelitian mengenai strategi penjadwalan kendaraan yang menjadi acuan utama pada penelitian ini.

2.1 Pengertian Perusahaan *Third Party Logistics* (TPL/3PL)

Perusahaan 3PL dapat diartikan sebagai suatu perusahaan yang menawarkan jasa pelayanan logistik dimana dalam hal ini ia bertindak sebagai pihak ketiga. Oleh karena itu, perusahaan sejenis ini dinamakan perusahaan 3PL/TPL (*Third Party Logistics*). Perusahaan 3PL diberi kewenangan oleh perusahaan utama (umumnya perusahaan manufaktur) untuk mengatur berbagai aktivitas logistik dari perusahaan tersebut baik sebagian maupun seluruhnya.

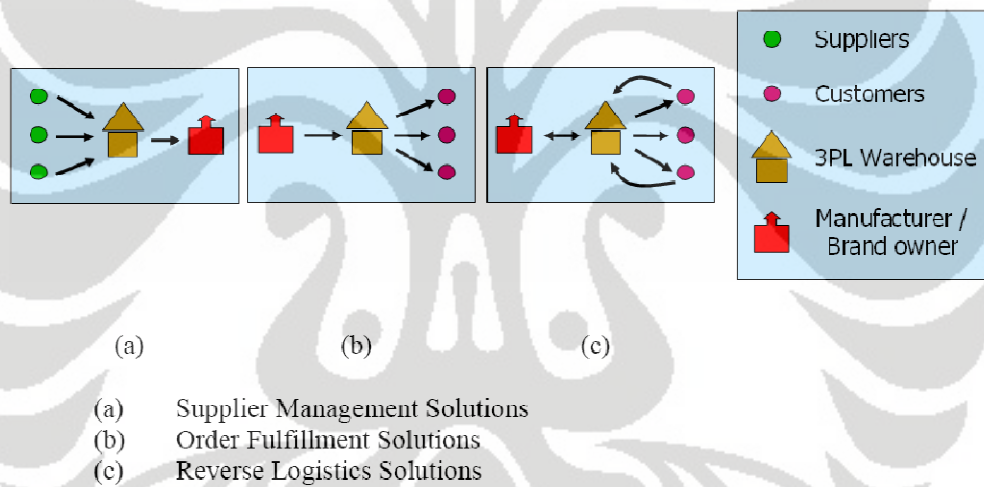
Perkembangan perusahaan 3PL dapat dikatakan cukup pesat pada dekade ini. Dalam sebuah laporan yang diterbitkan oleh Armstrong & Associates, Inc. (1994), pendapatan total untuk perusahaan 3PL di Amerika Serikat meningkat di pasaran hingga mencapai angka 89.4 triliun USD, atau dengan kata lain terjadi peningkatan sebesar 16.3% dari tahun sebelumnya. Survey global yang dilakukan oleh Capgemini U.S. LLC, Georgia Tech dan FedEx (2004), melibatkan 656 perwakilan dari Amerika Utara, Eropa Barat, Asia Pasifik, dan Amerika Latin, menyimpulkan bahwa bisnis 3PL akan terus berkembang secara pesat dan global.

Beberapa penulis seperti Lieb et al. (1993), Dapiran et al., (1996), dan Bhatnagar et al., (1999) menelusuri penyebab dari begitu meluasnya perkembangan dan penggunaan dari jasa 3PL pada berbagai negara di penjuru dunia, dan kesimpulannya adalah meluasnya penggunaan dari 3PL ini akan terus meningkat disebabkan oleh beberapa faktor sebagai berikut:

1. Jumlah aktivitas atau proses bisnis yang disubkontrakkan (*outsourced*)
2. Cakupan geografis
3. Sifat dan panjangnya kontrak

Dengan ketatnya persaingan seperti sekarang ini, perusahaan 3PL juga harus mengembangkan pemahaman mendalam akan apa yang dapat menjadi *competitive advantage* mereka di mata para klien. *Competitive advantage* ini nantinya akan menjadi tolak ukur yang penting bagi perusahaan 3PL dalam menyediakan suatu solusi bisnis untuk ditawarkan kepada klien mereka. *Competitive advantage* ini dapat ditingkatkan melalui perancangan suatu solusi bisnis yang tepat, akurat, dan optimal untuk masing-masing klien dari perusahaan 3PL.

Dalam tulisannya mengenai 3PL, Cheong (2005) mengklasifikasikan perusahaan 3PL berdasarkan solusi bisnis yang ditawarkan perusahaan 3PL kepada kliennya seperti tampak pada gambar berikut:



Gambar 2.1 Tiga Tipe Utama Solusi Bisnis yang Ditawarkan Perusahaan 3PL

(Sumber: Cheong, M.L.F. (2005). *New Models in Logistics Network Design and Implications for 3PL Companies*. PhD Dissertation, Singapore-MIT Alliance, Nanyang Technological University)

Ketiga tipe utama solusi bisnis diatas juga dapat diartikan ke dalam tiga aktivitas bisnis utama yang dilakukan oleh perusahaan 3PL, antara lain pengaturan komponen dari *supplier* kepada perusahaan manufaktur, pemenuhan pesanan dari perusahaan manufaktur kepada pelanggan akhir (*end customers*), dan pengaturan pengembalian barang dari pelanggan ke perusahaan manufaktur yang sering disebut juga sebagai *reverse logistics*.

Dengan pemahaman yang baik akan praktek bisnis dari perusahaan 3PL, maka pembahasan mengenai tinjauan pustaka ini akan dilanjutkan ke subbab berikut untuk membahas mengenai pengertian dari sistem *cross-docking* beserta penelitian-penelitian yang terkait dengan permasalahan pada sistem *cross-docking*.

2.2 Pengertian *Cross-docking*

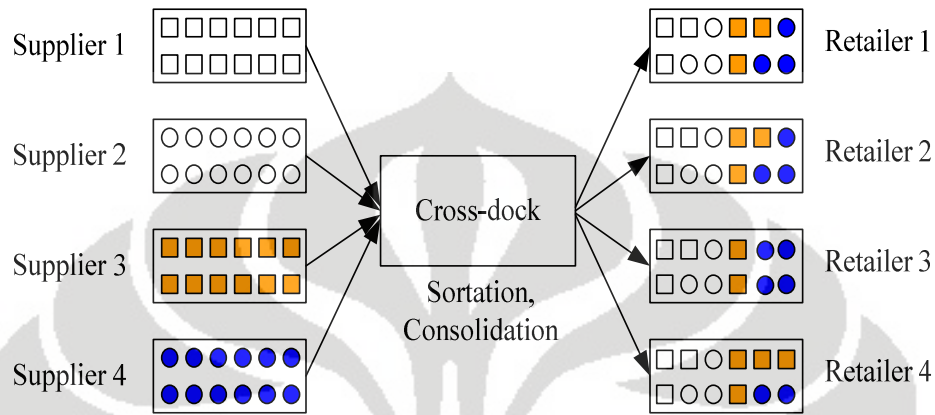
Pada gudang tradisional atau gudang pada umumnya, produk atau muatan bergerak mulai dari lokasi penerimaan (*receiving*) pada gudang, menuju ke area penyimpanan (*storage*) untuk disimpan dalam selang waktu tertentu. Lalu bila datang *purchase order* atau pesanan dari *customer*, maka produk akan diambil (*picking*) dari area *storage* untuk dikirim (*shipping*) ke alamat tujuan sesuai yang tertera pada *purchase order* yang diterima. Dari sini tampak bahwa ada empat aktivitas utama yang terdapat pada gudang, yaitu aktivitas *receiving*, *storage*, *picking*, dan *shipping*. Diantara keempat aktivitas tersebut, aktivitas *storage* dan *picking* adalah dua aktivitas yang paling banyak memakan biaya.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, ada perusahaan manufaktur yang akhirnya melakukan pengiriman langsung dari pabrik tanpa melalui gudang terlebih dahulu. Pengiriman langsung ini memang meniadakan perlunya membuat gudang dalam suatu rantai suplai, namun kondisi ini seringkali mengakibatkan adanya pengantaran berganda (*multiple deliveries*) ke berbagai pelanggan yang akhirnya malah membuat biaya transportasi menjadi semakin tinggi. Oleh karena itu, berbagai inovasi dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Salah satu strategi yang paling populer adalah dengan menggunakan sistem *cross-docking*.

Cross-docking adalah suatu strategi operasi yang memindahkan produk melalui suatu pusat konsolidasi aliran barang atau gudang *cross-docking* tanpa menyimpan produk tersebut ke dalam area *storage* atau pusat penyimpanan. Sistem *cross-docking* dapat digunakan untuk mengurangi level inventori sekaligus mengkonsolidasikan muatan atau pengiriman secara bersamaan.

Cross-docking juga dapat didefinisikan sebagai suatu proses dimana produk yang diterima dalam suatu *distribution center* (DC), digabung dengan produk lain yang akan pergi ke tujuan (*destination*) yang sama, lalu biasanya

produk yang sudah dikonsolidasi tersebut akan langsung dikirimkan tanpa adanya *delay* yang lama, tanpa disimpan, dan tanpa di-*picking* terlebih dahulu, sebagaimana ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.2 Konsolidasi Muatan pada Terminal *Cross-Docking*

(Sumber: Ting C.J, Weng W.L, & Chen C.H, (2004). Coordinate Inbound and Outbound Schedules at a Cross-Docking Terminal. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, vol. 20, no. 6, 637)

Pada umumnya begitu suatu truk atau kendaraan (*inbound trailer*) masuk ke gudang *cross-docking*, maka ia akan langsung ditugaskan pada pintu penerimaan barang masuk (*receiving door*), atau menunggu di *yard* terlebih dahulu hingga ditugaskan untuk berhenti pada pintu atau *dock* tertentu. Sementara produk yang datang, baik dalam bentuk *pallet*, kemasan atau kotak, akan langsung dibongkar dan di-*scan* untuk diidentifikasi tujuan akhirnya (*final destination*). Kemudian dalam area gudang, produk tersebut akan diambil alih oleh beberapa sarana pengangkutan tertentu. Sarana pengangkutan ini bisa berbentuk *fork lift* yang dikendalikan oleh seorang pekerja seperti pada industri *retail*, atau bisa berbentuk seperti suatu sistem *conveyor belt* otomatis seperti pada *mail distribution center* (Gue, 1999). Produk-produk tersebut lalu diangkut ke pintu pengiriman (*shipping door*) yang telah ditentukan, lalu ditumpuk di depan *outbound trailer* untuk kemudian dimuat ke dalamnya. Begitu *outbound* atau *inbound trailer* tersebut telah selesai dimuat atau dibongkar, maka kendaraan-kendaraan tersebut akan segera keluar dari *dock*, untuk kemudian digantikan oleh

inbound dan *outbound trailer* lainnya, dan kegiatan diatas akan kembali berulang terus menerus.

Dari proses tersebut, tampak bahwa sistem *cross-docking* meliputi berbagai faktor yang mempengaruhi proses logistik secara langsung dan bila sistem ini diterapkan dengan baik, maka sistem ini dapat menekan total biaya pada sistem sekaligus tetap dapat menjaga tingkat kepuasan dari pelanggan. Beberapa faktor yang dipengaruhi sistem *cross-docking* diantaranya adalah *just-in-time manufacturing*, *zero inventories*, *electronic data interchange*, *bar-code tracking*, dan berbagai teknik *drop ship* (Schwind, 1995, 1996; Kinnear, 1997).

Manfaat utama dari penerapan sistem *cross-docking* pada sistem distribusi atau rantai suplai adalah adanya pengurangan biaya transportasi melalui konsolidasi dari berbagai pengiriman yang berbeda ke dalam bentuk *full truck load* (FTL) tanpa bergantung pada inventori tambahan pada gudang (Apte dan Viswanathan, 2000). Manfaat lain dari sistem *cross-docking* antara lain, sedikit atau tidak adanya inventori pada gudang (tingkat inventori yang rendah), biaya *handling* produk/muatan yang juga rendah, kebutuhan ruang (*space* gudang) yang kecil, dan pemrosesan muatan yang tersentralisasi.

Keuntungan-keuntungan yang didapat dari penerapan sistem *cross-docking* membuat strategi *cross-docking* ini mendapat perhatian yang lebih dari perusahaan-perusahaan sejalan dengan berkembangnya zaman. Salah satu contohnya disini, penerapan sistem *cross-docking* telah berhasil membantu Wal-Mart dalam meningkatkan *market share* beserta profitabilitas perusahaan tersebut (Stalk et al., 1992). Bahkan dapat dikatakan bahwa *cross-docking* adalah suatu strategi yang membuat Wal-Mart menjadi terkenal karena teknik *cross-docking* sendiri sudah menjadi ciri khas dari Wal-Mart. Dalam prosesnya, Wal-Mart mengatur *vendor*-nya untuk tiba di *distribution center* (DC) dalam bentuk *full truck-load* (FTL) *shipments* untuk beberapa *destination* akhir yang berbeda. Lalu pada DC tersebut, *shipments* dari berbagai *supplier* tersebut akan dipecah atau dipisah-pisahkan untuk dikonsolidasi lagi dengan produk *supplier* lain, dan dikirim menjadi satu muatan yang siap dikirim ke suatu *destination* tertentu.

Lalu bila diperhatikan betapa cepatnya aktivitas yang terjadi pada gudang *cross-docking* Wal-Mart dan pada gudang *cross-docking* perusahaan lainnya,

maka dapat dikatakan bahwa dalam praktek suatu sistem *cross-docking* pada umumnya, suatu produk atau muatan tidak pernah tinggal di suatu gudang atau terminal *cross-docking* dalam kurun waktu lebih dari 24 jam.

Penelitian-penelitian mengenai sistem *cross-docking* yang dibuat oleh Schwind (1995, 1996), Cooke (1996, 1997), Kinnear (1997), Donaldson et al. (1999), Bartholdi & Gue (2000), dan Napolitano (2000) menyebutkan betapa pentingnya penggunaan sistem *cross-docking* dalam suatu sistem distribusi logistik dan mereka juga menggambarkan berbagai proses yang dapat digunakan untuk merancang suatu sistem *cross-docking* yang sesuai dengan kebutuhan perusahaan.

Blumenfeld et al. (1985) memformulasikan biaya pada sistem *cross-docking* terkoordinasi yang terdiri atas biaya operasi, biaya *in-transit* dan biaya inventori. Mereka kemudian menghasilkan suatu strategi *loading* yang optimal untuk *network* yang berbeda. Namun, mereka tidak mempertimbangkan adanya biaya *transshipping* pada DC untuk operasi yang tidak terkoordinasi. Lu (1990) kemudian menambahkan biaya *transshipping* untuk mengoptimalkan penjadwalan rute atau kendaraan yang bertemu pada suatu terminal *cross-docking*.

Lalu Tsui dan Chang (1992) merumuskan permasalahan penugasan dok (*dock assignment*) dan pengalokasian pintu *inbound* dan *outbound* dengan kendaraan (*trailer*) dalam bentuk suatu model *integer-programming*. Mereka mengembangkan suatu algoritma eksak (*exact algorithm*) menggunakan teknik *branch-and-bound* untuk model ini dan menggunakannya untuk memecahkan suatu studi kasus yang memiliki lebih dari 10 *origins* dan 12 *destinations*. Penelitian tersebut dilanjutkan oleh Gue (1999) yang kemudian membahas mengenai efek dari penjadwalan *trailer* pada pintu-pintu yang ada pada *layout* dari suatu gudang *cross-docking*.

Pada tahun berikutnya, Apte dan Viswanathan (2000) merancang suatu kerangka kerja yang dapat digunakan untuk memahami sekaligus merancang suatu sistem *cross-docking*. Sama halnya dengan mereka, Napolitano (2000) juga membuat suatu petunjuk praktis mengenai bagaimana cara untuk merencanakan, merancang, mengimplementasi, dan memelihara sistem *cross-docking*. Ia juga

mengenalkan suatu studi kasus pada sistem tersebut. Namun, ia tidak membahas mengenai permasalahan penjadwalan kendaraan untuk sistem *cross-docking*.

Bartholdi dan Gue (2000) kemudian mengembangkan model untuk biaya perjalanan antar *dock* (*travel costs within the dock*) dan membuat tiga tipe skenario kemacetan (*congestion*) yang mungkin terjadi pada saat operasi penggabungan atau konsolidasi muatan dilakukan. Model mereka juga mencakup beragam tipe peralatan yang digunakan untuk menangani barang (*material handling equipments*). Gue dan Kang (2001) kemudian mensimulasikan suatu *layout* dari gudang *cross-docking* dan menyimpulkan bahwa *layout* dengan *two-stage system* menawarkan *throughput* yang lebih rendah daripada *single-stage system* dimana muatan dapat menahan atau memblok antar *stage*.

Bila membicarakan mengenai sinkronisasi kendaraan *inbound* dan *outbound*, Daganzo (1990) telah menyajikan suatu permasalahan untuk pengaturan kendaraan *inbound* dan *outbound* yang berpapasan di sebuah terminal *cross-docking*. Ia mengamati bahwa nilai minimum dari suatu fungsi tujuan dapat tercapai saat seluruh jadwal bertemu pada satu titik yang sama. Ia juga menyimpulkan bahwa penjadwalan kendaraan *outbound* dapat dibatasi dalam satu *headway* yang sama, yang merupakan kelipatan dari masing-masing *inbound headway*.

Pentingnya penjadwalan kendaraan juga kembali diusung oleh penelitian Bartholdi dan Gue (2004) yang menunjukkan bahwa pola dari aliran muatan pada suatu terminal *cross-docking* ditentukan oleh *layout* gudang, geometri gudang, sistem penanganan material (*material handling systems*), campuran muatan, dan penjadwalan kendaraan yang keluar masuk gudang. Diantara kesemuanya, merubah *layout* gudang dan merubah penjadwalan kendaraan adalah yang paling murah dan paling mudah untuk diimplementasikan.

Namun, diantara sekian banyak penelitian yang pernah dilakukan terhadap sinkronisasi penjadwalan kendaraan pada terminal *cross-docking*, salah satu diantaranya yang paling menarik dan menjadi dasar dari penelitian ini adalah penelitian yang dilakukan oleh Ting et al. (2004). Detail mengenai penelitian tersebut akan dibahas lebih lanjut pada subbab berikut.

2.3 Penelitian mengenai Penjadwalan Kendaraan *Inbound* dan *Outbound* pada Terminal *Cross-docking*

Seperti yang telah diungkapkan sebelumnya, pada subbab ini akan dibahas mengenai suatu penelitian terdahulu tentang sistem *cross-docking* yang menjadi inspirasi dan dasar dari penelitian kali ini. Penelitian tersebut dibuat oleh Ching-Jung Ting, Wei-Lun Weng, dan Chia-Ho Chen, yang ketiganya berasal dari Departemen Teknik Industri dan Manajemen, Universitas Yuan Ze, Taiwan. Penelitian ini membahas mengenai pengaturan jadwal kendaraan *inbound* dan *outbound* pada suatu terminal *cross-docking*.

Pada penelitian ini, dibahas mengenai tiga strategi penjadwalan kendaraan, yang kemudian dibandingkan dan dicari yang paling optimal dari ketiga strategi tersebut. Ketiga strategi tersebut antara lain strategi tak terkoordinasi (*uncoordinated strategy*) atau strategi awal (*base strategy*), strategi terkoordinasi dengan satu *headway* yang umum (*coordinated with a common headway strategy*), dan strategi terkoordinasi dengan *headway* dari rasio bilangan bulat (*coordinated with integer ratio headways strategy*). *Headway* disini diartikan sebagai waktu interval antara dua truk/kendaraan berangkat baik dari *supplier* maupun dari gudang *cross-docking*.

Parameter perbandingan untuk ketiga strategi diatas adalah total biaya logistik pada sistem *cross-docking* yang terdiri atas biaya *non-transshipment* dan biaya *transshipment*. Biaya *non-transshipment* tersebut terdiri atas biaya operasional kendaraan (*vehicle operating cost*) dan biaya inventori pembawaan produk (*inventory carrying cost*). Sedangkan biaya *transshipment* yang dimaksud disini adalah biaya tunggu perpindahan produk selama berada di gudang. Total biaya pada masing-masing strategi kemudian dibandingkan, dan strategi yang menghasilkan biaya paling minimal merupakan strategi yang paling optimal diantara ketiganya.

Berikut adalah asumsi-asumsi yang digunakan pada penelitian tersebut:

1. *Demand* atau permintaan antara tiap pasang *supplier-retailer* adalah tetap (*fixed*) dan telah diketahui.
2. Saat produk tiba di DC (*distribution center*) atau gudang *cross-docking*, produk tersebut akan segera diurut dan dikonsolidasikan. Bila pengiriman

(*shipments*) tidak terkoordinasi, maka ada kemungkinan timbunan produk (*storage buffer*) meningkat.

3. Waktu operasional internal pada DC adalah *fixed*. Oleh karena itu, biaya yang terkait pada proses internal tidak dipertimbangkan dalam penelitian ini.
4. Kapasitas kendaraan diketahui.
5. Rute antara *supplier-crossdock* dan *crossdock-retailer* adalah *fixed*. Oleh karena itu biaya *in-transit inventory* tidak akan diperhitungkan disini.

Sedangkan untuk perhitungan dari tiap strategi ini sendiri, suatu solusi analitis dapat ditemukan untuk strategi tak terkoordinasi dan strategi terkoordinasi dengan satu *headway* yang umum. Namun untuk strategi dengan *headway* dengan rasio bilangan bulat, diperlukan suatu algoritma heuristik dengan metode *branch and bound* untuk mencari nilai-nilai *headway* yang dapat meminimalkan total biaya pada sistem. Selanjutnya berikut akan dibahas tiap strategi diatas secara lebih rinci.

2.3.1 Strategi Tak-Terkoordinasi (*Uncoordinated Strategy*)

Pada strategi ini, kendaraan baik *inbound* maupun *outbound* bisa masuk dan keluar kapanpun, atau dengan kata lain, tidak ada suatu jadwal khusus dari kedatangan dan keberangkatan mereka. Ini adalah strategi awal (*base strategy*) yang digunakan gudang *cross-docking* pada umumnya.

Disini, waktu pengiriman (*delivery times*), yang merupakan waktu transit dari asal (*origin*) ke tujuan (*destination*) untuk kendaraan *inbound* i dan kendaraan *outbound* j , dilambangkan sebagai t_i^a dan t_j^d , kapasitas kendaraan *inbound* dan *outbound* dinotasikan sebagai S_i^a dan S_j^d , dan *headway* dinotasikan sebagai h_i^a dan h_j^d .

Selanjutnya, model perhitungan biaya operasional kendaraan (*vehicle operating cost*) untuk sistem *cross-docking* yang menerapkan strategi awal ini adalah sebagai berikut:

$$C_B = \sum_{i=1}^n \frac{t_i^a}{h_i^a} B_i^a + \sum_{j=1}^m \frac{t_j^d}{h_j^d} B_j^d = \sum_{i=1}^n \frac{t_i^a}{h_i^a} (2\alpha + \beta S_i^a) + \sum_{j=1}^m \frac{t_j^d}{h_j^d} (2\alpha + \beta S_j^d) \quad (2.1)$$

dimana biaya operasional linear per unit (*linear unit operating cost*) untuk masing-masing rute, yang disimbolkan oleh B_i^a dan B_j^d , sudah meliputi biaya tetap

dari operasional kendaraan (*fixed vehicle operating cost*) yang diberi simbol alfa (α), dan biaya variabel per unit dari operasional kendaraan (*unit variable vehicle operating cost*) yang diberi simbol beta (β), sesuai dengan penelitian dari Jansson (1980).

Selanjutnya, untuk total *demand* dari daerah asal (*origin*) dan tujuan (*destination*) dinotasikan dengan Q_i dan Q_j . Kemudian berikut adalah model perhitungan biaya inventori pada *origin* pengiriman dan pada *destination*:

$$C_I^a = v \sum_{i=1}^n \frac{h_i^a}{2} Q_i, \quad C_I^d = v \sum_{j=1}^m \frac{h_j^d}{2} Q_j \quad (2.2)$$

dimana v adalah biaya inventori bawaan per unit (*unit inventory carrying cost*).

Disini diasumsikan bahwa kendaraan *inbound* bisa tiba di gudang *cross-docking* secara acak (*random*), sehingga waktu tunggu rata-rata bagi produk *inbound* selama pemindahan (*transshipment*) adalah setengah dari *headway* untuk kendaraan *outbound* atau bisa dikatakan $h_j^d/2$. Oleh karena itu, perhitungan untuk total biaya tunggu pada perpindahan produk (*transshipment waiting cost*) pada *crossdock* adalah sebagai berikut:

$$C_w = v \left[\left(\frac{h_1^d}{2} q_{11} + \frac{h_1^d}{2} q_{21} + \dots + \frac{h_1^d}{2} q_{n1} \right) + \left(\frac{h_2^d}{2} q_{12} + \frac{h_2^d}{2} q_{22} + \dots + \frac{h_2^d}{2} q_{n2} \right) + \left(\frac{h_m^d}{2} q_{1m} + \frac{h_m^d}{2} q_{2m} + \dots + \frac{h_m^d}{2} q_{nm} \right) \right] = v \sum_{j=1}^m \frac{h_j^d}{2} Q_j \quad (2.3)$$

dimana q_{ij} adalah *demand* dari *retailer j* untuk *supplier i*.

Dari tiap perhitungan biaya diatas, maka didapat total biaya sistem untuk operasi yang tidak terkoordinasi ini. Total biaya sistem ini berasal dari penjumlahan biaya operasional kendaraan, biaya inventori, dan biaya tunggu perpindahan, yang bisa dijabarkan sebagai berikut:

$$C_T = C_B + C_I + C_w \quad (2.4)$$

$$= \sum_{i=1}^n \frac{t_i^a}{h_i^a} (2\alpha + \beta S_i^a) + v \sum_{i=1}^n \frac{h_i^a}{2} Q_i + \sum_{j=1}^m \frac{t_j^d}{h_j^d} (2\alpha + \beta S_j^d) + v \sum_{j=1}^m \frac{h_j^d}{2} Q_j + v \sum_{j=1}^m$$

Dengan mengambil turunan pertama dari persamaan (2.4), maka bisa diperoleh nilai *headway* h_i^a dan h_j^d yang paling optimal baik untuk rute *inbound* maupun *outbound* melalui persamaan sebagai berikut:

$$h_i^a = \sqrt{\frac{2t_i^a(2\alpha + \beta S_i^a)}{vQ_i}} \quad (2.5)$$

$$h_j^d = \sqrt{\frac{t_j^d(2\alpha + \beta S_j^d)}{vQ_j}} \quad (2.6)$$

Lalu bila dilihat pada persamaan berikut, karena tiap komponen dari turunan kedua adalah positif, maka dapat dikatakan bahwa *headway* dari persamaan (2.5) dan (2.6) sudah optimal.

$$\frac{\partial^2 C_T}{\partial (h_i^a)^2} = 2 \frac{t_i^a(2\alpha + \beta S_i^a)}{(h_i^a)^3} > 0, \quad \frac{\partial^2 C_T}{\partial (h_j^d)^2} = 2 \frac{t_j^d(2\alpha + \beta S_j^d)}{(h_j^d)^3} > 0 \quad (2.7)$$

Yang perlu diperhatikan disini adalah bila *headway* optimal tersebut melebihi *headway* maksimum dari rute tersebut ($h_i^{\max} = S_i^a / Q_i$), maka ia harus digantikan oleh nilai h_i^{\max} untuk menjaga tingkat pelayanan (*level of service*).

2.3.2 Strategi Terkoordinasi dengan Satu *Headway* yang Sama (*Coordinated with a Common Headway Strategy*)

Pada strategi ini, kendaraan *inbound* dan *outbound* akan menggunakan satu *headway* yang sama/umum. Keuntungan dari penerapan strategi ini adalah produk yang masuk dapat langsung dikirim ke kendaraan *outbound* secepatnya melalui proses penanganan yang sesuai (*appropriate handling process*). Oleh karena itu, biaya tunggu perpindahan (*transshipping waiting cost*) dapat dihilangkan. Dengan mensubstitusikan nilai *headway* umum (h) untuk nilai h_i^a dan h_j^d dalam persamaan (2.4), maka total biaya pada sistem *cross-docking* yang menerapkan strategi ini menjadi sebagai berikut:

$$C_T = \sum_{i=1}^n \frac{t_i^a}{h} (2\alpha + \beta S_i^a) + v \sum_{i=1}^n \frac{h}{2} Q_i + \sum_{j=1}^m \frac{t_j^d}{h} (2\alpha + \beta S_j^d) + v \sum_{j=1}^m \frac{h}{2} Q_j \quad (2.8)$$

Dengan mengambil turunan pertama dari persamaan (2.8) untuk mencari nilai h , lalu membuat persamaan tersebut menjadi setara dengan nol, maka akan diperoleh nilai h dengan formula sebagai berikut:

$$h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n t_i^a (2\alpha + \beta S_i^a) + \sum_{j=1}^m t_j^d (2\alpha + \beta S_j^d)}{v \sum_{i=1}^n Q_i}} \quad (2.9)$$

Kemudian, untuk menjamin bahwa nilai *headway* umum yang didapat pada persamaan (2.9) sudah optimal, maka harus didapat turunan kedua yang lebih besar daripada nol. Oleh karena itu, persamaan berikut dibuat untuk membuktikan bahwa nilai *headway* pada persamaan tersebut sudah optimal:

$$\frac{\partial^2 C_T}{\partial h^2} = 2 \frac{\sum_{i=1}^n t_i^a (2\alpha + \beta S_i^a) + \sum_{j=1}^m t_j^d (2\alpha + \beta S_j^d)}{h^3} > 0 \quad (2.10)$$

Selanjutnya, dengan mensubstitusikan persamaan (2.9) ke persamaan (2.8), didapatkanlah model perhitungan total biaya pada sistem *cross-docking* untuk operasi dengan *headway* yang sama, sebagai berikut:

$$C_T = 2 \sqrt{v \left[\sum_{i=1}^n t_i^a (2\alpha + \beta S_i^a) + \sum_{j=1}^m t_j^d (2\alpha + \beta S_j^d) \right] \sum_{i=1}^n Q_i} \quad (2.11)$$

2.3.3 Strategi Terkoordinasi dengan *Headway* dari Rasio Bilangan Bulat (*Coordinated with Integer Ratio Headways Strategy*)

Strategi dengan *headway* yang umum memang dapat mengurangi biaya tunggu perpindahan (*transshipment waiting cost*), tetapi di sisi lain, kenaikan biaya operasional kendaraan (*vehicle operating cost*) dan biaya inventori (*inventory cost*) dapat melebihi pengurangan dari *transshipment waiting cost* tersebut, bila rute dengan *demand* yang sangat berbeda dipaksakan untuk menggunakan *headway* yang sama. Oleh karena itu strategi ketiga ini dibuat sebagai solusi untuk mengatasi permasalahan dimana *demand* pada rute *inbound* dan *outbound*-nya berbeda secara signifikan. Strategi ini nantinya akan diselesaikan dengan algoritma heuristik menggunakan metode *branch and bound*.

Awalnya akan diasumsikan bahwa *transshipment waiting cost* adalah nol, sehingga total biaya pada sistem nantinya hanya meliputi *vehicle operating cost* dan *inventory cost*. Oleh karena itu, berikut adalah persamaan total biayanya:

$$\begin{aligned}
C &= C_B + C_I & (2.12) \\
&= \sum_{i=1}^n \frac{t_i^a}{h_i^a} (2\alpha + \beta S_i^a) + v \sum_{i=1}^n \frac{h_i^a}{2} Q_i + \sum_{j=1}^m \frac{t_j^d}{h_j^d} (2\alpha + \beta S_j^d) + v \sum_{j=1}^m \frac{h_j^d}{2} Q_j
\end{aligned}$$

Selanjutnya, *headway* yang optimal baik dari rute *inbound* maupun *outbound* untuk strategi ini bisa diperoleh dengan menetapkan turunan pertama dari total biaya menjadi nol, dan dari sinilah didapat nilai h_i^a dan h_j^d . Berikut adalah persamaannya:

$$h_i^a = \sqrt{\frac{2t_i^a(2\alpha + \beta S_i^a)}{vQ_i}} \quad (2.13)$$

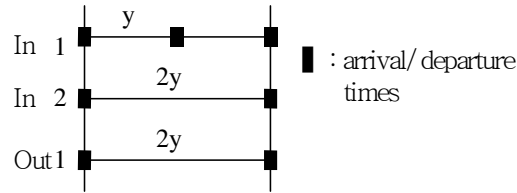
$$h_j^d = \sqrt{\frac{2t_j^d(2\alpha + \beta S_j^d)}{vQ_j}} \quad (2.14)$$

Persamaan berikut menunjukkan bahwa turunan kedua dari total biaya untuk masing-masing h_i^a dan h_j^d adalah lebih besar daripada nol. Oleh karena itu, *headway* optimal yang ada pada persamaan (2.13) dan (2.14) akan meminimalkan total biaya pada sistem secara global.

$$\frac{\partial^2 C}{\partial (h_i^a)^2} = 2 \frac{t_i^a(2\alpha + \beta S_i^a)}{(h_i^a)^3} > 0 \quad \frac{\partial^2 C}{\partial (h_j^d)^2} = 2 \frac{t_j^d(2\alpha + \beta S_j^d)}{(h_j^d)^3} > 0 \quad (2.15)$$

Selanjutnya, untuk mengaplikasikan strategi dengan banyak *integer headway* seperti ini, *headway* dari rute *inbound* i dan rute *outbound* j diekspresikan dengan perkalian yang sesuai (*appropriate multiples*) dari siklus basis (*base cycle*) y : $h_i^a = \gamma_i^a y$ dan $h_j^d = \gamma_j^d y$, dimana γ_i^a dan γ_j^d merupakan bilangan bulat (*integer*) positif. Rata-rata waktu tunggu perpindahan (*transshipment waiting time*) antara dua rute tersebut nantinya akan ditetapkan berdasarkan *headway* dari kedua rute tersebut.

Lalu, ditetapkanlah $g_{ij} = \text{GCD}(\gamma_i^a, \gamma_j^d)$, dimana "GCD" adalah kepanjangan dari *Greatest Common Divisor* atau Faktor Persekutuan Terbesar (FPB), dari kedua *integer* yang berada dalam tanda kurung tersebut. Dengan pengubahan ini, maka kendaraan baik di rute *inbound* dan *outbound* dapat bertemu sekali tiap $\gamma_i^a * \gamma_j^d * y / g_{ij}$ per satuan waktu. Sebagai contohnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.3 Jadwal Pertemuan dari Kendaraan *Inbound* dan *Outbound* untuk Strategi dengan *Integer Ratio Headway*

(Sumber: Ting C.J, Weng W.L, & Chen C.H, (2004). Coordinate Inbound and Outbound Schedules at a Cross-Docking Terminal. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, vol. 20, no. 6, 641)

Pada gambar diatas, kendaraan pada rute *inbound* 1 dengan *headway* y akan bertemu dengan kendaraan pada rute *outbound* 1 dengan *headway* $2y$ setiap $2y$ jam. Rata-rata waktu tunggu untuk perpindahan (*average transshipment waiting time*) dari rute *inbound* 1 adalah $(1*0+1*y)/2 = y/2$ jam. Adapun kendaraan pada rute *inbound* 2 dengan *headway* $2y$ akan bertemu dengan kendaraan pada rute *outbound* 1 dengan *headway* $2y$ setiap $2y$ jam. Oleh karena itu, waktu tunggu perpindahan untuk rute *inbound* 2 adalah nol. Sedangkan total biaya untuk menunggu perpindahan (*transshipment waiting cost*) dari kendaraan *inbound* i ke kendaraan *outbound* j ketika keduanya bertemu setiap $\gamma_i^d * \gamma_j^d * y / g_{ij}$ satuan waktu, dapat dihitung dengan formula sebagai berikut:

$$W = [\gamma_j^d - (1 * g_{ij})]y + [\gamma_j^d - (2 * g_{ij})]y + \dots + [\gamma_j^d - (\frac{\gamma_j^d}{g_{ij}} * g_{ij})]y \quad (2.16)$$

$$= \frac{\gamma_j^d y}{2} (\frac{\gamma_j^d}{g_{ij}} - 1)$$

Kemudian rata-rata dari *transshipment waiting cost* dari kendaraan *inbound* i ke kendaraan *outbound* j adalah sebagai berikut:

$$w_{ij} = \frac{W}{\frac{\gamma_j^d}{g_{ij}}} = \frac{\frac{\gamma_j^d y}{2} (\frac{\gamma_j^d}{g_{ij}} - 1)}{\frac{\gamma_j^d}{g_{ij}}} = \frac{y}{2} (\gamma_j^d - g_{ij}) = \frac{1}{2} (h_j^d - g_{ij} y) \quad (2.17)$$

Selanjutnya, total *transshipment waiting cost* pada *crossdock* dapat dihitung sebagai berikut:

$$C_w = v \sum_{i=1}^j \sum_{j=1}^m w_{ij} q_{ij} = \frac{1}{2} v \sum_{i=1}^j \sum_{j=1}^m (h_j^d - g_{ij} y) q_{ij} \quad (2.18)$$

Kemudian, ditetapkan h_{min} sebagai *headway* minimal dari seluruh rute *inbound* dan *outbound*. Selanjutnya, dicarilah nilai *base cycle* yang tidak lebih besar dari *headway* minimal tersebut, dengan formula sebagai berikut:

$$y = \left\lfloor \frac{h_{min}}{\Delta} \right\rfloor * \Delta \quad (2.19)$$

dimana $\lfloor x \rfloor$ adalah *integer* (bilangan bulat) terbesar yang kurang atau sama dengan x , dan Δ adalah pencarian inkremental (*searching increment*).

Selanjutnya, penggunaan dari algoritma heuristik, yang akan lebih rinci dijelaskan pada subbab berikutnya, akan dimulai dengan menentukan nilai *headway* yang optimal secara independen pada masing-masing rute, lalu memberikan peringkat pada rute-rute tersebut berdasarkan *headway* optimal mereka, dan mengelompokkannya ke dalam kelompok-kelompok awal (*initial clusters*) yang memiliki nilai *headway* “terdekat” dengan perkalian bilangan bulat (*integer multiples*) dari *base cycle* y . “Terdekat” disini maksudnya lebih mengarah ke rata-rata geometris (*geometric mean*) daripada rata-rata aritmetis (*arithmetic mean*).

Oleh karena itu, bila y adalah *base cycle* dan n adalah bilangan bulat positif berapapun, suatu *headway* optimal independen h_i^a pada mulanya akan dikelompokkan dengan rute-rute yang *headway*-nya ditetapkan menjadi ny bila h_i^a/y berada diantara $\sqrt{n \times (n-1)}$ dan $\sqrt{n \times (n+1)}$. Berdasarkan *base cycle* tersebut maka batasan dari tiap kelompok *headway* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} 0 < h_i^a &\leq \sqrt{1} * 2y & h_i^a &= y \\ \sqrt{1} * 2y < h_i^a &\leq \sqrt{2} * 3y & h_i^a &= 2y \\ \sqrt{2} * 3y < h_i^a &\leq \sqrt{3} * 4y & h_i^a &= 3y \\ & & & \vdots \\ \sqrt{(n-1) * n} y < h_i^a &\leq \sqrt{n * (n+1)} y & h_i^a &= ny \end{aligned} \quad (2.20)$$

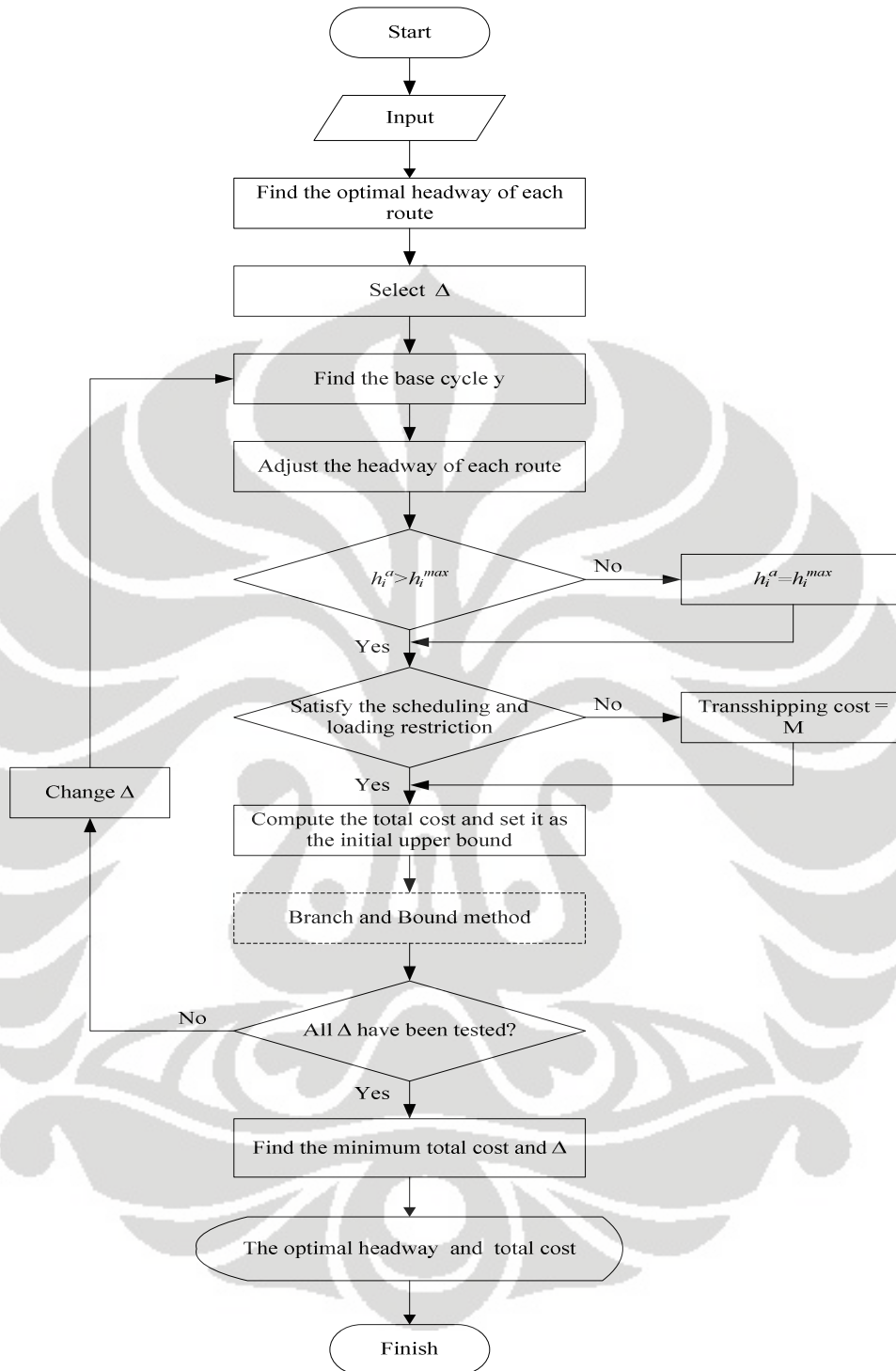
2.3.3.1 Algoritma Heuristik dengan Metode *Branch-and-Bound*

Untuk strategi dengan rasio bilangan bulat ini, sulit untuk mendapatkan solusi dalam bentuk terdekat pada *headway*. Oleh karena itu, suatu algoritma

heuristik, seperti yang terdapat dalam Gambar 2.4, digunakan untuk mendapatkan nilai *headway*. Prosedur pencarian iterasi untuk nilai yang paling optimal dari *cycle* dan *headway* untuk operasi menggunakan strategi rasio bilangan bulat ini dapat dijabarkan secara rinci sebagai berikut:

- Langkah 1 – Mengoptimalkan *headway* untuk kendaraan *inbound* dan *outbound* secara independen menggunakan persamaan (2.13) dan (2.14).
- Langkah 2 – Memilih Δ dan memilih suatu *base cycle* y menggunakan persamaan (2.19) berdasarkan *headway* minimal h_{min} yang ditemukan pada langkah 1.
- Langkah 3 – Menentukan batasan antar *cluster* dengan *headway* menggunakan persamaan (2.20) dan mengelompokkan rute-rute tersebut. Nilai ini akan menjadi level 0 dari fase *branch-and-bound*.
- Langkah 4 – Bila ada nilai *headway* yang lebih besar daripada *headway* maksimal yang ada pada rute, maka nilai tersebut harus diganti dengan nilai *headway* maksimal.
- Langkah 5 – Bila berat dari pengiriman yang sudah dikonsolidasi (*consolidated shipment*) lebih besar dari kapasitas kendaraan *outbound*, maka biaya *transshipment* akan disetarakan dengan angka besar M .
- Langkah 6 – Hitung total biaya pada sistem dan tetapkan biaya tersebut menjadi *upper bound* untuk fase *branch-and-bound*.
- Langkah 7 – Mengaplikasikan metode *branch-and-bound*, yang nanti akan dijelaskan lebih lanjut, untuk mencari total biaya sistem yang paling kecil untuk nilai y tersebut.
- Langkah 8 – Menyesuaikan (menaikkan) nilai Δ dan mengulangi langkah 2-7 hingga tidak ada perbaikan signifikan lagi yang dapat diperoleh.

Sebagai kesimpulan untuk langkah 8, hasil yang didapat sudah termasuk *base cycle* yang optimal dan *headway* yang optimal untuk tiap rute sebagai suatu perkalian bilangan bulat dari *cycle* tersebut.

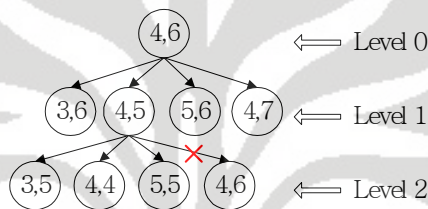


Gambar 2.4 Algoritma Heuristik untuk Strategi dengan Rasio Integer

(Sumber: Ting C.J, Weng W.L, & Chen C.H, (2004). Coordinate Inbound and Outbound Schedules at a Cross-Docking Terminal. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, vol. 20, no. 6, 644)

Metode *branch-and-bound* sendiri awalnya diajukan oleh Land dan Doig (1960) untuk memecahkan permasalahan *mixed integer programming*. Sedangkan untuk penelitian ini, pendekatan *branch-and-bound* digunakan untuk mencari kombinasi *headway* yang memungkinkan, dan rinciannya adalah sebagai berikut:

1. Pra-pemrosesan (*preprocessing*) – Menggunakan kelompok *headway* yang ditemukan pada persamaan (2.20), dicarilah titik awalnya (*base point*). Sebagai contohnya disini adalah (4, 6) pada level 0 seperti yang tampak pada Gambar 2.5 berikut:



Gambar 2.5 Contoh untuk *Branch-and-Bound* dimana $y=1$

(Sumber: Ting C.J, Weng W.L, & Chen C.H, (2004). Coordinate Inbound and Outbound Schedules at a Cross-Docking Terminal. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, vol. 20, no. 6, 645)

2. Pemilihan nodus (*node selection*) – Suatu *lower bound* dan suatu *upper bound* berhubungan dengan tiap nodus/subdivisi. Karena *base points* “tumbuh” dengan generasi yang lebih muda, maka suatu *lower bound* dari nodus anak (*child node*) akan lebih besar daripada orangtuanya. Oleh karena itu, proses konstruksi pohon ke level selanjutnya berjalan dengan memperbaiki seluruh *headway* kecuali satu rute *headway* yang menambah atau mengurangi *base cycle*. Sebagai contohnya, kita mencabangi (4, 6) menjadi (3, 6), (4, 5), (5, 6) dan (4, 7) pada level 1 seperti yang ada pada Gambar 2.5 diatas.
3. Pemangkasan (*pruning*) – Selanjutnya, suatu titik batasan (*boundary point*) yang berada pada suatu subdivisi dari sebuah nodus harus diidentifikasi, atau dengan kata lain, diperlukan suatu pemangkasan (*pruning*) disini. Ada 3 alasan untuk melakukan *pruning*, yaitu: 1) nodus tersebut telah dikunjungi atau pernah ada sebelumnya, sebagai contohnya (4, 6) pada level 2 dalam Gambar 2.5 sudah pernah ada sebelumnya, maka ia perlu dipangkas; 2) nodus

tersebut adalah suatu solusi yang tidak layak (*infeasible solution*); dan 3) total biaya sudah lebih besar daripada *upper bound* globalnya.

4. Terminasi (*termination*) – Proses *branch-and-bound* diterminasi atau selesai saat *upper* dan *lower bound* globalnya berbeda kurang dari toleransi yang diinginkan.

2.3.4 Contoh Kasus

Pada subbab ini, kinerja dari algoritma diatas akan dievaluasi melalui suatu contoh numeris atau contoh kasus. Pada kasus ini, diketahui ada 10 rute *inbound* dan 2 rute *outbound* pada gudang *cross-docking*. *Delivery times* dan kapasitas kendaraan untuk seluruh rute *inbound* adalah 7 jam dan 7000 pon, sedangkan untuk rute *outbound* adalah 8 jam dan 22000 pon. Biaya tetap dan variabel untuk operasional kendaraan adalah \$10/jam (α) dan \$0.03/pon-jam (β). Kedua nilai ini mengacu pada penelitian Coyle et al. (1994). Lalu, untuk menyederhanakan perhitungan, biaya inventori bawaan per unit (*unit inventory carrying cost*) untuk tiap produk adalah \$0.2/pon-jam. Nilai ini didapat berdasarkan rata-rata biaya dari keseluruhan produk sebagaimana tertuang dalam penelitian Hall (1987). Selanjutnya, pada Tabel 2.1 ditunjukkan bagaimana permintaan (*demand*) antara tiap pasang rute *inbound* dan *outbound*.

Sedangkan nilai *headway* dan total biaya yang didapat dari masing-masing strategi dapat dilihat pada Tabel 2.2. Pada tabel tersebut tampak bahwa strategi dengan *headway* yang umum dan strategi dengan rasio bilangan bulat dapat mengurangi total biaya pada sistem sebesar \$2927.64/jam (14.99%) dan \$2953.74/jam (15.12%). Diantara ketiga strategi tersebut tampak bahwa strategi dengan rasio bilangan bulat menghasilkan total biaya yang paling rendah.

Tabel 2.1 Permintaan (*Demand*) dari Produk (dalam satuan pon/jam)

Inbound	outbound		Total
	1	2	
1	750	625	1375
2	875	750	1625
3	375	375	750
4	750	750	1500
5	375	400	775
6	750	500	1250
7	500	625	1125
8	625	500	1125
9	875	625	1500
10	875	875	1750
Total	6750	6025	12775

(Sumber: Ting C.J, Weng W.L, & Chen C.H, (2004). Coordinate Inbound and Outbound Schedules at a Cross-Docking Terminal. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, vol. 20, no. 6, 645)

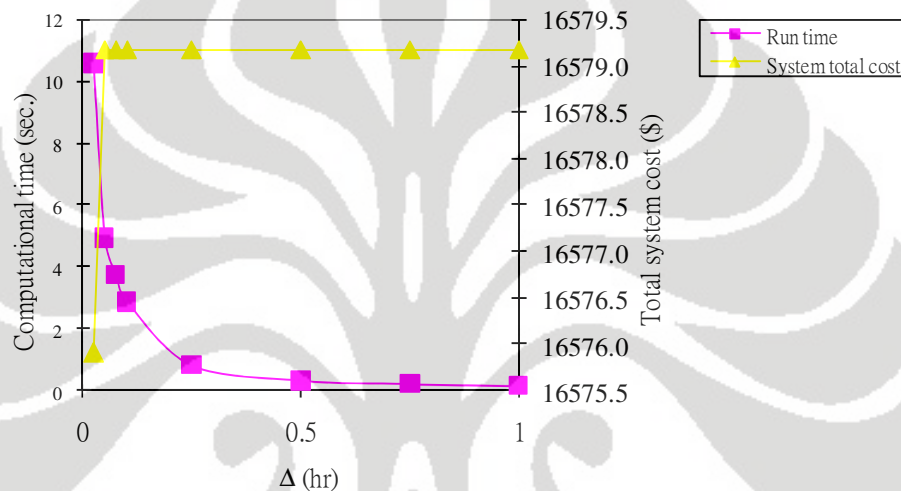
Tampak pula pada Tabel 2.2 bahwa biaya inventori untuk kedua strategi yang terkoordinasi lebih besar daripada strategi tak terkoordinasi. Namun, biaya *transshipment* yang dikurangi sudah melampaui pertambahan biaya inventori.

Tabel 2.2 Hasil Pengolahan dari Tiap Strategi

Routes	Uncoordinated	Common headway	Integer ratio	Unit
Inbound 1 (h_1)	3.42	3.24	3	
Inbound 2 (h_2)	3.14	3.24	3	
Inbound 3 (h_3)	4.63	3.24	6	
Inbound 4 (h_4)	3.27	3.24	3	
Inbound 5 (h_5)	4.55	3.24	6	
Inbound 6 (h_6)	3.58	3.24	3	hour / vehicle
Inbound 7 (h_7)	3.78	3.24	3	
Inbound 8 (h_8)	3.78	3.24	3	
Inbound 9 (h_9)	3.27	3.24	3	
Inbound 10 (h_{10})	3.03	3.24	3	
Outbound 1 (H_1)	2	3.24	3	
Outbound 2 (H_2)	2.12	3.24	3	
Operating cost	9766.46	8302.64	8456.67	
Inventory cost	7131.31	8302.64	8122.5	
Non-transshipment cost	16897.77	16605.28	16579.17	\$ / hour
Transshipment waiting cost	2635.15	0	0	
Total system costs	19532.92	16605.28	16579.17	

(Sumber: Ting C.J, Weng W.L, & Chen C.H, (2004). Coordinate Inbound and Outbound Schedules at a Cross-Docking Terminal. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, vol. 20, no. 6, 646)

Sedangkan Gambar 2.6 menunjukkan hasil perhitungan dari nilai inkremental (*increment values*) yang berbeda (Δ). Waktu perhitungan akan sangat singkat bila inkrementalnya besar karena jarak pencarian (*searching space*) untuk solusi yang layak menjadi semakin kecil. Bagaimanapun juga, semakin kecil pencarian inkremental (*search increment*) tersebut, maka semakin rendah pula total biaya pada sistem yang dapat ditemukan.



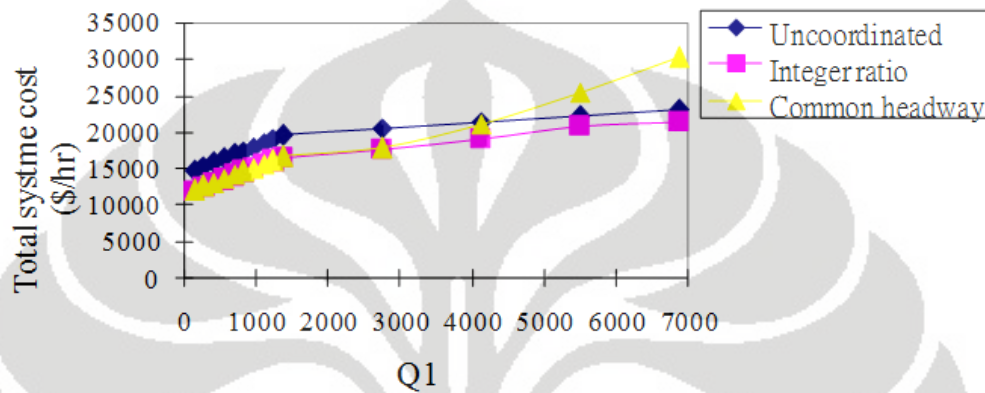
Gambar 2.6 Efek dari Δ pada *Run Time* dan Total Biaya pada Sistem

(Sumber: Ting C.J, Weng W.L, & Chen C.H, (2004). Coordinate Inbound and Outbound Schedules at a Cross-Docking Terminal. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, vol. 20, no. 6, 647)

Nilai *headway* untuk tiap rute adalah kebalikan proporsional dari *demand* pada rute. Untuk menunjukkan efek dari *demand* pada rute dalam operasi sistem *cross-docking*, *demand* dari suatu produk (Q_i) dimasukkan dengan beberapa nilai. Total biaya pada sistem yang dibandingkan dengan beberapa variasi nilai *demand* tampak pada Gambar 2.7. Secara keseluruhan tampak bahwa diantara ketiga strategi yang ada, strategi dengan pembulatan rasio bilangan bulat adalah yang menyediakan total biaya sistem terendah pada seluruh tingkatan *demand*.

Pada Gambar 2.7 ini juga tampak bahwa pada tingkatan *demand* yang lebih rendah, kedua strategi dengan *headway* yang umum dan strategi dengan rasio bilangan bulat, memberikan hasil yang mirip atau dekat. Bagaimanapun juga,

strategi dengan headway yang umum menjadi pilihan yang buruk bila *demand* meningkat melebihi dua kali dari *demand* awal. Hal ini dikarenakan strategi dengan headway yang sama ini memaksakan semua rute untuk menggunakan *headway* maksimal dari rute yang ada, dan akhirnya berimbas pada naiknya biaya operasional kendaraan.



Gambar 2.7 Total Biaya pada Sistem vs. Tingkatan *Demand* yang Berbeda pada Rute 1

(Sumber: Ting C.J, Weng W.L, & Chen C.H, (2004). Coordinate Inbound and Outbound Schedules at a Cross-Docking Terminal. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, vol. 20, no. 6, 648)

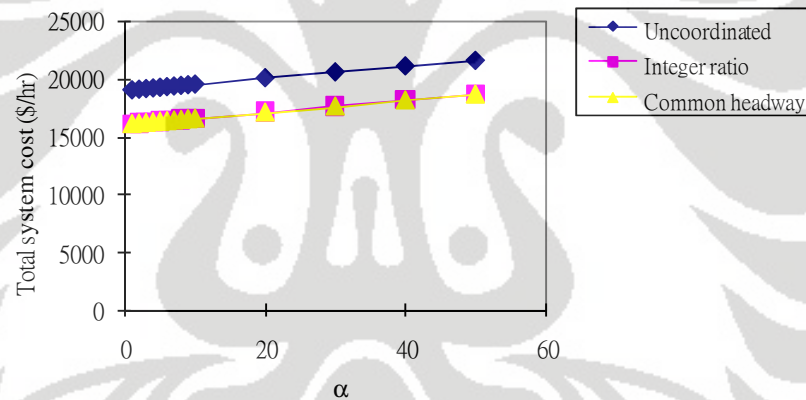
Tabel 2.3 Nilai *Headway* yang Optimal untuk tiap Rute pada Strategi Rasio Bilangan Bulat

Q_1	h_1	h_2, h_4, h_9, h_{10}	h_3	h_5	h_6	h_7, h_8	H_1	H_2
137.5	12	3	6	6	3	3	3	3
275	9	3	6	6	3	3	3	3
412.5	6	3	6	6	3	3	3	3
550	6	3	6	6	3	3	3	3
687.5	6	3	6	6	3	3	3	3
825	6	3	6	6	3	3	3	3
962.5	3	3	6	6	3	3	3	3
1100	3	3	6	6	3	3	3	3
1237.5	3	3	6	6	3	3	3	3
1375*	3	3	6	6	3	3	3	3
2750	2.25	2.25	4.5	4.5	4.5	4.5	2.25	2.25
4125	1.5	3	6	4.5	3	3	1.5	3
5500	0.75	3	4.5	4.5	3	4.5	1.5	1.5

(Sumber: Ting C.J, Weng W.L, & Chen C.H, (2004). Coordinate Inbound and Outbound Schedules at a Cross-Docking Terminal. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, vol. 20, no. 6, 648)

Hasil *headway* yang didapat dari 10 rute *inbound* dan 2 rute *outbound* menggunakan strategi dengan rasio bilangan bulat tampak pada Tabel 2.3. Nilai *headway* antara tiap pasang rute *inbound* dan *outbound* terbukti tetap menjaga rasio bilangan bulat dalam level-level yang berbeda. Hal ini sesuai dengan penelitian serupa yang dilakukan oleh Daganzo (1990).

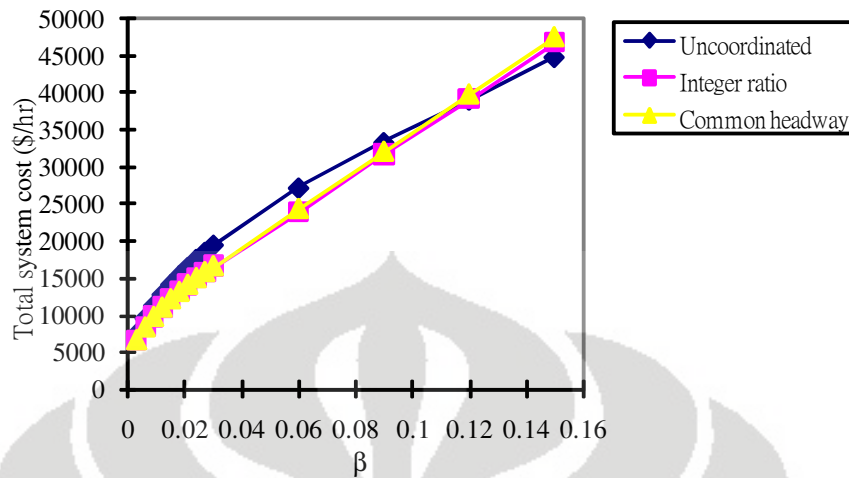
Gambar 2.8 dan 2.9 menunjukkan total biaya pada sistem untuk biaya tetap operasional kendaraan (α) yang berbeda-beda dan total biaya pada sistem untuk biaya variabel operasional kendaraan (β) yang berbeda pula. Nilai *headway* disini proporsional dengan kedua biaya tetap dan variabel dari operasional kendaraan seperti ditunjukkan pada kedua gambar tersebut. Tampak bahwa strategi terbaik untuk biaya tetap operasional kendaraan yang berbeda adalah strategi dengan rasio bilangan bulat.



Gambar 2.8 Total Biaya pada Sistem vs. Biaya Tetap Operasional Kendaraan yang Berbeda

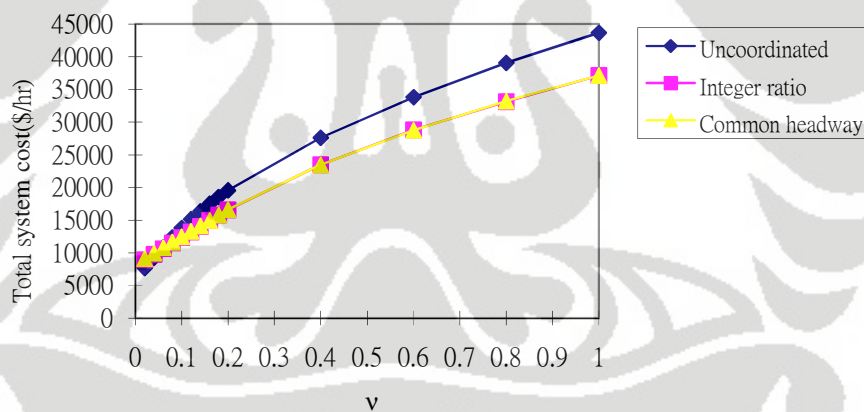
(Sumber: Ting C.J, Weng W.L, & Chen C.H, (2004). Coordinate Inbound and Outbound Schedules at a Cross-Docking Terminal. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, vol. 20, no. 6, 649)

Bahkan tampak pada Gambar 2.9, strategi ketiga ini adalah yang terbaik secara umum diantara yang lainnya pada biaya variabel operasional kendaraan yang rendah. Namun, saat biaya variabel dari operasional kendaraan meningkat (>\$0.12/lb-hr), maka strategi tak terkoordinasi menjadi pilihan yang lebih baik.



Gambar 2.9 Total Biaya pada Sistem vs. Biaya Variabel per Unit Operasional Kendaraan yang Berbeda

(Sumber: Ting C.J, Weng W.L, & Chen C.H, (2004). Coordinate Inbound and Outbound Schedules at a Cross-Docking Terminal. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, vol. 20, no. 6, 649)



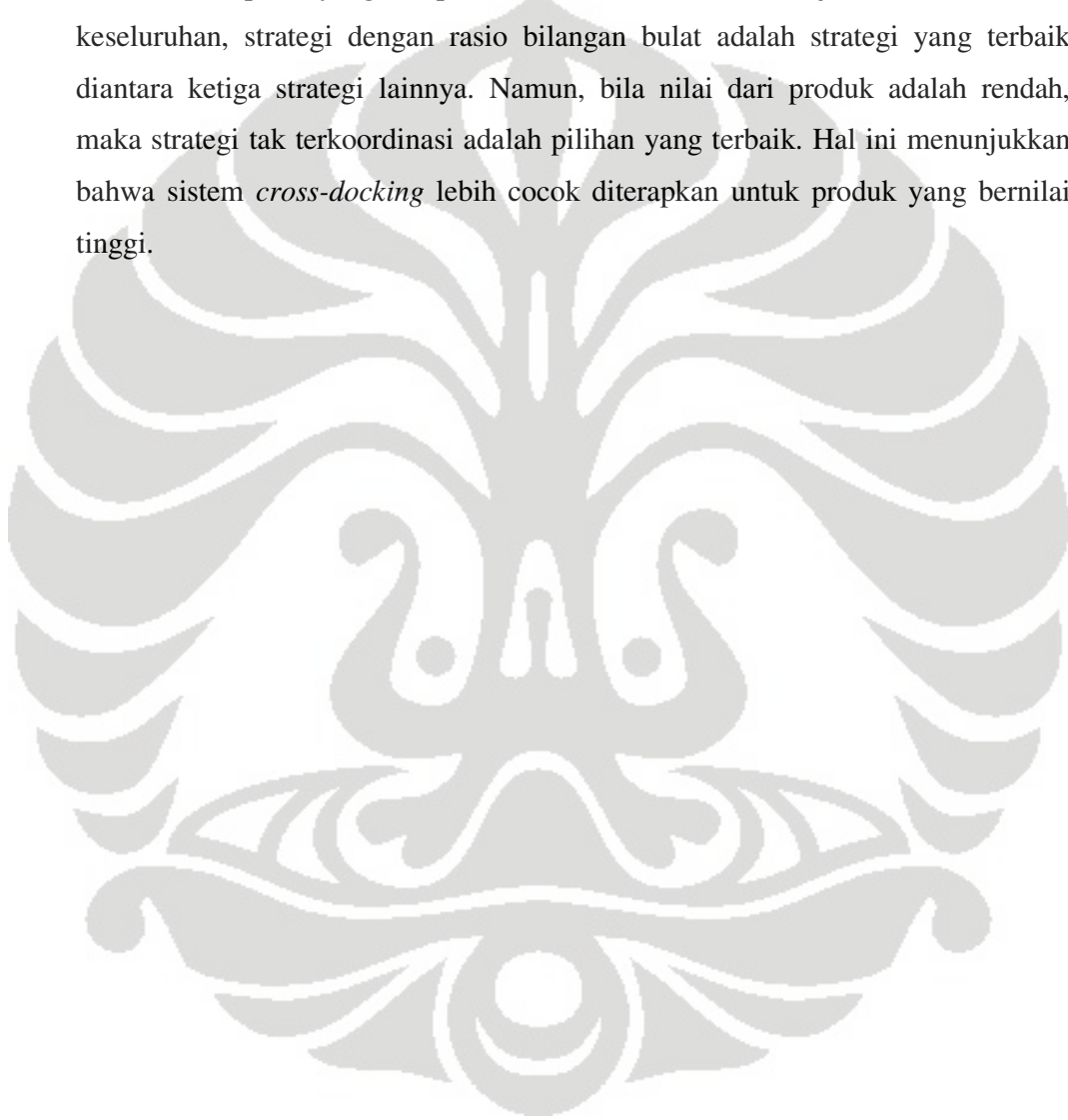
Gambar 2.10 Total Biaya pada Sistem vs. *Unit Inventory Carrying Cost* yang Berbeda

(Sumber: Ting C.J, Weng W.L, & Chen C.H, (2004). Coordinate Inbound and Outbound Schedules at a Cross-Docking Terminal. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, vol. 20, no. 6, 650)

Gambar 2.10 menyajikan total biaya pada sistem untuk biaya inventori bawaan produk (*product inventory carrying cost*) yang berbeda. Pada tingkat *inventory carrying cost* yang rendah, strategi dengan operasi tak terkoordinasi

menghasilkan total biaya pada sistem yang paling rendah diantara strategi-strategi lainnya. Namun, total biaya pada sistem yang paling minimal didapat dari strategi dengan rasio bilangan bulat sejalan dengan naiknya *inventory carrying cost*. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem *cross-docking* akan lebih cocok untuk *perished products* yang bernilai tinggi untuk mengurangi waktu atau lama transportasi.

Kesimpulan yang didapat dari contoh kasus ini menunjukkan bahwa secara keseluruhan, strategi dengan rasio bilangan bulat adalah strategi yang terbaik diantara ketiga strategi lainnya. Namun, bila nilai dari produk adalah rendah, maka strategi tak terkoordinasi adalah pilihan yang terbaik. Hal ini menunjukkan bahwa sistem *cross-docking* lebih cocok diterapkan untuk produk yang bernilai tinggi.

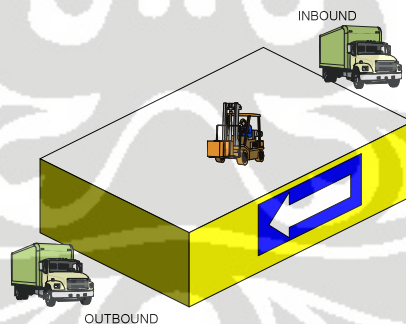


BAB 3 PENGUMPULAN DATA

Bab ini membahas tentang data yang didapat selama penelitian ini berlangsung, diantaranya adalah data mengenai rute *inbound* dan *outbound*, *shipping quantity*, *delivery times*, dan seterusnya. Namun sebelum itu, berikut akan dijelaskan mengenai bagaimana definisi *cross-docking* menurut perusahaan 3PL, dan bagaimana *Standard Operating Procedure* yang terjadi pada gudang *cross-docking* DHL Exel Supply Chain untuk Makro.

3.1 *Cross-docking Overview* pada DHL Exel Supply Chain

Definisi *cross-docking* menurut DHL Exel Supply Chain adalah suatu proses dimana produk-produk yang diterima dalam suatu fasilitas, biasanya digabungkan dengan produk lain yang akan pergi ke *destination* yang sama, lalu dikirim secepatnya, tanpa melalui proses *storage* yang lama. Manfaat yang didapat dari sistem *cross-docking* adalah tidak ada *storage* dan tidak ada *delay*. Selain itu, sistem ini juga dapat mempertegas aktivitas pertukaran informasi dan pergerakan produk.



Gambar 3.1 Aliran Sederhana pada Gudang *Cross-Docking*

(Sumber: Kusnadi, Iman (2006). *Cross-docking Management Principles. DHL Exel Supply Chain for Makro Cross-docking Project*)

Ada empat fase yang harus dilalui bila DHL Exel Supply Chain (DESC) ingin menerapkan atau mengaplikasikan suatu sistem *cross-docking*, yaitu:

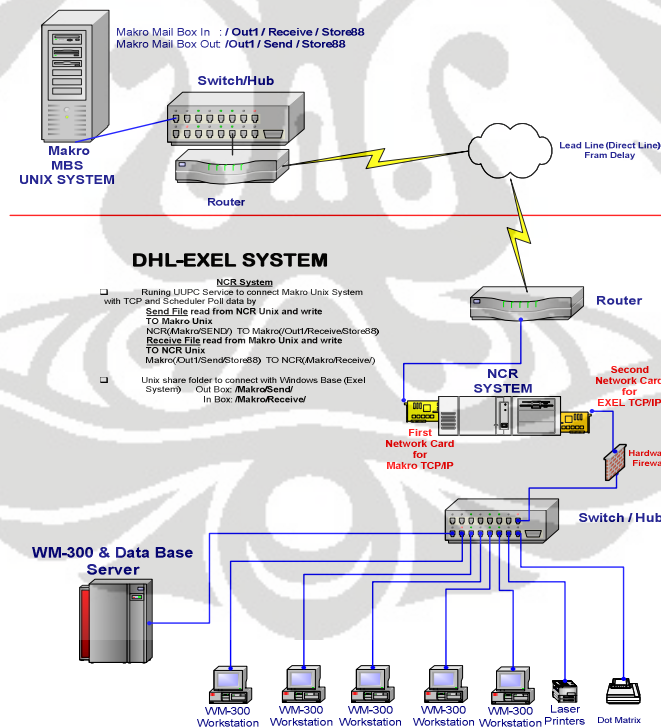
- Fase I – Pemeriksaan (*assessment*) dan negosiasi

- Mengidentifikasi kandidat produk dan kandidat *supplier* yang akan masuk ke dalam sistem *cross-docking*.
- Mengidentifikasi kelemahan dan kekuatan pada sistem yang ada sekarang baik dari segi operasi, fasilitas & peralatan, teknologi informasi, pelanggan, dan transportasi.
- Mengembangkan suatu rekomendasi awal untuk mengeliminasi kelemahan dan membangun kekuatan.
- Mengkomunikasikan rekomendasi tersebut dengan *supplier* dan menegosiasikan panduan awal *cross-docking*.
- Menentukan layak atau tidaknya sistem *cross-docking* tersebut untuk diteruskan ke fase berikutnya.
- Fase II – Perencanaan dan perancangan
 - Menciptakan rancangan sistem *cross-docking*.
 - Melakukan analisa ekonomis untuk alternatif-alternatif yang ada.
 - Memilih sistem virtual *cross-docking* yang paling layak (dalam hal ini, DESC menggunakan bantuan *Warehouse Management System (WMS)* dari Manhattan Associate).
- Fase III – Justifikasi ekonomis (*economic justification*)
 - Menciptakan model biaya pada sistem secara keseluruhan dan menentukan *Return on Investment (ROI)*.
 - Menciptakan model biaya produk dan menentukan profitabilitas produk.
 - Menentukan perkiraan biaya (*projected cost*) dan *saving level of sharing* untuk semua pihak yang terlibat pada rantai suplai.
- Fase IV – Implementasi
 - Mengembangkan suatu rencana implementasi yang komprehensif.
 - Mengimplementasikan sebuah *pilot program*.
 - Mengimplementasikan sistem *cross-docking* secara keseluruhan.
 - Mengembangkan *Standard Operating Procedure (SOP)* dan *Key Performance Indicator (KPI)* untuk memonitor dan meng-*improve* program yang sedang berjalan.

3.1.1 Prinsip Operasi *Cross-docking* DHL Exel Supply Chain

Ada beberapa peralatan (*tools*) dan pengukuran (*measurements*) yang digunakan oleh DHL Exel Supply Chain (DESC) pada sistem operasi *cross-docking* mereka. *Tools* yang digunakan antara lain *Warehouse Management System* (WMS) dari Manhattan Associate dan *Standard Operating Procedure* (SOP). Sedangkan untuk *measurement*, DESC menggunakan *Key Performance Indicator (KPI) achievement* dan *Balance Scorecard*. Pada WMS tersebut, DESC memiliki fitur-fitur untuk memonitor seluruh operasi yang berjalan pada *cross-docking* mulai dari proses pemesanan, hingga proses pengiriman, dan terulangnya proses-proses tersebut.

Untuk *software* pada WMS ini sendiri, DESC menggunakan WMS dari Manhattan Associate Ver2004RI (WM300) yang berjalan diatas *SQL server*. Pada salah satu *cross-docking* DHL yang dibuat untuk Makro, *software* ini terintegrasi dengan *server* Makro yang menggunakan sistem NCR.



Gambar 3.2 *Warehouse Management System* pada Gudang *Cross-Docking* DHL Exel Supply Chain untuk Makro

(Sumber: *Cross-docking Management Principles* – DHL Exel Supply Chain)

Disini DESC mengadopsi metodologi dari proses bisnis (*business process*) WMS, yang diantaranya adalah efisiensi dan produktivitas. DESC mengategorikan *business process* mereka ke dalam enam fase yang berbeda yaitu:

1. Pemrosesan pesanan (*order processing*)
2. Penerimaan (*receiving*)
3. *Put away*
4. *Picking*
5. Penghitungan siklus (*cycle count*)
6. Pengiriman (*dispatching*)

Seluruh fase pada *business process* WMS adalah sebuah kesatuan yang tidak dapat dipisahkan, dan akan dijelaskan secara rinci pada sub-bab selanjutnya.

3.1.2 Business Process WMS Cross-docking DHL Exel Supply Chain

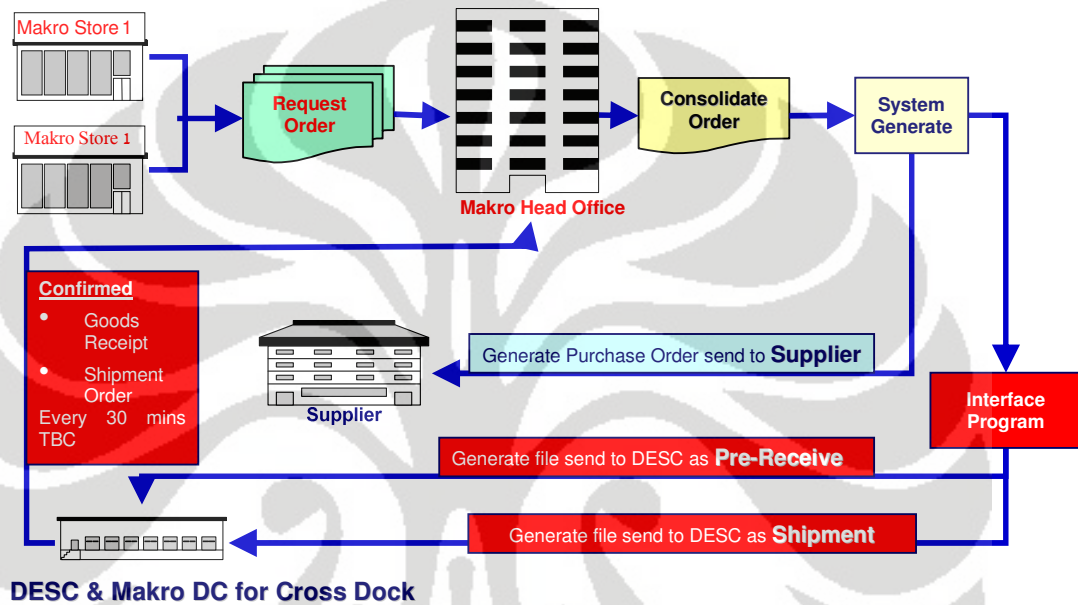
Seperti yang telah dibahas sebelumnya, ada enam fase *business process* yang dilakukan oleh WMS dari DHL Exel Supply Chain. Berikut adalah urutan aktivitas dari tiap *business process* yang terjadi pada gudang *cross-docking* DHL Exel Supply Chain untuk Makro:

3.1.2.1 Pemrosesan Pesanan (*Order Processing*)

Pada *business process* ini, terjadi urutan aktivitas seperti yang digambarkan dalam Gambar 3.3 dengan rincian sebagai berikut:

- Seluruh pesanan pengiriman (*shipment order*) akan dikonsolidasikan di Kantor Pusat Makro (*Makro Head Office*).
- Kemudian *distribution center* (DC) akan merekam detail dari *interface file transmissions* pada *Daily Interface Register*, untuk menjamin bahwa semua rekaman diterima dengan tepat dan pada waktu yang tepat juga.
- Seluruh *purchase order (PO) files* akan dicocokkan untuk memproduksi *blind count sheets (BCS)* yang berisi *detailing record, supplier, stock keeping unit (SKU)*, beserta seluruh deskripsinya, namun belum ada keterangan kuantitas.

- BCS akan menunjukkan indikasi bila tanggal kadaluarsa harus dicek, dan juga jumlah hari minimal *shelf life* yang masih dapat diterima.
- Selanjutnya, hanya PO yang valid yang akan diunduh (*download*) ke WMS. Sehingga DC nantinya hanya dapat menerima pengiriman atau *delivery* dari suatu *supplier* bila ada PO yang valid pada WMS.



Gambar 3.3 Aliran *Order Processing* pada Gudang *Cross-Docking* DHL Exel Supply Chain untuk Makro

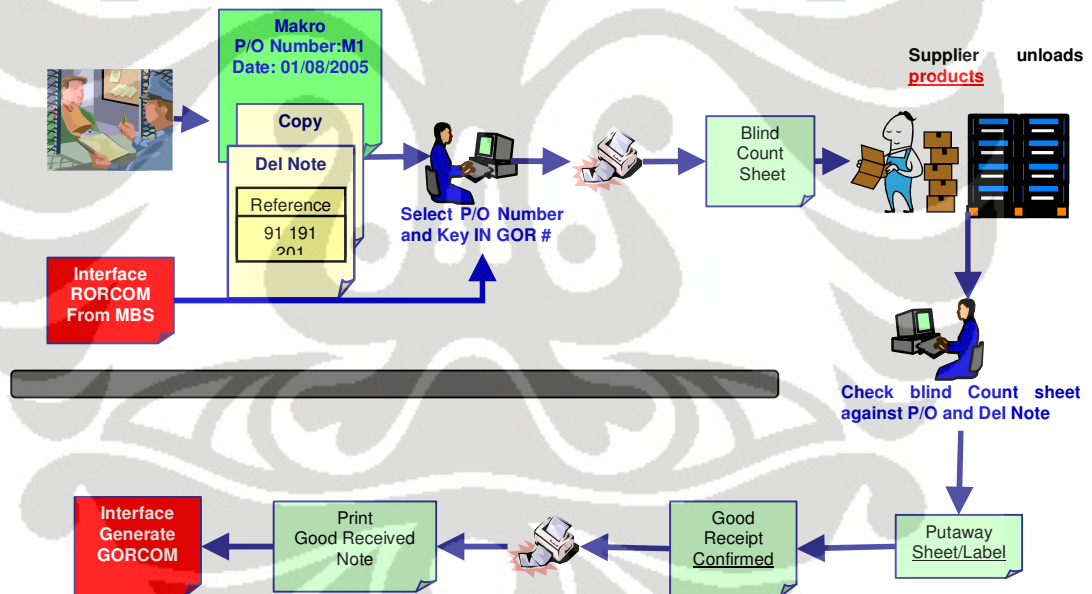
(Sumber: *Cross-docking Management Principles* – DHL Exel Supply Chain)

3.1.2.2 Penerimaan (*Receiving*)

Pada *business process* ini, terjadi urutan aktivitas seperti yang digambarkan dalam Gambar 3.4 dengan rincian sebagai berikut:

- *Checker* menerima *blind count sheet* (BCS) dari *data clerk* yang menjelaskan *article number*, *barcode*, deskripsi dari tiap produk, dan *order quantity* (MU).
- *Checker* menghitung seluruh *cases* pada tiap *pallet*, lalu mengecek *article number*, *barcode*, dan meyakinkan bahwa barang yang diterima tidak dalam kondisi rusak dan tidak kadaluarsa.

- Bila tanggal kadaluarsa terindikasi dalam *blind count sheet*, maka jumlah hari *shelf life* akan dicocokkan dengan jumlah hari minimal yang dapat ditoleransi, dan direkam pada *blind count sheet*.
- *Data clerk keys* menerima laporan berisi kuantitas pada sistem dan membandingkannya dengan detail yang tertera pada *blind count sheet*. Bila ada ketidakcocokan, maka hasilnya akan keluar pada *good received note* dan catatan itu dicetak dari sistem.
- *Data clerk* mengkonfirmasi penerimaan (*receiving*) ke dalam WMS.
- Setelah proses *receiving* selesai, maka *data clerk* akan *stamp* tanggal penerimaan dengan tanda tangan (*signature*) pada seluruh dokumen, dan mengirimnya balik ke *supplier*.
- *Data clerk* menutup *purchase order* setelah seluruh produk selesai dihitung.



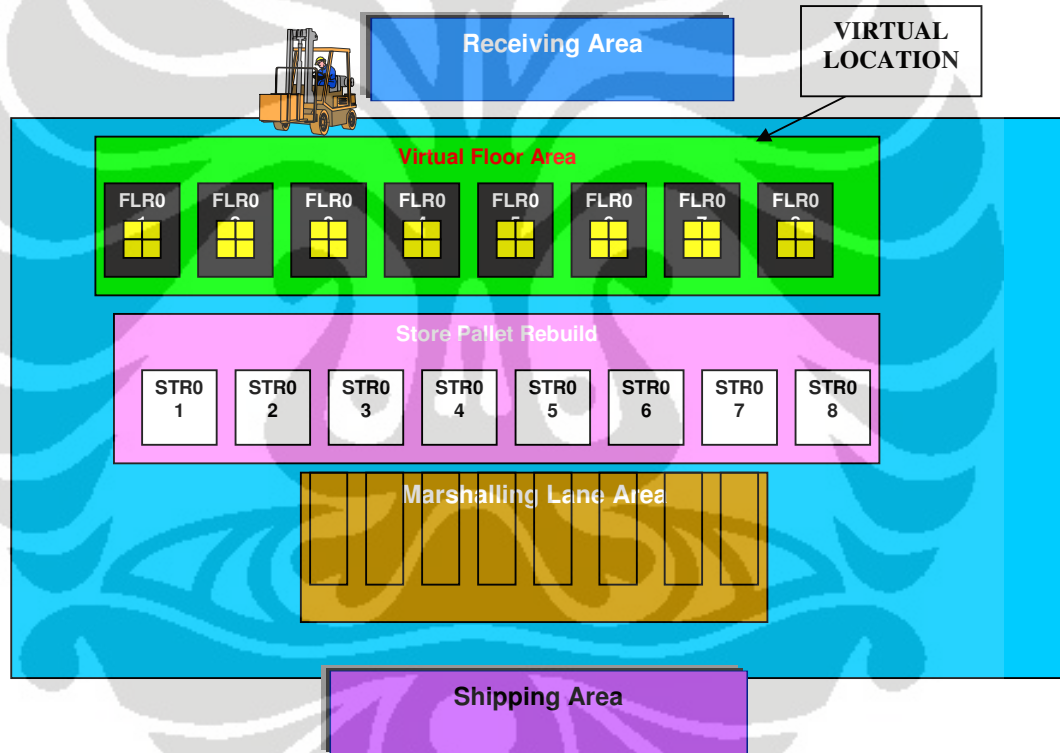
Gambar 3.4 Aliran *Receiving* pada Gudang *Cross-Docking* DHL Exel Supply Chain untuk Makro

(Sumber: *Cross-docking Management Principles – DHL Exel Supply Chain*)

3.1.2.3 Melokasikan Produk ke Lokasi Virtual (*Putaway Product to Virtual Location*)

Pada *business process* ini, terjadi urutan aktivitas dengan rincian sebagai berikut:

- Setelah menyelesaikan pengecekan terhadap sistem, *data clerk* akan mengklik “Locate” *tab* untuk menempatkan data dari seluruh produk ke dalam *virtual floor location* pada sistem; kemudian sistem akan menghasilkan *sequential floor locations* untuk setiap *article* yang diterima.
- Lokasi ini hanya lokasi sementara sebelum proses *picking* dilakukan.
- Kemudian setiap *pallet* dipindahkan ke *virtual floor location* yang tepat.



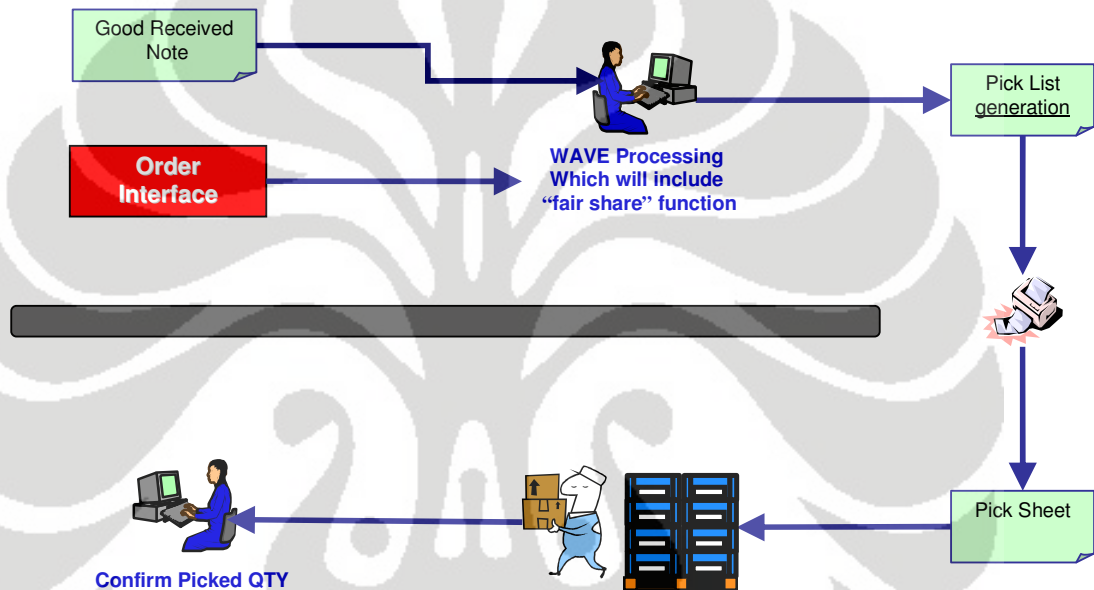
Gambar 3.5 *Virtual Location*

(Sumber: *Cross-docking Management Principles* – DHL Exel Supply Chain)

3.1.2.4 *Picking*

Pada *business process* ini, terjadi urutan aktivitas seperti yang digambarkan pada Gambar 3.6 dengan rincian sebagai berikut:

- Proses *picking* harus didasarkan pada FIFO (*First In First Out*); kalau masih ada *item* pada FL Location, maka *item* tersebut harus di-*pick* terlebih dahulu.
- *Picker* akan mencatat jumlah *cases* yang dipindahkan ke *store pallet* dan mengesahkan *details* pada *picking sheet*, lalu memasukkan *pallet ID* pada *picking sheet* tersebut.
- *Picker* akan bergerak ke lokasi selanjutnya dan mengulangi operasi ini hingga seluruh produk selesai didistribusikan.



Gambar 3.6 Aliran *Picking* pada Gudang *Cross-Docking* DHL Exel Supply Chain untuk Makro

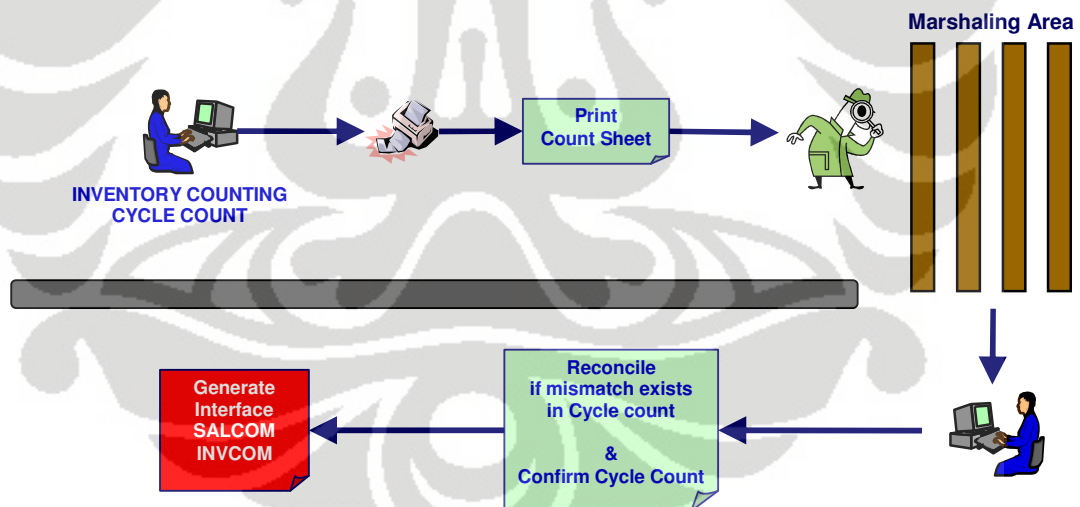
(Sumber: *Cross-docking Management Principles* – DHL Exel Supply Chain)

3.1.2.5 *Cycle count process*

Menurut APICS Dictionary edisi kesepuluh, definisi dari *cycle counting* adalah “suatu teknik audit yang akurat terhadap inventori dimana inventori dihitung sebagai suatu penjadwalan siklis, dan bukannya hanya dihitung sekali dalam setahun”. Tujuan utama dari *cycle counting* adalah untuk mengidentifikasi *items* yang *error*, sekaligus memicu investigasi untuk mengidentifikasi dan mengeliminasi penyebab *error* tersebut.

Berikut adalah rincian urutan aktivitas dari proses *cycle counting* pada gudang *cross-docking* DHL Exel Supply Chain:

- *Store* harus menunggu barang dikirim dalam bentuk *full truck loaded*, dan hal ini bisa memakan waktu sekitar 1 sampai 2 hari di DC atau gudang *cross-docking*.
- Seluruh stok di DC akan dihitung.
- *Stock clerk* akan mencetak *blank sheet* untuk mencetak *daily blind cycle count sheet* langsung ke lokasi yang bersangkutan.
- Menghitung seluruh stok dan memasukkan detailnya (seperti *article number*, *quantity*, dst) pada *daily blind cycle count sheet*.
- Mencetak *stock on hand report* untuk dibandingkan dengan *daily blind cycle count sheet*.
 - Bila ada ketidakcocokan, maka keduanya akan dicek ulang.
 - Setelah pengecekan ulang, ketidakcocokan apapun, akan dilaporkan ke *warehouse supervisor* dan *contract manager* untuk dilakukan *stock adjustment*.
- Menyimpan seluruh laporan dalam *filing*.



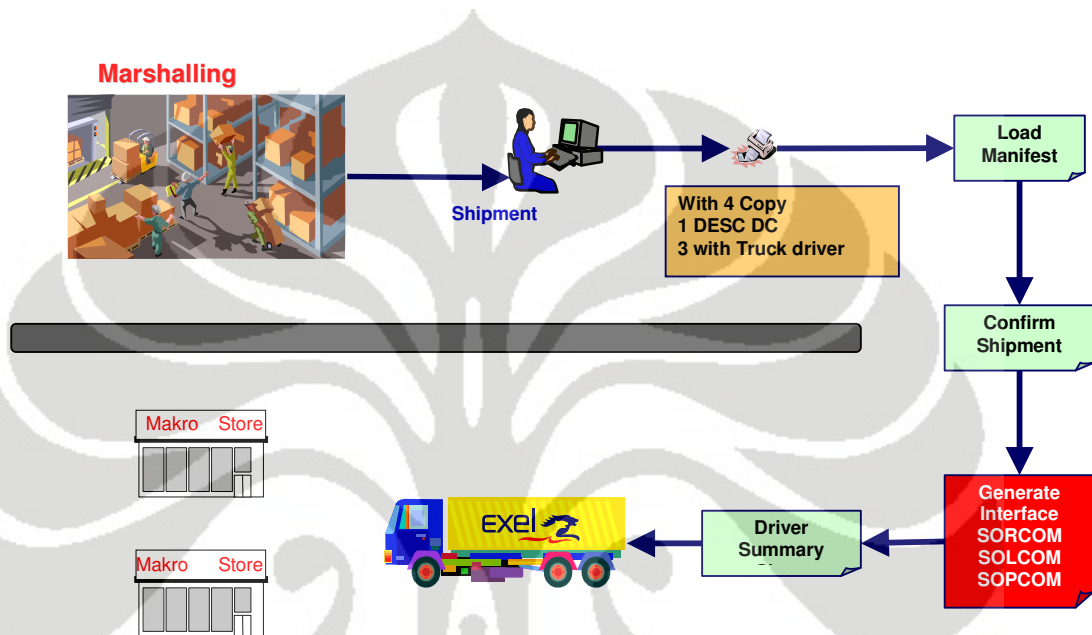
Gambar 3.7 SOP untuk Proses *Cycle Counting*

(Sumber: *Cross-docking Management Principles – DHL Exel Supply Chain*)

3.1.2.6 Dispatching

Pada *business process* ini, terjadi urutan aktivitas seperti yang digambarkan pada Gambar 3.8 dengan rincian sebagai berikut:

- *Load planner* merencanakan untuk memesan truk dengan menyesuaikan kapasitasnya dan kuantitas produk yang ada pada *marshalling line*.
- *Checker* akan mengecek kembali produk sesuai dengan *load manifest* dan mengepak produk secara bersamaan sejalan dengan proses *loading*.
- Seluruh dokumen akan dilampirkan, lalu truk harus dikunci dan disegel.



Gambar 3.8 Aliran *Dispatching* pada Gudang *Cross-Docking* DHL Exel Supply Chain untuk Makro

(Sumber: *Cross-docking Management Principles – DHL Exel Supply Chain*)

Dengan pemahaman yang cukup mengenai bagaimana sistem *cross-docking* dari DHL untuk Makro ini berjalan, maka berikut akan dibahas mengenai data yang berkaitan dengan penelitian yang dilakukan.

3.2 Rute *Inbound* dan *Outbound* pada *Cross-docking* DESC-Makro

Salah satu data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data rute *inbound* dan *outbound* pada gudang *cross-docking* yang diteliti. Rute *inbound* yang dimaksud disini adalah rute kedatangan *supplier* yang mengirimkan produknya ke gudang *cross-docking*. Sedangkan yang dimaksud dengan rute *outbound* disini adalah rute keberangkatan menuju *store* Makro yang tersebar di berbagai kota di Indonesia.

Supplier yang mengirimkan produknya ke Makro ada ratusan jumlahnya, dan lokasi mereka rata-rata berada di area Jabodetabek. Berikut adalah daftar rute *inbound* atau daftar *supplier* yang mengirimkan barang ke gudang *cross-docking* DHL untuk Makro dalam satu hari:

Tabel 3.1 Daftar *Supplier* yang Mengirimkan Produk ke Gudang *Cross-docking* DESC-Makro

No	Supplier / Inbound	No	Supplier / Inbound
1	ADIBELLA NUGRAHA, PT	89	MDC STORE 5 (BANDUNG)
2	ADINATA SENTOSA, PD	90	MULTI ELEXINDO INDAH, PT (SANSIO)
3	ADINATA SENTOSA, PD (PL)	91	MILIALA KOLA, PD
4	AJINOMOTO SALES INDONESIA, PT	92	MIRASA FOOD INDUSTRY
5	AKIRA ELECTRONIC INDONESIA, PT	93	MODERN PHOTO, PT TBK
6	ALAM RAYA, UD	94	MOENA PUTRA, PT
7	ANDALAN PRIMA INDONESIA	95	MONTANIA L/SENTOSA NIAGA INT'L, PT
8	ANDARAL DISTRINDO, PT	96	MULIA RAYA, PT (PT.SUMBER PAHALA R)
9	ANEKA BUAH	97	MULTI ELEXINDO INDAH, PT (SANSIO)
10	ARNOTT INDONESIA, PT	98	MULTI SIGMA, CV
11	ASABA, PT	99	MULTILEVER 88 UD.
12	ASIM SNACK	100	MUNCUL ANUGERAH, PT
13	ASTRI ANDIYANI PRIMA, PT	101	MUNCUL ANUGERAH SAKTI
14	BANDUNG DISTRIBUSINDO RAYA, PT	102	NABISCO FOOD, PT
15	BATARA INDAH, PT	103	NAGA MAS PD.
16	BATARA INDAH, PT (PL)	104	NAGA MAS, PT
17	BERGAR SAKTI INDONESIA, PT	105	NATA MERIDIAN INVESTARA, PT
18	BERRI INDOSARI, PT (BOGACITRA NSTR)	106	NATASAN SENTOSA, PD
19	BESAR INTI GLOBAL, PT	107	NATIONAL INDONESIA SEJAHTERA, PT
20	BEST FRESH	108	NEW ZEALAND MILK INDONESIA, PT
21	BINTANG CAKRAWALA SENTOSA, PT	109	NUSA INTEGRAL, PT
22	BUAH INDAH, UD	110	OGAN
23	BUDIRAYA TATAPRIMA	111	P.P. AL-ITTIFAQ
24	CAHAYA CANDLINDO CEMERLANG	112	PANAMAS, PT
25	CAHAYA PERDANA PLASTIK, PT	113	PANDURASA KHARISMA, PT
26	CAKRAWALA MEGA INDAH (PL)	114	PANGAN LESTARI, PT
27	CAKRAWALA MEGA INDAH, PT (SD)	115	PD MEWAH
28	CEREKO REKSA CORP, PT	116	PD.JAHAMZUS GROUP (NON PKP)
29	CIPTA KREASINDO GRACIA, PT	117	PELITA MAKMUR MAKASAR,PT
30	CIPTA KREASINDO GRACIA, PT (PL)	118	PRAWARSA (NAGATA), PT
31	CORRY COLLECTION, PT	119	PRAWARSA PRIMATAMA, PT
32	CUSSONS DISTRIBUTOR INDONESIA, PT	120	PRAWARSA PRIMATAMA,PT (2)

Tabel 3.1 Daftar *Supplier* yang Mengirimkan Produk ke Gudang *Cross-docking* DESC-Makro (Sambungan)

No	Inbound Route	No	Inbound Route
33	DATASCRIP, PT	121	PRAWARSA PRITAMA (PL)
34	DEWI FORTUNA, PD	122	PRESINDO CENTRAL, PT
35	DINAMIKA UNGGUL, PT	123	PRIMA MAKMUR LANGGENG PERKASA, PT
36	DISTRIVERSA BENUAMAS, PT	124	PROCTER & GAMBLE INDONESIA, PT
37	DISTRIVERSA BUANAMAS, PA	125	PROCTER & GAMBLE INDONESIA, PT. (2)
38	DISTRIVERSA BUANAMAS, PT	126	PROCTER & GAMBLER HOME PRODUCTS IND
39	DOS NI ROHA, PT	127	PT MAKRO INDONESIA - STORE 16
40	DUA BURUNG, PT	128	PT SALITROSA/HENADA .
41	DUA SIGMA NUSANTARA, PT	129	PT. ANDALAN PRIMA INDONESIA /HEINZ
42	FOCUS DISTRIBUSI INDONESIA, PT	130	PT. SAMUDRA MONTAZ (P.L)
43	FOCUS DISTRIBUSI INDONESIA,PT (2)	131	PT.LOCOMOTIF EKA SAKTI (PAPER)
44	GAPOKTAN (YOGYA)	132	PT.TIGARAKSA SATRIA
45	GAPOKTAN/PT MITRA MANDIRI INVESTAMA	133	PUTRABIMA INTERNUSA, PT
46	GEMA BAHARI UTARA	134	PUTRI SEGAR
47	GITA KUE KERING	135	RAHMAN BRANS
48	GUNINDO UTAMA PERKASA	136	RODA MAS, PT
49	GUNINDO UTAMA PERKASA (PL)	137	ROMANCE SPRING BED
50	HARAPAN BARU, UD	138	RORAN INTI MANUNGGAL, PT
51	HEINZ ABC INDONESIA, PT	139	RUKUN PATRIAT
52	HILON INDONESIA, PT	140	SAKURA JAYA UD.
53	IMCO, CV	141	SAKURAMAS INTERNUSA SEJAHTERA
54	IMESA BAKERY	142	SAKURAMAS INTERNUSA SEJAHTERA, PT
55	INCASI RAYA, PT	143	SALIM, PD
56	INDAH JAYA, PT	144	SAPUKURATA KHARISMA, PT
57	INDAH JAYA, PT (PL)	145	SARANA ABADI MAKMUR B /CELMA,PT
58	INDOMARCO ADI PRIMA, PT	146	SARANA ABADI MAKMUR BERSAMA (P.L)
59	INDOMARCO ADI PRIMA, PT(INDOFOOD)	147	SARANA ABADI MAKMUR BERSAMA.PT
60	INDOMARCO ADIPRIMA, PT	148	SAVOURY, PT
61	INIKO JAYA ABADI, PT	149	SAYUR MAYUR MALANG
62	INTERNUSA FOOD, PT	150	SEGAR MAS PRIMA PT. (MKS)
63	INTI KARSA, PD	151	SENTOSA NIAGA, PT
64	INTIBOGA SEJAHTERA, PT (HORECA)	152	SHANOY, PD
65	ISTANA ARGO KENCANA, PT	153	SINAR SOSRO, PT
66	ISTANA MOTOR, PD	154	SINGAMAS SELARAS, PT
67	JANUAZIR CHUWARDI, PT (TUNGGAL JAYA)	155	SINTA PERTIWI, PT
68	JAYA ABADI, PT	105	NATA MERIDIAN INVESTARA, PT
69	JOHNSON&JOHNSON INDONESIA, PT	106	NATASAN SENTOSA, PD
70	KARAWANG FOOD LESTARI, PT	107	NATIONAL INDONESIA SEJAHTERA, PT

Tabel 3.1 Daftar *Supplier* yang Mengirimkan Produk ke Gudang *Cross-docking* DESC-Makro (Sambungan)

No	Inbound Route	No	Inbound Route
71	KARUNIA SEGAR C.V	108	NEW ZEALAND MILK INDONESIA, PT
72	KDK INDONESIA, PT (BZR)	109	NUSA INTEGRAL, PT
73	KEDAUNG SENTRA DISTRIBUSI, PT	110	OGAN
74	KESUMA BUANA AGUNG, PT	111	P.P. AL-ITTIFAQ
75	KIRANA PACIFIK LUAS, PT	112	PANAMAS, PT
76	KOTA MAS PERMAI, PT	113	PANDURASA KHARISMA, PT
77	KRISTAL INDAH, PT	114	PANGAN LESTARI, PT
78	KURNIA ABADI, UD	115	PD MEWAH
79	LA BROUSSE ET DUPONT INDONESIA, PT	116	PD.JAHAMZUS GROUP (NON PKP)
80	LANGGENG INVESTINDO, PT	117	PELITA MAKMUR MAKASAR,PT
81	LOA KHE TJAN	118	PRAWARSA (NAGATA), PT
82	MAHKOTA ABC (PL)	119	PRAWARSA PRIMATAMA, PT
83	MAKRO PROCESSING JKT	120	PRAWARSA PRIMATAMA,PT (2)
84	MASPION, PT (OWN BRAND)	121	PRAWARSA PRITAMA (PL)
85	MAWAR JAYA, PT	122	PRESINDO CENTRAL, PT
86	MAYA MUNCAR, PT	123	PRIMA MAKMUR LANGGENG PERKASA, PT
87	MDC - ST 16 (YOGYA)	124	PROCTER & GAMBLE INDONESIA, PT
88	MDC - STORE 9 BALI	125	PROCTER & GAMBLE INDONESIA, PT. (2)
89	MDC STORE 5 (BANDUNG)	126	PROCTER & GAMBLER HOME PRODUCTS IND
90	MULTI ELEXINDO INDAH, PT (SANSIO)	127	PT MAKRO INDONESIA - STORE 16
91	MILIALA KOLA, PD	128	PT SALITROSA/HENADA .
92	MIRASA FOOD INDUSTRY	129	PT. ANDALAN PRIMA INDONESIA /HEINZ
93	MODERN PHOTO, PT TBK	130	PT. SAMUDRA MONTAZ (P.L)
94	MOENA PUTRA, PT	131	PT.LOCOMOTIF EKA SAKTI (PAPER)
95	MONTANIA L/SENTOSA NIAGA INT'L, PT	132	PT.TIGARAKSA SATRIA
96	MULIA RAYA, PT (PT.SUMBER PAHALA R)	133	PUTRABIMA INTERNUSA, PT
97	MULTI ELEXINDO INDAH, PT (SANSIO)	134	PUTRI SEGAR

(Sumber: *Cross-docking* DHL Exel Supply Chain untuk Makro, telah diolah kembali)

Dari data diatas, tercatat ada 176 *supplier* yang memasukkan produknya ke gudang DHL dalam waktu satu hari saja. Kemudian dari 176 *supplier* tersebut, tiga diantaranya berasal dari Yogyakarta, satu berasal dari Bandung, dan satu berasal dari Bali. Sedangkan sisanya berasal dari area Jabodetabek.

Berikut adalah daftar rute *outbound* atau daftar lokasi kota dimana toko Makro berada dalam urutan *store number* atau *store ID*-nya:

Tabel 3.2 Daftar Lokasi Toko Makro

Store No	Destination/Outbound	Store No	Destination/Outbound
1	PASAR REBO	11	SEMARANG
2	SIDOARJO	12	-
3	KELAPA GADING	13	MAKASSAR
4	MERUYA	14	PALEMBANG
5	BANDUNG	15	PEKANBARU
6	CIPUTAT	16	YOGYAKARTA
7	ALAM SUTERA	17	BANJARMASIN
8	CIBITUNG	18	BEKASI II
9	DENPASAR	19	SOLO
10	MEDAN	20	BALIKPAPAN

(Sumber: *Cross-docking* DHL Exel Supply Chain untuk Makro, telah diolah kembali)

Toko atau *store* Makro ada 20 buah awalnya, namun salah satu toko yaitu *store* nomor 12 telah *collapsed* atau ditutup, oleh karena itu kini total toko Makro ada 19 buah dan lokasi dari tiap toko tersebut tersebar pada berbagai wilayah di Indonesia.

3.3 Shipping Quantity pada Cross-docking DESC-Makro

Tercatat ada ratusan *purchase order* yang masuk ke gudang *cross-docking* DHL Exel Supply Chain untuk Makro tiap harinya. Setelah mengolah seluruh data yang diberikan, tercatat bahwa dari 176 rute *inbound* dan 19 rute *outbound*, diperoleh nilai total pengiriman yang terjadi dalam sehari mencapai 94438 *cases* atau kotak. Tampak pada tabel-tabel berikut, total pengiriman untuk masing-masing rute, atau nilai yang berada dalam *cell* yang berwarna kuninglah yang akan dimasukkan pada model biaya dari tiap strategi yang nantinya akan dibandingkan. Sedangkan *cell* berwarna krem menandakan *store* yang sudah tutup, dan *cell* berwarna hijau menandakan lokasi *supplier* yang berada di luar daerah Jabodetabek. Berikut adalah rinciannya:

Tabel 3.3 Data Shipping Quantity dalam Satuan cases pada Gudang Cross-docking DESC-Makro

No	Supplier	Store Number																				Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	ADIBELLA NUGRAHA, PT	1					1			1	1			4							8	
2	ADINATA SENTOSA, PD	18	98	30	18	64	18	30	18	78	74	42		19	60	78	85	121	30	45.5	71	997.5
3	ADINATA SENTOSA, PD (PL)					1				1	1		1					2			1	7
4	AJINOMOTO SALES INDONESIA, PT	175	132	267	270	164	203	121	230	32		32			98	32		69	114			1939
5	AKIRA ELECTRONIC INDONESIA, PT	3								3								1				7
6	ALAM RAYA, UD		1							1						1	1					5
7	ANDALAN PRIMA INDONESIA								6													6
8	ANDARAL DISTRINDO, PT													3								3
9	ANEKA BUAH		6																			6
10	ARNOTT INDONESIA, PT	64	73	37	44	21	21	15	34	49	71	39		54	73	2	2	32	83	8	24	746
11	ASABA, PT					33								33						3		69
12	ASIM SNACK							3											6	6		15
13	ASTRI ANDIYANI PRIMA, PT	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57		57	57	57	57	57	57	57	57	1083
14	BANDUNG DISTRIBUSINDO RAYA, PT	1							4					215				115				335
15	BATARA INDAH, PT	34		35	6	7	28	14	52	14	27			4		5		43	3	7		279
16	BATARA INDAH, PT (PL)	2		4					10	4	36	2		14	6	4	12		5	12	1	112
17	BERGAR SAKTI INDONESIA, PT	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	1900
18	BERRI INDOSARI, PT (BOGACITRA NSTR)	1300			1300		1300			2600												6500
19	BESAR INTI GLOBAL, PT																25					25

Tabel 3.3 Data *Shipping Quantity* dalam Satuan *cases* pada Gudang *Cross-docking* DESC-Makro (Sambungan)

No	Supplier	Store Number																				Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
20	BEST FRESH	2					2		2													6
21	BINTANG CAKRAWALA SENTOSA, PT	38	38	38	38	38	38	38	38		38			38	38	38	38	38	38	38	38	646
22	BUAH INDAH, UD	6			3		6		3													18
23	BUDIRAYA TATAPRIMA			79	59	20	20	20		59				20		59					79	415
24	CAHAYA CANDLINDO CEMERLANG	46	15						19	46	51	19		10		9	13			14		242
25	CAHAYA PERDANA PLASTIK, PT	85	76	76	76	76	76	76	76		76			76	76	76	76	76	76	76	76	1301
26	CAKRAWALA MEGA INDAH (PL)					38								140				148				326
27	CAKRAWALA MEGA INDAH, PT (SD)	6		6	1																1	14
28	CEREKO REKSA CORP, PT			2																		2
29	CIPTA KREASINDO GRACIA, PT					66					66	68.5	66		66	66	68.5	68.5		66	68.5	736
30	CIPTA KREASINDO GRACIA, PT (PL)					6									6							12
31	CORRY COLLECTION, PT			1	1																	2
32	CUSSONS DISTRIBUTOR INDONESIA, PT																	2				2
33	DATASCRIP, PT										19				7							26
34	DEWI FORTUNA, PD														3							3
35	DINAMIKA UNGGUL, PT	20							23	5		20	20		5				5		1.5	99.5
36	DISTRIVERSA BENUAMAS, PT			2	2		2															6
37	DISTRIVERSA BUANAMAS, PA			18	12						12		6									48
38	DISTRIVERSA BUANAMAS, PT	28		62	37	49	39	46	19	77	30	16		32	14	36	46	33	46	21	28	659
39	DOS NI ROHA, PT																	146				146
40	DUA BURUNG, PT	32	32	58	112	31	35	50	133						64		35	25	78	27	25	737

Tabel 3.3 Data *Shipping Quantity* dalam Satuan *cases* pada Gudang *Cross-docking* DESC-Makro (Sambungan)

No	Supplier	Store Number																				Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
41	DUA SIGMA NUSANTARA, PT	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	300	5700
42	FOCUS DISTRIBUSI INDONESIA, PT	40			132	104	102	90	62	42					50	40	82					744
43	FOCUS DISTRIBUSI INDONESIA,PT (2)	12	11	18	11	8	9	1	7	4	1	5			4			4	7	3	6	111
44	GAPOKTAN (YOGYA)				2		4	1			30			30								67
45	GAPOKTAN/PT MITRA MANDIRI INVESTAMA			23			23															46
46	GEMA BAHARI UTARA					500								500								1000
47	GITA KUE KERING							2														2
48	GUNINDO UTAMA PERKASA															12			30			42
49	GUNINDO UTAMA PERKASA (PL)							30		24	50				20	30			50			204
50	HARAPAN BARU, UD					100					100			100				100				400
51	HEINZ ABC INDONESIA, PT						5			5									1			11
52	HILON INDONESIA, PT					27								27								54
53	IMCO, CV	17	12	1	8		2	1	2	6	1					3	1	2	3	1		60
54	IMESA BAKERY			37	14			37														88
55	INCASI RAYA, PT	200		20	400																200	820
56	INDAH JAYA, PT									24	6											30
57	INDAH JAYA, PT (PL)			30			72	42		90	30						36	6	42		72	420
58	INDOMARCO ADI PRIMA, PT	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95	96		95	95	95	95	95	95	95	95	1806
59	INDOMARCO ADI PRIMA, PT(INDOFOOD)	118	41	53	205	6	46	11	109	22	4	41		13	30		126	111	25	2	1	964
60	INDOMARCO ADIPRIMA, PT	97		8	70	7	86	3		3		8		3		2			20			307
61	INIKO JAYA ABADI, PT	4	5		6	1		1	4	8								5	1			35

Tabel 3.3 Data *Shipping Quantity* dalam Satuan *cases* pada Gudang *Cross-docking* DESC-Makro (Sambungan)

No	Supplier	Store Number																			Total	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		20
62	INTERNUSA FOOD, PT	139	122	122	122	95	122	122	122	139	139	139		139	139	139	139	139	139	139	139	2495
63	INTI KARSA, PD		3							6					12		6	12				39
64	INTIBOGA SEJAHTERA, PT (HORECA)									9							9			9		27
65	ISTANA ARGO KENCANA, PT									24												24
66	ISTANA MOTOR, PD															6		6			6	18
67	JANUAZIR CHUWARDI, PT (TUNGGAL JAYA)	14			7	2	2	15											18			58
68	JAYA ABADI, PT	175	169	288	185		22	143	167	130		134			121		121	135			125	1915
69	JOHNSON&JOHNSON INDONESIA, PT	6															6			6		18
70	KARAWANG FOOD LESTARI, PT																3					3
71	KARUNIA SEGAR C.V	550			275		282			275		275		7			275	275	7	275		2496
72	KDK INDONESIA, PT (BZR)	50			31		31	50	19													181
73	KEDAUNG SENTRA DISTRIBUSI, PT				1		11		1										8.67		6	27.67
74	KESUMA BUANA AGUNG, PT					2				2												4
75	KIRANA PACIFIK LUAS, PT	35	2	54	71	4	2	39	41		1	84.5		4	3	10	13	44.7	22			430.2
76	KOTA MAS PERMAI, PT		10	58	24			10		10	20			24	24					34		214
77	KRISTAL INDAH, PT									3						3						6
78	KURNIA ABADI, UD				16			16	16													48
79	LA BROUSSE ET DUPONT INDONESIA, PT													2				9				11
80	LANGGENG INVESTINDO, PT				1				2	2												5
81	LOA KHE TJAN	34		34	34			34										34				170
82	MAHKOTA ABC (PL)												1								1	2

Tabel 3.3 Data *Shipping Quantity* dalam Satuan *cases* pada Gudang *Cross-docking* DESC-Makro (Sambungan)

No	Supplier	Store Number																				Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
83	MAKRO PROCESSING JKT	6																	6			12
84	MASPION, PT (OWN BRAND)			2	3		11			1		1										18
85	MAWAR JAYA, PT	9		45	9					26	35	45		26	10		26		26		10	267
86	MAYA MUNCAR, PT	1	8		3			4														16
87	MDC - ST 16 (YOGYA)	10		10	10	10	10	10				10					10		10	10		100
88	MDC - STORE 9 BALI						2										2					4
89	MDC STORE 5 (BANDUNG)						7															7
90	MULTI ELEXINDO INDAH, PT (SANSIO)			14			14					14			14				14			70
91	MILIALA KOLA, PD		10			10					10											30
92	MIRASA FOOD INDUSTRY									1												1
93	MODERN PHOTO, PT TBK	9							9													18
94	MOENA PUTRA, PT				45				17								45					107
95	MONTANIA L/SENTOSA NIAGA INT'L, PT				10		6			4	6			4				4			6	40
96	MULIA RAYA, PT (PT.SUMBER PAHALA R)			118	64	63	64	59	64						59				59			550
97	MULTI ELEXINDO INDAH, PT (SANSIO)	2		4						9				2		5	1		9			32
98	MULTI SIGMA, CV						4															4
99	MULTILEVER 88 UD.	2																2		2		6
100	MUNCUL ANUGERAH, PT	18	18	18	18	18	1	18	18	19					18		18				18	200
101	MUNCUL ANUGERAH SAKTI	9	4	32	34	32	15	20	35	19		8				9	13	22	23	16	8	299
102	NABISCO FOOD, PT						34															34
103	NAGA MAS PD.		38								42	42	130			44	125	20	10			451

Tabel 3.3 Data *Shipping Quantity* dalam Satuan *cases* pada Gudang *Cross-docking* DESC-Makro (Sambungan)

No	Supplier	Store Number																				Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
104	NAGA MAS, PT		16										16									32
105	NATA MERIDIAN INVESTARA, PT			32	33		32				4			32			4	36				173
106	NATASAN SENTOSA, PD		1							5.5	1			0.5		6	6				1	21
107	NATIONAL INDONESIA SEJAHTERA, PT		8							12											12	32
108	NEW ZEALAND MILK INDONESIA, PT	413	176	309	393	148	287	363	248		103	52		25	85	7	4	14	209		164	3000
109	NUSA INTEGRAL, PT													14								14
110	OGAN		1		1						1	1						1				5
111	P.P. AL-ITTIFAQ				3													6				9
112	PANAMAS, PT																66					66
113	PANDURASA KHARISMA, PT	1	36.5	50	26	24	1	25		86	24					24	24	24	24		24	393.5
114	PANGAN LESTARI, PT	84		182		62								115	61						40	544
115	PD MEWAH	6		1					5								1		5			18
116	PD.JAHAMZUS GROUP (NON PKP)											2100				2100		1050	1050	2100	1050	9450
117	PELITA MAKMUR MAKASAR,PT	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277	277		277	277	277	277	277	277	277	277	5263
118	PRAWARSA (NAGATA), PT	108			1				4	6	3							1				123
119	PRAWARSA PRIMATAMA, PT			1				6		44	7.5			2.5	8.5	0.71	6	6	6			88.21
120	PRAWARSA PRIMATAMA,PT (2)	1							6		12	10					60			20		109
121	PRAWARSA PRITAMA (PL)	6							8	6	8				6		8	8				50
122	PRESINDO CENTRAL, PT	12	102	12	12	42	12	12	12	108	54	30		12	12	24	30	123	12	12	18	651
123	PRIMA MAKMUR LANGGENG PERKASA, PT	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3		3	3	3	3		3	3	3	55

Tabel 3.3 Data *Shipping Quantity* dalam Satuan *cases* pada Gudang *Cross-docking* DESC-Makro (Sambungan)

No	Supplier	Store Number																				Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
124	PROCTER & GAMBLE INDONESIA, PT	72	3	76	20	7	1	17	25	68		40		3				19		15	26	392
125	PROCTER & GAMBLE INDONESIA, PT. (2)	361	66	107	2496	58	86	65	317	204		6236		42			7805	5	186	41	68	18143
126	PROCTER & GAMBLER HOME PRODUCTS IND	8					2	1	8	6							783					808
127	PT MAKRO INDONESIA - STORE 16			2																		2
128	PT SALITROSA/HENADA .																	1				1
129	PT. ANDALAN PRIMA INDONESIA /HEINZ									18											18	36
130	PT. SAMUDRA MONTAZ (P.L)	22	22	22	22				22					22								132
131	PT.LOCOMOTIF EKA SAKTI (PAPER)	2								2												4
132	PT.TIGARAKSA SATRIA	5		2															5	4		16
133	PUTRABIMA INTERNUSA, PT	10		5	5		5		5													30
134	PUTRI SEGAR		12			12				36							6	9				75
135	RAHMAN BRANS																2					2
136	RODA MAS, PT					4					4			4				4				16
137	ROMANCE SPRING BED					65					129			72				134				400
138	RORAN INTI MANUNGGAL, PT			40	40			40	40										40			200
139	RUKUN PATRIAT		300					100		100		100										600
140	SAKURA JAYA UD.	8	8																8			24
141	SAKURAMAS INTERNUSA SEJAHTERA	9																	3	9		21
142	SAKURAMAS INTERNUSA SEJAHTERA, PT			8	2			1												4		15
143	SALIM, PD											2						2				4

Tabel 3.3 Data *Shipping Quantity* dalam Satuan *cases* pada Gudang *Cross-docking* DESC-Makro (Sambungan)

No	Supplier	Store Number																				Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
144	SAPUKURATA KHARISMA, PT							8					8				8				24	
145	SARANA ABADI MAKMUR B /CELMA,PT					15															15	
146	SARANA ABADI MAKMUR BERSAMA (P.L)				4		4											4		4	16	
147	SARANA ABADI MAKMUR BERSAMA.PT					108											108				216	
148	SAVOURY, PT		3										3			3					9	
149	SAYUR MAYUR MALANG	4		3	1			3	3				3					3	3	1	24	
150	SEGAR MAS PRIMA PT. (MKS)			1																	1	
151	SENTOSA NIAGA, PT	46		46	23	23	23	23					23	23	23			23			276	
152	SHANOY, PD						31	44													75	
153	SINAR SOSRO, PT	255		419	411		167	511	108									208			2079	
154	SINGAMAS SELARAS, PT		12														12				24	
155	SINTA PERTIWI, PT	6.67	9.67	6.67	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67	9.67	8.67	7.67		9.67		9.67	9.67	9	9.67	9.67	9.67	164.4
156	SONGO GENI MAJU, PT													5							5	
157	SPLASH INDONESIA, PT	43	1	43	43	43	42	43	43		1	1		1	42	1	1		43	1	1	393
158	STAR COSMOS, PT					30												37				67
159	SUKANDA DJAJA PT						14		14	14	14								14			70
160	SUKANDA DJAJA PT	14		2		4		4	2	4								9	9		9	57
161	SUMBER KARUNIA ANUGRAH, PT									871				871		871						2613
162	SUMBER SEHAT, PT			2	2		2	2	2									2	2			14
163	SUPPLIER INTERNAL NON FOOD	1										1						2				4

Tabel 3.3 Data *Shipping Quantity* dalam Satuan *cases* pada Gudang *Cross-docking* DESC-Makro (Sambungan)

No	Supplier	Store Number																				Total
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
164	SUPRA SUMBER CIPTA, PT	90		90	54	54		36	54			54			36	36			90		56	650
165	SURYA PELANGI NUSANTARA, PT	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100		100	100	100	100	100	100	100	100	1900
166	SURYA RAYA DAMAI, PT													5								5
167	TAMBUN WIDYO KENCANA, PT	18		18	18		18	18														90
168	THEDA MULTI CIPTA, PT		12	12						10						6			6			46
169	TOKO EMPAT SERANGKAI										9			9		10						28
170	ULTRA SALUR, PT													10								10
171	UNI-CHARM INDONESIA PT	198		155	131	39	83	95	38					21	96	32		68	98	40	8	1102
172	UNILEVER INDONESIA, PT	1			1																	2
173	WARSO DHARMA UTAMA, PT	6		6	6		6	6						6					6	6	6	54
174	WITJAKSONO WILIS, PT	7		4				30				30							30			101
175	YAHMIN, PT							2.4	2	2	5.8								1	2	4.8	20
176	YU-SUNG TECH INDONESIA, PT			68	68		68	68	68										68			408
Total		616	264	436	854	328	460	361	337	651	231	1073		383	235	393	1198	450	420	396	348	9443
		8	5	2	7	4	4	4	8	6	6	5		7	5	1	3	7	5	3	7	8

(Sumber: *Cross-docking* DHL Exel Supply Chain untuk Makro, telah diolah kembali)

3.4 Transportation Rate dan Delivery Times untuk Tiap Destination

Selanjutnya akan dibahas mengenai data dari *transportation rate* dan *delivery times* untuk tiap rute *inbound* dan *outbound* diatas. DHL Exel Supply Chain menyewa kendaraan yang digunakan untuk pengiriman produknya. *Delivery times* atau waktu pengiriman untuk masing-masing tujuan tentu bervariasi tergantung jaraknya. Sedangkan tarif kendaraan tersebut juga turut bervariasi tergantung jarak dan media transportasi yang digunakan. Berikut adalah daftar *transportation rate* dan *delivery times* untuk masing-masing tujuan:

Tabel 3.4 *Transportation Rate dan Delivery Times untuk Tiap Destination*

Store No.	Destination	Delivery Times (days)	Rate	
			Land Transportation	Sea Transportation
1	Pasar Rebo	1	Rp100,000.00	
2	Sidoarjo	3	Rp450,000.00	
3	Kelapa Gading	1	Rp100,000.00	
4	Meruya	1	Rp100,000.00	
5	Bandung	1	Rp350,000.00	
6	Ciputat	1	Rp100,000.00	
7	Alam Sutera	1	Rp100,000.00	
8	Cibitung	1	Rp100,000.00	
9	Denpasar	4	Rp600,000.00	
10	Medan	10	Rp600,000.00	Rp650,000.00
11	Semarang	2	Rp350,000.00	
12	-	-	-	-
13	Makassar	8		Rp600,000.00
14	Palembang	4	Rp500,000.00	
15	Pekanbaru	6	Rp600,000.00	
16	Yogyakarta	2	Rp400,000.00	
17	Banjarmasin	8		Rp600,000.00
18	Bekasi II	1	Rp100,000.00	
19	Solo	2	Rp450,000.00	
20	Balikpapan	10		Rp650,000.00

(Sumber: *Cross-docking* DHL Exel Supply Chain untuk Makro, telah diolah kembali)

Dari data diatas tampak bahwa rata-rata *delivery times* untuk *destination* yang berada di area Jabodetabek dan Bandung adalah 1 hari, sedangkan untuk

lokasi-lokasi di luar itu lamanya bervariasi. Lalu, rata-rata tarif transportasi untuk *destination* yang berada di area Jabodetabek adalah Rp.100.000,00 melalui jalur darat, sedangkan untuk lokasi selain itu besar tarifnya bervariasi.

3.5 Unit Inventory Carrying Cost

Selanjutnya akan dibahas mengenai *unit inventory carrying cost*. *Unit inventory carrying cost* dapat diartikan sebagai suatu biaya per unit yang dikeluarkan selama pengiriman berlangsung. Adapun perhitungannya tergantung kepada aktivitas-aktivitas yang terkait selama pengiriman berlangsung dan biaya yang dikeluarkan oleh tiap aktivitas tersebut. Disini hanya ada dua aktivitas yang membutuhkan biaya, yaitu *unloading* dan *loading* muatan ke dalam kendaraan. Berikut adalah rinciannya:

Tabel 3.5 Unit Inventory Carrying Cost

No	Activities	Rate per case
1	Unloading	Rp150.00
2	Loading	Rp60.00
Total		Rp210.00

(Sumber: *Cross-docking* DHL Exel Supply Chain untuk Makro, telah diolah kembali)

Dari tabel diatas, dapat diketahui bahwa *unit inventory carrying cost* yang nantinya akan digunakan pada perhitungan biaya adalah Rp.210,00 per *case* atau kotak.

Untuk selanjutnya, seluruh data yang ada pada bab ini akan dijadikan sebagai *input* untuk perhitungan *headway* dan biaya-biaya dari masing-masing strategi yang akan dibahas lebih lanjut pada bab selanjutnya.

BAB 4 PENGOLAHAN DAN ANALISA

Bab ini berisi pengolahan dari data yang ada pada bab sebelumnya. Disini akan dibahas secara rinci mengenai langkah-langkah pengolahan untuk strategi tak terkoordinasi, strategi terkoordinasi dengan satu *headway* yang sama, dan strategi terkoordinasi dengan rasio bilangan bulat. Setelah diolah, setiap hasil yang diperoleh akan dibandingkan dan dianalisa.

4.1 Strategi Tak Terkoordinasi

Seperti yang telah dibahas sebelumnya, strategi tak terkoordinasi (*uncoordinated strategy*) ini adalah strategi awal atau strategi yang umum digunakan pada suatu terminal *cross-docking*. Disini, setiap kendaraan yang masuk atau keluar dari terminal *cross-docking* dapat datang dan pergi kapanpun, tanpa ada suatu jadwal yang pasti.

Pada strategi ini, dan sama halnya nanti pada strategi-strategi lainnya, akan dibahas mengenai perhitungan total biaya yang didapat dari penerapan masing-masing strategi. Total biaya pada suatu sistem *cross-docking* seperti yang dijabarkan oleh Ting (2004), terdiri atas beberapa komponen biaya diantaranya, biaya waktu tunggu perpindahan (*transshipment waiting cost*) dan biaya selain itu (*non-transshipment waiting cost*). *Non-transshipment waiting cost* disini termasuk diantaranya adalah biaya operasional kendaraan (*vehicle operating cost*) dan biaya inventori pembawaan produk (*inventory carrying cost*).

Selanjutnya, urutan pengerjaan pada pengolahan data untuk tiap strategi tentu tidak terlepas dari urutan perhitungan tiap komponen biaya diatas, yang tentunya juga berkaitan erat dengan nilai waktu *headway* yang digunakan pada tiap strategi ini. Secara umum, berikut adalah langkah-langkah perhitungan *headway* dan biaya yang akan dilakukan pada tiap strategi:

1. Mencari nilai *headway* untuk tiap rute *inbound* dan *outbound*
2. Menghitung biaya operasional kendaraan secara keseluruhan
3. Menghitung biaya inventori keseluruhan
4. Menghitung biaya tunggu perpindahan keseluruhan
5. Menghitung total biaya pada sistem

Kemudian, kelima urutan pengerjaan tersebut akan dibahas lebih rinci pada subbab-subbab selanjutnya.

4.1.1 Mencari Nilai *Headway*

Tiap formula yang akan digunakan dalam perhitungan *headway* dan biaya nanti, akan dijabarkan dalam bentuk model matematis, dan dalam tiap model matematis tersebut, terdapat variabel-variabel atau notasi-notasi sebagai berikut:

- t_i^a = *delivery times* atau lama pengantaran dari asal ke tujuan untuk kendaraan *inbound* (dalam satuan jam)
- t_j^d = *delivery times* atau lama pengantaran dari asal ke tujuan untuk kendaraan *outbound* (dalam satuan jam)
- B_i^a = biaya operasional linear per unit untuk kendaraan *inbound* (dalam satuan rupiah)
- B_j^d = biaya operasional linear per unit untuk kendaraan *outbound* (dalam satuan rupiah)
- v = *unit inventory carrying cost* atau biaya inventori bawaan per unit (dalam satuan rupiah)
- Q_i = total *shipping quantity* pada rute *inbound* (dalam satuan kotak atau *case*)
- Q_j = total *shipping quantity* pada rute *outbound* (dalam satuan kotak atau *case*)

Selanjutnya akan dibahas mengenai bagaimana cara untuk mendapatkan nilai dari tiap variabel diatas. Misalnya untuk nilai *delivery times* pada kendaraan *inbound* yang dilambangkan dengan t_i^a , nilai ini didapat dari menjumlahkan *delivery times* dari seluruh *supplier* lalu membaginya dengan jumlah total seluruh *supplier*. Diketahui dari bab sebelumnya bahwa dari total 176 *supplier* yang mengirimkan produknya ke terminal *cross-docking* DHL untuk Makro, 172 diantaranya berada di area Jabodetabek, Bandung dan sekitarnya, dimana pengiriman dapat dilakukan pada hari yang sama, atau dengan kata lain, *delivery times* dari area tersebut menuju terminal *cross-docking* adalah 1 hari. Sedangkan 3 *supplier* lainnya berada di daerah Yogyakarta, dan 1 sisanya berasal dari Bali, dengan lama pengiriman dari masing-masing kota adalah 2 dan 4 hari. Dengan

menggunakan data tersebut, didapatkan rata-rata waktu pengiriman untuk rute *inbound* sebagai berikut:

$$t_i^a = \frac{\sum_i^a \text{supplier} \times \text{delivery times}}{\sum_i^a \text{supplier}} = \frac{(172 \times 1) + (3 \times 2) + (1 \times 4)}{176} =$$

$$1.03409 \text{ hari} \approx \mathbf{24.818182 \text{ jam}} \quad (4.1)$$

Dari perhitungan diatas, didapatkan nilai *delivery times* atau lama pengantaran untuk kendaraan *inbound* yang dilambangkan oleh t_i^a sebesar 1.0341 hari atau setara dengan 24.8182 jam. Secara singkat, perhitungan tersebut juga tergambar dalam tabel berikut:

Tabel 4.1 Perhitungan *Inbound Delivery Times* (t_i^a)

No	Supplier Location	Number of Supplier	Delivery Times (days)
1	Jabodetabek	172	1
2	Yogyakarta	3	2
3	Bali	1	4
Total		176	
		Average	1.034090909 days
		Inbound Del. Times	24.81818182 hours

(Sumber: *Cross-docking* DHL Exel Supply Chain untuk Makro, telah diolah kembali)

Kemudian untuk menghitung nilai *delivery times* untuk kendaraan *outbound* (t_j^d), kita bisa melihat dari data pada bab sebelumnya dimana ada 19 *stores* (toko) Makro yang menjadi tujuan pengiriman (*destination*), atau dengan kata lain ada 19 rute *outbound* disini. Dari 19 rute tersebut, 8 diantaranya berada di area Jabodetabek dan Bandung, sehingga untuk pengiriman ke daerah-daerah tersebut hanya diperlukan waktu 1 hari saja. Sedangkan sisanya tersebar pada daerah-daerah pelosok Indonesia dengan variasi lama pengiriman yang berbeda-beda. Selanjutnya, dengan menggunakan formula yang sama dalam memperoleh nilai t_i^a diatas, dapat diperoleh nilai t_j^d sebagai berikut:

$$t_j^d = \frac{\sum_j^d \text{stores} \times \text{delivery times}}{\sum_j^d \text{stores}} = 3.5263158 \text{ hari} \approx \mathbf{84.631579 \text{ jam}}$$

$$(4.2)$$

Dari perhitungan tersebut, didapatkan nilai t_j^d sebesar 3.5263 hari yang setara dengan 84.6316 jam. Rincian dari tiap *destination* dan lama pengiriman menuju masing-masing kota tergambar dalam tabel berikut:

Tabel 4.2 Perhitungan *Outbound Delivery Times* (t_j^d)

Store No.	Destination	Delivery Times (days)
1	Pasar Rebo	1
2	Sidoarjo	3
3	Kelapa Gading	1
4	Meruya	1
5	Bandung	1
6	Ciputat	1
7	Alam Sutera	1
8	Cibitung	1
9	Denpasar	4
10	Medan	10
11	Semarang	2
12	-	-
13	Makassar	8
14	Palembang	4
15	Pekanbaru	6
16	Yogyakarta	2
17	Banjarmasin	8
18	Bekasi II	1
19	Solo	2
20	Balikpapan	10
Average		3.526315789 days
Outbound Del. Times		84.63157895 hours

(Sumber: *Cross-docking* DHL Exel Supply Chain untuk Makro, telah diolah kembali)

Selanjutnya dengan cara yang hampir sama, kita akan mencari nilai biaya operasional linear per unit untuk rute atau kendaraan *inbound* (B_i^a) dan *outbound* (B_j^d) dengan menggunakan rata-rata dari *transportation rate* untuk masing-masing rute. Sama halnya dengan *delivery times* atau lama pengantaran, *transportation rate* juga bervariasi tergantung lokasi asal dan tujuan pengiriman. Berikut adalah

formula yang digunakan untuk mencari B_i^a beserta nilai biaya yang berhasil didapat:

$$B_i^a = \frac{\sum_i^a \text{supplier} \times \text{transportation rate}}{\sum_i^a \text{supplier}} = \frac{(172 \times \text{Rp.}100,000) + (3 \times \text{Rp.}400,000) + (1 \times \text{Rp.}600,000)}{176} = \text{Rp. } 107,954.55 \quad (4.3)$$

Dari perhitungan tersebut, diperoleh nilai biaya operasional linear per unit untuk kendaraan *inbound* sebesar Rp. 107,954.55. Rincian perhitungan diatas juga tergambar secara singkat dalam tabel berikut:

Tabel 4.3 Perhitungan Biaya Operasional Linear per Unit untuk Kendaraan *Inbound* (B_i^a)

No	Supplier Location	Number of Supplier	Delivery Times (days)	Transportation Rate	
1	Jabodetabek	172	1	Rp100,000.00	Rp17,200,000.00
2	Yogyakarta	3	2	Rp400,000.00	Rp1,200,000.00
3	Bali	1	4	Rp600,000.00	Rp600,000.00
Total		176		Average Inbound Rate	Rp107,954.55

(Sumber: *Cross-docking* DHL Exel Supply Chain untuk Makro, telah diolah kembali)

Selanjutnya, untuk perhitungan biaya operasional linear per unit pada rute *outbound* (B_j^d), akan digunakan formula yang sama dengan perhitungan biaya operasional linear per unit pada kendaraan *inbound* (B_i^a). Formula tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$B_j^d = \frac{\sum_j^d \text{stores} \times \text{transportation rate}}{\sum_j^d \text{stores}} = \text{Rp. } 361,842.11 \quad (4.4)$$

Melalui perhitungan diatas, didapat nilai B_j^d sebesar Rp. 361,842.11. Rincian tujuan dan *transportation rate* untuk masing-masing tujuan tergambar dalam tabel berikut:

Tabel 4.4 Perhitungan Biaya Operasional Linear per Unit untuk Kendaraan *Outbound* (B_j^d)

Store No.	Destination	Delivery Times (days)	Rate		Estimated Rate
			Land Transportation	Sea Transportation	
1	Pasar Rebo	1	Rp100,000.00		Rp100,000.00
2	Sidoarjo	3	Rp450,000.00		Rp450,000.00
3	Kelapa Gading	1	Rp100,000.00		Rp100,000.00
4	Meruya	1	Rp100,000.00		Rp100,000.00
5	Bandung	1	Rp350,000.00		Rp350,000.00
6	Ciputat	1	Rp100,000.00		Rp100,000.00
7	Alam Sutera	1	Rp100,000.00		Rp100,000.00
8	Cibitung	1	Rp100,000.00		Rp100,000.00
9	Denpasar	4	Rp600,000.00		Rp600,000.00
10	Medan	10	Rp600,000.00	Rp650,000.00	Rp625,000.00
11	Semarang	2	Rp350,000.00		Rp350,000.00
12	-	-	-	-	-
13	Makassar	8		Rp600,000.00	Rp600,000.00
14	Palembang	4	Rp500,000.00		Rp500,000.00
15	Pekanbaru	6	Rp600,000.00		Rp600,000.00
16	Yogyakarta	2	Rp400,000.00		Rp400,000.00
17	Banjarmasin	8		Rp600,000.00	Rp600,000.00
18	Bekasi II	1	Rp100,000.00		Rp100,000.00
19	Solo	2	Rp450,000.00		Rp450,000.00
20	Balikpapan	10		Rp650,000.00	Rp650,000.00
				Average Outbound Rate	Rp361,842.11

(Sumber: *Cross-docking* DHL Exel Supply Chain untuk Makro, telah diolah kembali)

Selanjutnya, nilai *unit inventory carrying cost* (biaya inventori bawaan per unit) yang dinotasikan dengan v , dapat diperoleh dari penjumlahan antara biaya-biaya yang dikeluarkan oleh aktivitas terkait selama proses pengiriman, dibagi dengan jumlah aktivitas tersebut. Aktivitas-aktivitas yang terkait disini adalah aktivitas *loading* (memuatkan barang ke dalam kendaraan) dan *unloading* (membongkar barang dari kendaraan). Aktivitas *unloading* membutuhkan biaya sebesar Rp. 150,00 per *case*, sedangkan aktivitas *loading* membutuhkan biaya Rp. 60,00 per *case*. Oleh karena itu, dapat kita simpulkan bahwa total dari kedua biaya tersebut, atau dalam hal ini nilai *unit inventory carrying cost*, adalah sebesar Rp. 210,00. Rinciannya adalah sebagai berikut:

Tabel 4.5 Perhitungan Nilai *Inventory Carrying Cost* (v)

No	Activities	Rate per case
1	Unloading	Rp150.00
2	Loading	Rp60.00
Total		Rp210.00

(Sumber: *Cross-docking* DHL Exel Supply Chain untuk Makro, telah diolah kembali)

Selanjutnya adalah perhitungan nilai *demand*, atau dalam hal ini adalah *shipping quantity* (kuantitas pengiriman), yang dilambangkan oleh Q_i untuk rute *inbound* dan Q_j untuk rute *outbound*. Dengan menggunakan data yang telah diungkapkan pada bab sebelumnya, maka rincian total *shipping quantity* untuk tiap rute *inbound* adalah sebagai berikut:

Tabel 4.6 *Shipping Quantity* untuk Tiap Rute *Inbound* (Q_i)

No	Supplier	Total	No	Supplier	Total
1	ADIBELLA NUGRAHA, PT	8	89	MDC STORE 5 (BANDUNG)	7
2	ADINATA SENTOSA, PD	997.5	90	MULTI ELEXINDO INDAH, PT (SANSIO)	70
3	ADINATA SENTOSA, PD (PL)	7	91	MILIALA KOLA, PD	30
4	AJINOMOTO SALES INDONESIA, PT	1939	92	MIRASA FOOD INDUSTRY	1
5	AKIRA ELECTRONIC INDONESIA, PT	7	93	MODERN PHOTO, PT TBK	18
6	ALAM RAYA, UD	5	94	MOENA PUTRA, PT	107
7	ANDALAN PRIMA INDONESIA	6	95	MONTANIA L/SENTOSA NIAGA INT'L, PT	40
8	ANDARAL DISTRINDO, PT	3	96	MULIA RAYA, PT (PT.SUMBER PAHALA R)	550
9	ANEKA BUAH	6	97	MULTI ELEXINDO INDAH, PT (SANSIO)	32
10	ARNOTT INDONESIA, PT	746	98	MULTI SIGMA, CV	4
11	ASABA, PT	69	99	MULTILEVER 88 UD.	6
12	ASIM SNACK	15	100	MUNCUL ANUGERAH, PT	200
13	ASTRI ANDIYANI PRIMA, PT	1083	101	MUNCUL ANUGERAH SAKTI	299
14	BANDUNG DISTRIBUSINDO RAYA, PT	335	102	NABISCO FOOD, PT	34
15	BATARA INDAH, PT	279	103	NAGA MAS PD.	451
16	BATARA INDAH, PT (PL)	112	104	NAGA MAS, PT	32
17	BERGAR SAKTI INDONESIA, PT	1900	105	NATA MERIDIAN INVESTARA, PT	173

Tabel 4.6 *Shipping Quantity* untuk Tiap Rute *Inbound (Q_i)* (Sambungan)

No	Supplier	Total	No	Supplier	Total
18	BERRI INDOSARI, PT (BOGACITRA NSTR)	6500	106	NATASAN SENTOSA, PD	21
19	BESAR INTI GLOBAL, PT	25	107	NATIONAL INDONESIA SEJAHTERA, PT	32
20	BEST FRESH	6	108	NEW ZEALAND MILK INDONESIA, PT	3000
21	BINTANG CAKRAWALA SENTOSA, PT	646	109	NUSA INTEGRAL, PT	14
22	BUAH INDAH, UD	18	110	OGAN	5
23	BUDIRAYA TATAPRIMA	415	111	P.P. AL-ITTIFAQ	9
24	CAHAYA CANDLINDO CEMERLANG	242	112	PANAMAS, PT	66
25	CAHAYA PERDANA PLASTIK, PT	1301	113	PANDURASA KHARISMA, PT	393.5
26	CAKRAWALA MEGA INDAH (PL)	326	114	PANGAN LESTARI, PT	544
27	CAKRAWALA MEGA INDAH, PT (SD)	14	115	PD MEWAH	18
28	CEREKO REKSA CORP, PT	2	116	PD.JAHAMZUS GROUP (NON PKP)	9450
29	CIPTA KREASINDO GRACIA, PT	736	117	PELITA MAKMUR MAKASAR,PT	5263
30	CIPTA KREASINDO GRACIA, PT (PL)	12	118	PRAWARSA (NAGATA), PT	123
31	CORRY COLLECTION, PT	2	119	PRAWARSA PRIMATAMA, PT	88.21
32	CUSSONS DISTRIBUTOR INDONESIA, PT	2	120	PRAWARSA PRIMATAMA,PT (2)	109
33	DATASCRIP, PT	26	121	PRAWARSA PRITAMA (PL)	50
34	DEWI FORTUNA, PD	3	122	PRESINDO CENTRAL, PT	651
35	DINAMIKA UNGGUL, PT	99.5	123	PRIMA MAKMUR LANGGENG PERKASA, PT	55
36	DISTRIVERSA BENUAMAS, PT	6	124	PROCTER & GAMBLE INDONESIA, PT	392
37	DISTRIVERSA BUANAMAS, PA	48	125	PROCTER & GAMBLE INDONESIA, PT. (2)	18143
38	DISTRIVERSA BUANAMAS, PT	659	126	PROCTER & GAMBLER HOME PRODUCTS IND	808
39	DOS NI ROHA, PT	146	127	PT MAKRO INDONESIA - STORE 16	2
40	DUA BURUNG, PT	737	128	PT SALITROSA/HENADA .	1
41	DUA SIGMA NUSANTARA, PT	5700	129	PT. ANDALAN PRIMA INDONESIA /HEINZ	36
42	FOCUS DISTRIBUSI INDONESIA, PT	744	130	PT. SAMUDRA MONTAZ (P.L)	132
43	FOCUS DISTRIBUSI INDONESIA,PT (2)	111	131	PT.LOCOMOTIF EKA SAKTI (PAPER)	4
44	GAPOKTAN (YOGYA)	67	132	PT.TIGARAKSA SATRIA	16
45	GAPOKTAN/PT MITRA MANDIRI INVESTAMA	46	133	PUTRABIMA INTERNUSA, PT	30
46	GEMA BAHARI UTARA	1000	134	PUTRI SEGAR	75
47	GITA KUE KERING	2	135	RAHMAN BRANS	2
48	GUNINDO UTAMA PERKASA	42	136	RODA MAS, PT	16
49	GUNINDO UTAMA PERKASA (PL)	204	137	ROMANCE SPRING BED	400

Tabel 4.6 *Shipping Quantity* untuk Tiap Rute *Inbound (Q_i)* (Sambungan)

No	Supplier	Total	No	Supplier	Total
50	HARAPAN BARU, UD	400	138	RORAN INTI MANUNGGAL, PT	200
51	HEINZ ABC INDONESIA, PT	11	139	RUKUN PATRIAT	600
52	HILON INDONESIA, PT	54	140	SAKURA JAYA UD.	24
53	IMCO, CV	60	141	SAKURAMAS INTERNUSA SEJAHTERA	21
54	IMESA BAKERY	88	142	SAKURAMAS INTERNUSA SEJAHTERA, PT	15
55	INCASI RAYA, PT	820	143	SALIM, PD	4
56	INDAH JAYA, PT	30	144	SAPUKURATA KHARISMA, PT	24
57	INDAH JAYA, PT (PL)	420	145	SARANA ABADI MAKMUR B /CELMA,PT	15
58	INDOMARCO ADI PRIMA, PT	1806	146	SARANA ABADI MAKMUR BERSAMA (P.L)	16
59	INDOMARCO ADI PRIMA, PT(INDOFOOD)	964	147	SARANA ABADI MAKMUR BERSAMA.PT	216
60	INDOMARCO ADIPRIMA, PT	307	148	SAVOURY, PT	9
61	INIKO JAYA ABADI, PT	35	149	SAYUR MAYUR MALANG	24
62	INTERNUSA FOOD, PT	2495	150	SEGAR MAS PRIMA PT. (MKS)	1
63	INTI KARSA, PD	39	151	SENTOSA NIAGA, PT	276
64	INTIBOGA SEJAHTERA, PT (HORECA)	27	152	SHANOY, PD	75
65	ISTANA ARGO KENCANA, PT	24	153	SINAR SOSRO, PT	2079
66	ISTANA MOTOR, PD	18	154	SINGAMAS SELARAS, PT	24
67	JANUAZIR CHUWARDI, PT (TUNGGAL JAYA)	58	155	SINTA PERTIWI, PT	164.39
68	JAYA ABADI, PT	1915	156	SONGO GENI MAJU, PT	5
69	JOHNSON&JOHNSON INDONESIA, PT	18	157	SPLASH INDONESIA, PT	393
70	KARAWANG FOOD LESTARI, PT	3	158	STAR COSMOS, PT	67
71	KARUNIA SEGAR C.V	2496	159	SUKANDA DJAJA PT	70
72	KDK INDONESIA, PT (BZR)	181	160	SUKANDA DJAYA PT	57
73	KEDAUNG SENTRA DISTRIBUSI, PT	27.67	161	SUMBER KARUNIA ANUGRAH, PT	2613
74	KESUMA BUANA AGUNG, PT	4	162	SUMBER SEHAT, PT	14
75	KIRANA PACIFIK LUAS, PT	430.17	163	SUPPLIER INTERNAL NON FOOD	4
76	KOTA MAS PERMAI, PT	214	164	SUPRA SUMBER CIPTA, PT	650
77	KRISTAL INDAH, PT	6	165	SURYA PELANGI NUSANTARA, PT	1900
78	KURNIA ABADI, UD	48	166	SURYA RAYA DAMAI, PT	5
79	LA BROSSE ET DUPONT INDONESIA, PT	11	167	TAMBUN WIDYO KENCANA, PT	90
80	LANGGENG INVESTINDO, PT	5	168	THEDA MULTI CIPTA, PT	46
81	LOA KHE TJAN	170	169	TOKO EMPAT SERANGKAI	28
82	MAHKOTA ABC (PL)	2	170	ULTRA SALUR, PT	10

Tabel 4.6 *Shipping Quantity* untuk Tiap Rute *Inbound* (Q_i) (Sambungan)

No	Supplier	Total	No	Supplier	Total
83	MAKRO PROCESSING JKT	12	171	UNI-CHARM INDONESIA PT	1102
84	MASPION, PT (OWN BRAND)	18	172	UNILEVER INDONESIA, PT	2
85	MAWAR JAYA, PT	267	173	WARSO DHARMA UTAMA, PT	54
86	MAYA MUNCAR, PT	16	174	WITJAKSONO WILIS, PT	101
87	MDC - ST 16 (YOGYA)	100	175	YAHMIN, PT	20
88	MDC - STORE 9 BALI	4	176	YU-SUNG TECH INDONESIA, PT	408
Total					94437.94

(Sumber: *Cross-docking* DHL Exel Supply Chain untuk Makro, telah diolah kembali)

Dari tabel diatas tampak bahwa ada *cell* yang berwarna hijau. *Cell* hijau tersebut menandakan bahwa letak *supplier* tersebut berada di luar area Jabodetabek dan Bandung. Selanjutnya, berikut adalah total *shipping quantity* untuk tiap rute *outbound* (Q_j):

Tabel 4.7 *Shipping Quantity* untuk Tiap Rute *Outbound* (Q_j)

Store No.	Destination	Total	Store No.	Destination	Total
1	Pasar Rebo	6167.67	11	Semarang	10735.17
2	Sidoarjo	2645.17	12	-	-
3	Kelapa Gading	4361.67	13	Makassar	3837.17
4	Meruya	8546.67	14	Palembang	2355
5	Bandung	3283.67	15	Pekanbaru	3931.38
6	Ciputat	4603.67	16	Yogyakarta	11983.17
7	Alam Sutera	3614.07	17	Banjarmasin	4507.17
8	Cibitung	3377.67	18	Bekasi II	4205.34
9	Denpasar	6516.17	19	Solo	3963.17
10	Medan	2316.47	20	Balikpapan	3487.47

(Sumber: *Cross-docking* DHL Exel Supply Chain untuk Makro, telah diolah kembali)

Pada tabel diatas tampak bahwa *store* nomor 12 ditandai dengan warna krem atau salem. *Cell* berwarna krem tersebut menandakan bahwa *store* atau toko Makro tersebut telah ditutup. Oleh karena itu, tampak bahwa hanya ada 19 *store* Makro yang masih aktif beroperasi.

Nilai-nilai yang tadi telah dibahas, tidak akan berubah pada tiap strategi nantinya seperti halnya nilai *headway*, dan nilai-nilai ini akan digunakan pada seluruh perhitungan yang ada pada bab ini. Lalu sekarang, setelah semua nilai dari masing-masing variabel telah diperoleh, maka langkah selanjutnya adalah mencari nilai *headway* untuk strategi tidak terkoordinasi ini. Seperti yang telah dibahas pada bab-bab sebelumnya, *headway* adalah waktu interval antara dua truk/kendaraan berangkat baik dari *supplier* maupun dari gudang *cross-docking*. Pada strategi ini, nilai *headway* didapat menggunakan rumus sebagai berikut untuk kendaraan *inbound* (h_i^a):

$$h_i^a = \sqrt{\frac{2t_i^a B_i^a}{vQ_i}} \quad (4.5)$$

Dengan memasukkan nilai *delivery times* untuk rute *inbound* (t_i^a), biaya operasional linear per unit untuk kendaraan *inbound* (B_i^a), *unit inventory carrying cost* (v), dan total *shipping quantity* pada rute *inbound* (Q_i), maka akan diperoleh nilai *headway* untuk tiap rute *inbound* sebagai berikut:

Tabel 4.8 Nilai *Headway* untuk Tiap Rute *Inbound* (h_i^a)

Inbound	Headway (hour)	Inbound	Headway (hour)	Inbound	Headway (hour)	Inbound	Headway (hour)
1	276.6759599	45	115.3818513	89	295.7790426	133	142.8748513
2	24.7776416	46	24.74665016	90	93.53354587	134	90.36199011
3	295.7790426	47	553.3519198	91	142.8748513	135	553.3519198
4	17.77164029	48	120.7512885	92	782.5577897	136	195.6394474
5	295.7790426	49	54.79000438	93	184.4506399	137	39.12788948
6	349.9704828	50	39.12788948	94	75.65271701	138	55.33519198
7	319.4778798	51	235.9500514	95	123.7332508	139	31.94778798
8	451.8099505	52	106.4926266	96	33.36837627	140	159.7389399
9	319.4778798	53	101.0277762	97	138.3379799	141	170.7681099
10	28.65147635	54	83.42094068	98	391.2788948	142	202.0555525
11	94.2088871	55	27.32810343	99	319.4778798	143	391.2788948
12	202.0555525	56	142.8748513	100	55.33519198	144	159.7389399
13	23.77947108	57	38.1849102	101	45.25648549	145	202.0555525
14	42.75569943	58	18.41439886	102	134.2075537	146	195.6394474
15	46.85050939	59	25.20448929	103	36.84920714	147	53.24631331
16	73.94476065	60	44.66293212	104	138.3379799	148	260.8525966
17	17.95310696	61	132.2764091	105	59.49676701	149	159.7389399

Tabel 4.8 Nilai *Headway* untuk Tiap Rute *Inbound* (h_i^d) (Sambungan)

Inbound	Headway (hour)	Inbound	Headway (hour)	Inbound	Headway (hour)	Inbound	Headway (hour)
18	9.706434775	62	15.66683047	106	170.7681099	150	782.5577897
19	156.5115579	63	125.3095341	107	138.3379799	151	47.10444355
20	319.4778798	64	150.6033168	108	14.28748513	152	90.36199011
21	30.78932443	65	159.7389399	109	209.1473667	153	17.1628408
22	184.4506399	66	184.4506399	110	349.9704828	154	159.7389399
23	38.41425106	67	102.7548719	111	260.8525966	155	61.03496798
24	50.30471998	68	17.8826563	112	96.32620511	156	349.9704828
25	21.695905	69	184.4506399	113	39.44973139	157	39.47481866
26	43.34186737	70	451.8099505	114	33.55188843	158	95.60465034
27	209.1473667	71	15.66369176	115	184.4506399	159	93.53354587
28	553.3519198	72	58.16706242	116	8.050085899	160	103.6523114
29	28.84546283	73	148.7687929	117	10.78697653	161	15.30899615
30	225.9049753	74	391.2788948	118	70.56085963	162	209.1473667
31	553.3519198	75	37.73083002	119	83.32158212	163	391.2788948
32	553.3519198	76	53.49454921	120	74.95544207	164	30.69444185
33	153.4722092	77	319.4778798	121	110.670384	165	17.95310696
34	451.8099505	78	112.9524876	122	30.67085795	166	349.9704828
35	78.45215514	79	235.9500514	123	105.5200708	167	82.48883387
36	319.4778798	80	349.9704828	124	39.52513713	168	115.3818513
37	112.9524876	81	60.01944264	125	5.809809181	169	147.8895213
38	30.48412344	82	553.3519198	126	27.53028697	170	247.4665016
39	64.76494349	83	225.9049753	127	553.3519198	171	23.57358434
40	28.82588667	84	184.4506399	128	782.5577897	172	553.3519198
41	10.36523114	85	47.89175897	129	130.4262983	173	106.4926266
42	28.68996055	86	195.6394474	130	68.11291284	174	77.86741042
43	74.27709832	87	78.25577897	131	391.2788948	175	174.9852414
44	95.60465034	88	391.2788948	132	195.6394474	176	38.74238364

Sedangkan nilai *headway* untuk tiap rute *outbound* dapat diperoleh menggunakan formula sebagai berikut:

$$h_j^d = \sqrt{\frac{t_j^d B_j^d}{v Q_j}} \quad (4.6)$$

Mirip dengan cara sebelumnya, dengan memasukkan nilai *delivery times* untuk rute *outbound* (t_j^d), biaya operasional linear per unit untuk kendaraan *outbound* (B_j^d), *unit inventory carrying cost* (v), dan total *shipping quantity* pada

rute *outbound* (Q_j), maka didapatkan nilai *headway* untuk tiap rute *outbound* (h_j^d) sebagai berikut:

Tabel 4.9 Nilai *Headway* untuk Tiap Rute *Outbound* (h_j^d)

Outbound	Headway (hour)	Outbound	Headway (hour)
1	23.82106541	11	18.05582276
2	36.37432574	12	-
3	28.32665831	13	30.20064552
4	20.23593512	14	38.55016935
5	32.64690334	15	29.83659327
6	27.57208785	16	17.08975693
7	31.11884475	17	27.86568841
8	32.18941898	18	28.84836398
9	23.17530951	19	29.71668735
10	38.86945094	20	31.67863834

4.1.2 Menghitung Biaya Operasional Kendaraan

Komponen biaya pertama yang akan kita hitung disini adalah biaya operasional kendaraan (*vehicle operating cost*). Total biaya operasional kendaraan yang dilambangkan oleh C_B atau dalam hal ini C_{Btotal} , merupakan penjumlahan dari biaya operasional kendaraan *inbound* ($C_{Binbound}$) dan biaya operasional kendaraan *outbound* ($C_{Boutbound}$), yang juga dapat dijabarkan dengan formula sebagai berikut:

$$C_{Btotal} = C_{Binbound} + C_{Boutbound} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i^a B_i^a}{h_i^a} + \sum_{j=1}^m \frac{t_j^d B_j^d}{h_j^d} \quad (4.7)$$

Dari rumus diatas, dapat diketahui bahwa dengan memasukkan nilai *delivery times* untuk rute *inbound* (t_i^a), biaya operasional linear per unit untuk kendaraan *inbound* (B_i^a), dan nilai *headway* untuk rute *inbound* (h_i^a), yang kesemuanya telah berhasil didapat dari perhitungan *headway* pada sub-bab sebelumnya, maka akan diperoleh nilai biaya operasional kendaraan untuk tiap rute *inbound* ($C_{Binbound}$), yang dapat dijabarkan secara rinci pada tiap rute sebagai berikut:

Tabel 4.10 Biaya Operasional Kendaraan *Inbound* ($C_{\beta inbound}$)

Inbound	Operating Cost	Inbound	Operating Cost	Inbound	Operating Cost	Inbound	Operating Cost
1	Rp9,683.66	45	Rp23,220.60	89	Rp9,058.23	133	Rp18,752.32
2	Rp108,131.18	46	Rp108,266.59	90	Rp28,644.65	134	Rp29,650.03
3	Rp9,058.23	47	Rp4,841.83	91	Rp18,752.32	135	Rp4,841.83
4	Rp150,759.05	48	Rp22,188.05	92	Rp3,423.69	136	Rp13,694.76
5	Rp9,058.23	49	Rp48,900.08	93	Rp14,525.49	137	Rp68,473.81
6	Rp7,655.60	50	Rp68,473.81	94	Rp35,414.93	138	Rp48,418.29
7	Rp8,386.29	51	Rp11,355.10	95	Rp21,653.32	139	Rp83,862.94
8	Rp5,930.01	52	Rp25,158.88	96	Rp80,292.66	140	Rp16,772.59
9	Rp8,386.29	53	Rp26,519.79	97	Rp19,367.32	141	Rp15,689.32
10	Rp93,511.26	54	Rp32,117.06	98	Rp6,847.38	142	Rp13,259.90
11	Rp28,439.31	55	Rp98,039.57	99	Rp8,386.29	143	Rp6,847.38
12	Rp13,259.90	56	Rp18,752.32	100	Rp48,418.29	144	Rp16,772.59
13	Rp112,670.11	57	Rp70,164.77	101	Rp59,201.14	145	Rp13,259.90
14	Rp62,663.82	58	Rp145,496.77	102	Rp19,963.37	146	Rp13,694.76
15	Rp57,186.90	59	Rp106,299.93	103	Rp72,708.09	147	Rp50,317.77
16	Rp36,232.93	60	Rp59,987.90	104	Rp19,367.32	148	Rp10,271.07
17	Rp149,235.20	61	Rp20,254.83	105	Rp45,031.62	149	Rp16,772.59
18	Rp276,026.74	62	Rp171,013.25	106	Rp15,689.32	150	Rp3,423.69
19	Rp17,118.45	63	Rp21,380.94	107	Rp19,367.32	151	Rp56,878.62
20	Rp8,386.29	64	Rp17,790.02	108	Rp187,523.24	152	Rp29,650.03
21	Rp87,018.33	65	Rp16,772.59	109	Rp12,810.28	153	Rp156,106.76
22	Rp14,525.49	66	Rp14,525.49	110	Rp7,655.60	154	Rp16,772.59
23	Rp69,745.87	67	Rp26,074.05	111	Rp10,271.07	155	Rp43,896.73
24	Rp53,260.12	68	Rp149,823.13	112	Rp27,814.19	156	Rp7,655.60
25	Rp123,490.38	69	Rp14,525.49	113	Rp67,915.18	157	Rp67,872.02
26	Rp61,816.34	70	Rp5,930.01	114	Rp79,853.49	158	Rp28,024.11
27	Rp12,810.28	71	Rp171,047.51	115	Rp14,525.49	159	Rp28,644.65
28	Rp4,841.83	72	Rp46,061.04	116	Rp332,820.74	160	Rp25,848.30
29	Rp92,882.39	73	Rp18,009.39	117	Rp248,376.88	161	Rp175,010.53
30	Rp11,860.01	74	Rp6,847.38	118	Rp37,970.56	162	Rp12,810.28
31	Rp4,841.83	75	Rp71,009.19	119	Rp32,155.36	163	Rp6,847.38
32	Rp4,841.83	76	Rp50,084.27	120	Rp35,744.38	164	Rp87,287.32
33	Rp17,457.46	77	Rp8,386.29	121	Rp24,209.15	165	Rp149,235.20
34	Rp5,930.01	78	Rp23,720.02	122	Rp87,354.44	166	Rp7,655.60
35	Rp34,151.20	79	Rp11,355.10	123	Rp25,390.77	167	Rp32,479.98
36	Rp8,386.29	80	Rp7,655.60	124	Rp67,785.61	168	Rp23,220.60
37	Rp23,720.02	81	Rp44,639.46	125	Rp461,157.23	169	Rp18,116.47
38	Rp87,889.54	82	Rp4,841.83	126	Rp97,319.56	170	Rp10,826.66
39	Rp41,368.61	83	Rp11,860.01	127	Rp4,841.83	171	Rp113,654.14

Tabel 4.10 Biaya Operasional Kendaraan *Inbound* ($C_{Binbound}$) (Sambungan)

Inbound	Operating Cost	Inbound	Operating Cost	Inbound	Operating Cost	Inbound	Operating Cost
40	Rp92,945.47	84	Rp14,525.49	128	Rp3,423.69	172	Rp4,841.83
41	Rp258,482.95	85	Rp55,943.56	129	Rp20,542.14	173	Rp25,158.88
42	Rp93,385.82	86	Rp13,694.76	130	Rp39,335.21	174	Rp34,407.66
43	Rp36,070.82	87	Rp34,236.90	131	Rp6,847.38	175	Rp15,311.21
44	Rp28,024.11	88	Rp6,847.38	132	Rp13,694.76	176	Rp69,155.15

Secara singkat, total biaya dari seluruh rute *inbound* tersebut dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$C_{Binbound} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i^a B_i^a}{h_i^a} = \mathbf{Rp8,555,759.31} \quad (4.8)$$

Dengan menggunakan rumus untuk mendapatkan $C_{Boutbound}$ yang telah diungkapkan sebelumnya, maka digunakanlah nilai *delivery times* untuk rute *outbound* (t_j^d), biaya operasional linear per unit untuk kendaraan *outbound* (B_j^d), dan nilai *headway* untuk rute *outbound* (h_j^d), untuk mencari nilai biaya operasional kendaraan pada tiap rute *outbound* yang dapat dijabarkan secara rinci pada tabel berikut:

Tabel 4.11 Biaya Operasional Kendaraan *Outbound* ($C_{Boutbound}$)

Outbound	Operating Cost	Outbound	Operating Cost
1	Rp1,285,554.12	11	Rp1,696,032.86
2	Rp841,892.41	12	-
3	Rp1,081,075.94	13	Rp1,013,993.85
4	Rp1,513,311.27	14	Rp794,374.43
5	Rp938,014.50	15	Rp1,026,366.13
6	Rp1,110,661.94	16	Rp1,791,907.80
7	Rp984,074.73	17	Rp1,098,959.70
8	Rp951,345.80	18	Rp1,061,525.32
9	Rp1,321,374.75	19	Rp1,030,507.48
10	Rp787,849.27	20	Rp966,685.13

Dengan menjumlahkan semua nilai biaya operasional kendaraan pada rute *outbound* diatas, maka akan didapat nilai $C_{Boutbound}$ sebagai berikut:

$$C_{B\text{outbound}} = \sum_{j=1}^m \frac{t_{jB}^d}{h_j^d} = \text{Rp}21,295,507.42 \quad (4.9)$$

Selanjutnya, dengan melakukan penjumlahan pada kedua komponen biaya operasional untuk rute *inbound* dan *outbound* tersebut, didapatkan hasil total biaya operasional kendaraan ($C_{B\text{total}}$) sebagai berikut:

$$C_{B\text{total}} = C_{B\text{inbound}} + C_{B\text{outbound}} = \text{Rp}8,555,759.31 + \text{Rp}21,295,507.42 = \text{Rp}29,851,266.73 \quad (4.10)$$

4.1.3 Menghitung Biaya Inventori

Selanjutnya, komponen biaya berikutnya yang akan dihitung adalah biaya inventori. Total biaya inventori yang dilambangkan oleh C_I merupakan penjumlahan dari biaya inventori pada daerah asal pengiriman (C_i^a) dan biaya inventori pada daerah tujuan pengiriman (C_i^d), yang dijabarkan dengan rumus sebagai berikut:

$$C_I = C_I^a + C_I^d = v \sum_{i=1}^n \frac{h_i^a Q_i}{2} + v \sum_{j=1}^m \frac{h_j^d Q_j}{2} \quad (4.11)$$

Dari rumus diatas diketahui bahwa dengan memasukkan nilai *unit inventory carrying cost* (v), nilai *headway* untuk rute *inbound* (h_i^a), dan total *shipping quantity* pada rute *inbound* (Q_i), maka akan didapatkan nilai perhitungan biaya inventori pada daerah asal pengiriman dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 4.12 Biaya Inventori pada Daerah Asal Pengiriman (C_i^a)

Inbound	Inventory Cost	Inbound	Inventory Cost	Inbound	Inventory Cost	Inbound	Inventory Cost
1	Rp9,683.66	45	Rp23,220.60	89	Rp9,058.23	133	Rp18,752.32
2	Rp108,131.18	46	Rp108,266.59	90	Rp28,644.65	134	Rp29,650.03
3	Rp9,058.23	47	Rp4,841.83	91	Rp18,752.32	135	Rp4,841.83
4	Rp150,759.05	48	Rp22,188.05	92	Rp3,423.69	136	Rp13,694.76
5	Rp9,058.23	49	Rp48,900.08	93	Rp14,525.49	137	Rp68,473.81
6	Rp7,655.60	50	Rp68,473.81	94	Rp35,414.93	138	Rp48,418.29
7	Rp8,386.29	51	Rp11,355.10	95	Rp21,653.32	139	Rp83,862.94
8	Rp5,930.01	52	Rp25,158.88	96	Rp80,292.66	140	Rp16,772.59
9	Rp8,386.29	53	Rp26,519.79	97	Rp19,367.32	141	Rp15,689.32
10	Rp93,511.26	54	Rp32,117.06	98	Rp6,847.38	142	Rp13,259.90
11	Rp28,439.31	55	Rp98,039.57	99	Rp8,386.29	143	Rp6,847.38

Tabel 4.12 Biaya Inventori pada Daerah Asal Pengiriman (C_i^a) (Sambungan)

Inbound	Inventory Cost	Inbound	Inventory Cost	Inbound	Inventory Cost	Inbound	Inventory Cost
12	Rp13,259.90	56	Rp18,752.32	100	Rp48,418.29	144	Rp16,772.59
13	Rp112,670.11	57	Rp70,164.77	101	Rp59,201.14	145	Rp13,259.90
14	Rp62,663.82	58	Rp145,496.77	102	Rp19,963.37	146	Rp13,694.76
15	Rp57,186.90	59	Rp106,299.93	103	Rp72,708.09	147	Rp50,317.77
16	Rp36,232.93	60	Rp59,987.90	104	Rp19,367.32	148	Rp10,271.07
17	Rp149,235.20	61	Rp20,254.83	105	Rp45,031.62	149	Rp16,772.59
18	Rp276,026.74	62	Rp171,013.25	106	Rp15,689.32	150	Rp3,423.69
19	Rp17,118.45	63	Rp21,380.94	107	Rp19,367.32	151	Rp56,878.62
20	Rp8,386.29	64	Rp17,790.02	108	Rp187,523.24	152	Rp29,650.03
21	Rp87,018.33	65	Rp16,772.59	109	Rp12,810.28	153	Rp156,106.76
22	Rp14,525.49	66	Rp14,525.49	110	Rp7,655.60	154	Rp16,772.59
23	Rp69,745.87	67	Rp26,074.05	111	Rp10,271.07	155	Rp43,896.73
24	Rp53,260.12	68	Rp149,823.13	112	Rp27,814.19	156	Rp7,655.60
25	Rp123,490.38	69	Rp14,525.49	113	Rp67,915.18	157	Rp67,872.02
26	Rp61,816.34	70	Rp5,930.01	114	Rp79,853.49	158	Rp28,024.11
27	Rp12,810.28	71	Rp171,047.51	115	Rp14,525.49	159	Rp28,644.65
28	Rp4,841.83	72	Rp46,061.04	116	Rp332,820.74	160	Rp25,848.30
29	Rp92,882.39	73	Rp18,009.39	117	Rp248,376.88	161	Rp175,010.53
30	Rp11,860.01	74	Rp6,847.38	118	Rp37,970.56	162	Rp12,810.28
31	Rp4,841.83	75	Rp71,009.19	119	Rp32,155.36	163	Rp6,847.38
32	Rp4,841.83	76	Rp50,084.27	120	Rp35,744.38	164	Rp87,287.32
33	Rp17,457.46	77	Rp8,386.29	121	Rp24,209.15	165	Rp149,235.20
34	Rp5,930.01	78	Rp23,720.02	122	Rp87,354.44	166	Rp7,655.60
35	Rp34,151.20	79	Rp11,355.10	123	Rp25,390.77	167	Rp32,479.98
36	Rp8,386.29	80	Rp7,655.60	124	Rp67,785.61	168	Rp23,220.60
37	Rp23,720.02	81	Rp44,639.46	125	Rp461,157.23	169	Rp18,116.47
38	Rp87,889.54	82	Rp4,841.83	126	Rp97,319.56	170	Rp10,826.66
39	Rp41,368.61	83	Rp11,860.01	127	Rp4,841.83	171	Rp113,654.14
40	Rp92,945.47	84	Rp14,525.49	128	Rp3,423.69	172	Rp4,841.83
41	Rp258,482.95	85	Rp55,943.56	129	Rp20,542.14	173	Rp25,158.88
42	Rp93,385.82	86	Rp13,694.76	130	Rp39,335.21	174	Rp34,407.66
43	Rp36,070.82	87	Rp34,236.90	131	Rp6,847.38	175	Rp15,311.21
44	Rp28,024.11	88	Rp6,847.38	132	Rp13,694.76	176	Rp69,155.15

Kemudian, dengan menjumlahkan seluruh biaya diatas maka akan didapat total biaya inventori pada daerah asal pengiriman (C_i^a) sebagai berikut:

$$C_I^a = v \sum_{i=1}^n \frac{h_i^a Q_i}{2} = \mathbf{Rp8,555,759.31} \quad (4.12)$$

Selanjutnya, dengan memasukkan nilai *unit inventory carrying cost* (v), nilai *headway* untuk rute *outbound* (h_j^d), dan total *shipping quantity* pada rute *outbound* (Q_j), maka akan diperoleh nilai biaya inventori pada daerah tujuan pengiriman (C_i^d) dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 4.13 Biaya Inventori pada Daerah Tujuan Pengiriman (C_i^d)

Outbound	Inventory Cost	Outbound	Inventory Cost
1	Rp642,777.06	11	Rp848,016.43
2	Rp420,946.20	12	-
3	Rp540,537.97	13	Rp506,996.92
4	Rp756,655.64	14	Rp397,187.21
5	Rp469,007.25	15	Rp513,183.06
6	Rp555,330.97	16	Rp895,953.90
7	Rp492,037.36	17	Rp549,479.85
8	Rp475,672.90	18	Rp530,762.66
9	Rp660,687.37	19	Rp515,253.74
10	Rp393,924.64	20	Rp483,342.57

Lalu, dengan menjumlahkan seluruh biaya inventori pada tiap daerah tujuan diatas, dapat diperoleh total biaya inventori C_i^d sebagai berikut:

$$C_I^d = v \sum_{j=1}^m \frac{h_j^d Q_j}{2} = \mathbf{Rp10,647,753.71} \quad (4.13)$$

Kemudian kembali pada formula awal, untuk mencari nilai total biaya inventori (C_i), maka baik biaya inventori pada daerah asal pengiriman maupun biaya inventori pada daerah akhir tujuan pengiriman harus dijumlahkan. Oleh karena itu, berikut adalah rinciannya dengan hasil akhir sebagai berikut:

$$C_I = C_I^a + C_I^d = \text{Rp}8,555,759.31 + \text{Rp}10,647,753.71 = \mathbf{Rp19,203,513.02} \quad (4.14)$$

Selanjutnya perlu diketahui juga bahwa baik biaya inventori maupun biaya operasional kendaraan, keduanya termasuk dalam kategori *non-transshipment waiting cost*, atau bisa disingkat sebagai *non-transshipment cost*. Oleh karena itu, bila total biaya inventori ini digabungkan dengan total biaya operasional kendaraan yang telah dihitung pada sub-bab sebelumnya, maka akan didapat nilai *non-transshipment cost* sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Non - transshipment Cost} &= C_B + C_I = \text{Rp}29,851,266.73 + \\ &\text{Rp}19,203,513.02 = \mathbf{\text{Rp}49,054,779.75} \end{aligned} \quad (4.15)$$

4.1.4 Menghitung Biaya Tunggu Perpindahan

Kemudian, komponen biaya ketiga yang akan dihitung selanjutnya adalah biaya waktu tunggu perpindahan (*transshipment waiting cost*). *Transshipment waiting cost* yang dilambangkan oleh C_w dapat dijabarkan dengan rumus sebagai berikut:

$$C_w = v \sum_{j=1}^m \frac{h_j^d Q_j}{2} \quad (4.16)$$

Formula tersebut sama dengan formula untuk mendapatkan nilai biaya inventori untuk rute *outbound* (C_i^d). Oleh karena itu, nilai *transshipment waiting cost* (C_w) dapat langsung diperoleh melalui perhitungan sebelumnya sebagai berikut:

$$C_w = C_i^d = \mathbf{\text{Rp}10,647,753.71} \quad (4.17)$$

4.1.5 Menghitung Total Biaya pada Sistem

Langkah terakhir adalah perhitungan total biaya pada sistem. Total biaya pada sistem yang dilambangkan dengan C_T dapat dihitung melalui rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_T &= C_B + C_I + C_w = \text{Rp}29,851,266.73 + \text{Rp}19,203,513.02 + \\ &\text{Rp}10,647,753.71 = \mathbf{\text{Rp}59,702,533.46} \end{aligned} \quad (4.18)$$

4.2 Strategi Terkoordinasi dengan Satu Headway yang Sama

Strategi ini adalah strategi dimana baik kendaraan *inbound* maupun kendaraan *outbound* hanya akan menggunakan satu *headway* yang sama (*common headway*). Kelebihan dari strategi ini adalah tidak adanya waktu tunggu untuk produk yang datang ke terminal *cross-docking*. Hal ini dapat terjadi karena produk yang masuk dapat langsung dikirim ke kendaraan *outbound* secepatnya melalui proses penanganan yang sesuai (*appropriate handling process*). Oleh karena itu, biaya tunggu perpindahan (*transshipping waiting cost*) dapat dihilangkan.

Sama halnya dengan strategi tak terkoordinasi, pada strategi ini juga akan dibahas mengenai nilai *headway* yang digunakan, beserta biaya-biaya yang terkait

seperti biaya operasional kendaraan, biaya inventori, dan total biaya pada sistem. Biaya tunggu perpindahan tidak akan dihitung lagi karena dianggap nol. Kemudian, rincian perhitungan *headway* dan biaya-biaya tadi akan dibahas pada subbab-subbab selanjutnya.

4.2.1 Mencari Nilai *Headway*

Seperti yang sudah diungkapkan sebelumnya, pada strategi ini, tiap kendaraan hanya akan menggunakan satu *headway* saja. Oleh karena itu, disini hanya akan diperoleh satu nilai *headway* dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n t_i^a B_i^a + \sum_{j=1}^m t_j^d B_j^d}{v \sum_{i=1}^n Q_i}} \quad (4.19)$$

Selanjutnya, dengan memasukkan nilai *delivery times* untuk rute *inbound* dan *outbound* (t_i^a dan t_j^d), biaya operasional linear per unit untuk kendaraan *inbound* dan *outbound* (B_i^a dan B_j^d), *unit inventory carrying cost* (v), dan total *shipping quantity* pada rute *inbound* (Q_i), maka akan diperoleh nilai *headway* sebagai berikut:

$$h = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n t_i^a B_i^a + \sum_{j=1}^m t_j^d B_j^d}{v \sum_{i=1}^n Q_i}} = 35.70399504 \text{ hr} \quad (4.20)$$

4.2.2 Menghitung Biaya Operasional Kendaraan

Seperti halnya pada strategi pertama, perhitungan komponen biaya yang akan dilakukan pertama kali adalah biaya operasional kendaraan (C_B). Nilai ini dapat diperoleh melalui formula sebagai berikut:

$$C_B = \sqrt{v \left[\sum_{i=1}^n t_i^a B_i^a + \sum_{j=1}^m t_j^d B_j^d \right] \sum_{i=1}^n Q_i} \quad (4.21)$$

Menggunakan rumus tersebut, lalu memasukkan nilai *unit inventory carrying cost* (v), *delivery times* untuk rute *inbound* dan *outbound* (t_i^a dan t_j^d), biaya operasional linear per unit untuk kendaraan *inbound* dan *outbound* (B_i^a dan B_j^d), beserta total *shipping quantity* pada rute *inbound* (Q_i) kedalamnya, maka akan didapat hasil sebagai berikut:

$$C_B = \sqrt{v [\sum_{i=1}^n t_i^a B_i^a + \sum_{j=1}^m t_j^d B_j^d]} \sum_{i=1}^n Q_i = \mathbf{Rp29,503,352.74}$$

(4.22)

4.2.3 Menghitung Biaya Inventori

Komponen biaya yang akan dihitung selanjutnya adalah biaya inventori (C_I), dimana formula untuk mendapatkan biaya ini dapat dijabarkan sebagai berikut:

$$C_I = \sqrt{v [\sum_{i=1}^n t_i^a B_i^a + \sum_{j=1}^m t_j^d B_j^d]} \sum_{i=1}^n Q_i$$

(4.23)

Bila diperhatikan, rumus untuk mendapatkan biaya inventori ini sama atau tidak berbeda dengan rumus untuk mendapatkan biaya operasional kendaraan yang telah dibahas pada sub-bab sebelumnya. Oleh karena itu, didapatlah biaya inventori sebagai berikut:

$$C_I = \sqrt{v [\sum_{i=1}^n t_i^a B_i^a + \sum_{j=1}^m t_j^d B_j^d]} \sum_{i=1}^n Q_i = \mathbf{Rp29,503,352.74}$$

(4.24)

4.2.4 Menghitung Total Biaya pada Sistem

Langkah terakhir adalah perhitungan total biaya pada sistem untuk strategi menggunakan *headway* yang sama ini. Pada strategi ini, total biaya pada sistem (C_T) adalah penjumlahan dari semua biaya yang telah dihitung sebelumnya, yaitu biaya operasional kendaraan (C_B) dan biaya inventori (C_I), yang dijabarkan dalam bentuk matematis sebagai berikut:

$$C_T = C_B + C_I$$

(4.25)

Dengan memasukkan nilai biaya yang telah didapat sebelumnya, maka akan didapat total nilai biaya pada sistem sebagai berikut:

$$C_T = C_B + C_I = \mathbf{Rp29,503,352.74 + Rp29,503,352.74 =}$$

$$\mathbf{Rp59,006,705.47}$$

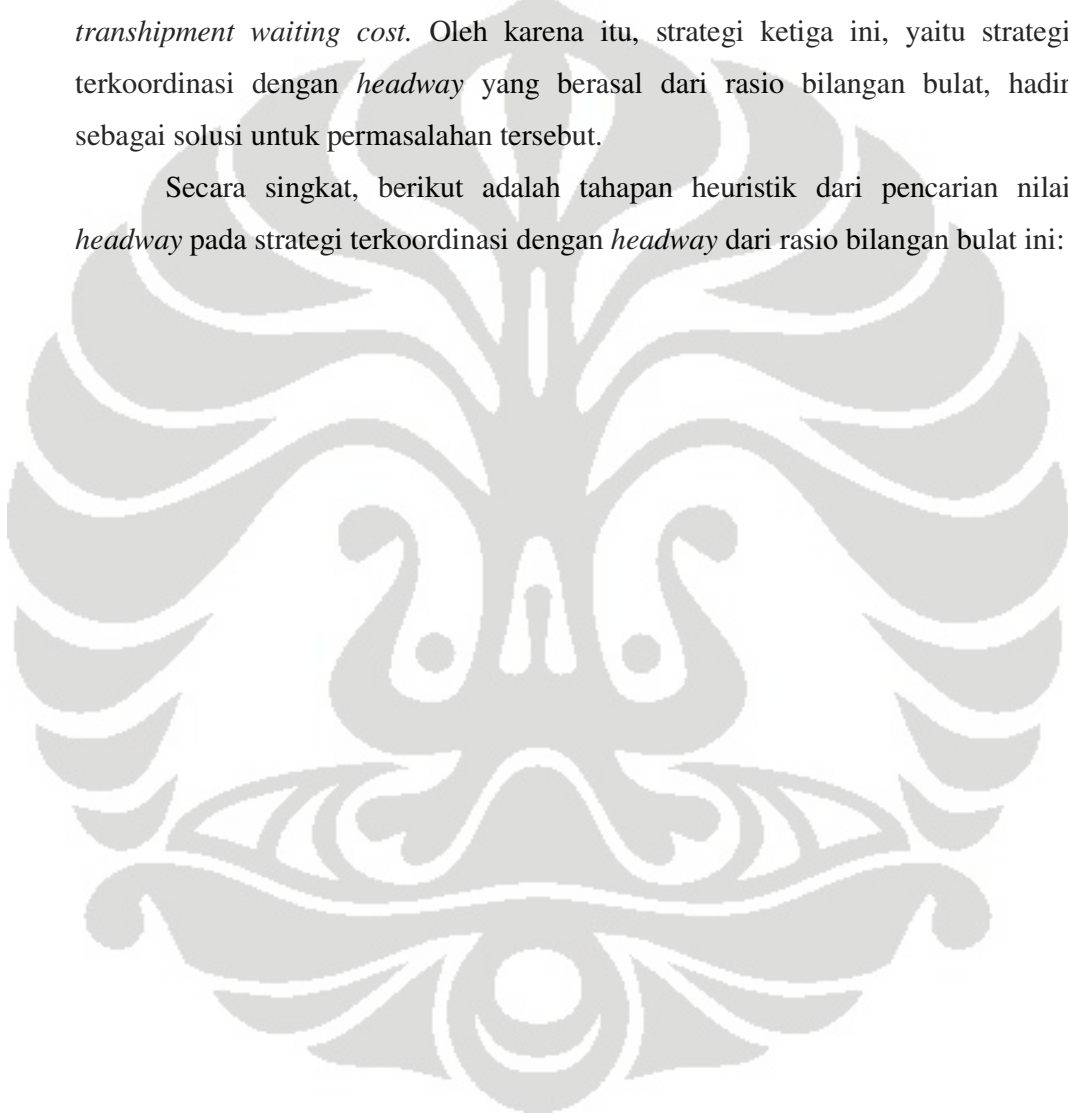
(4.26)

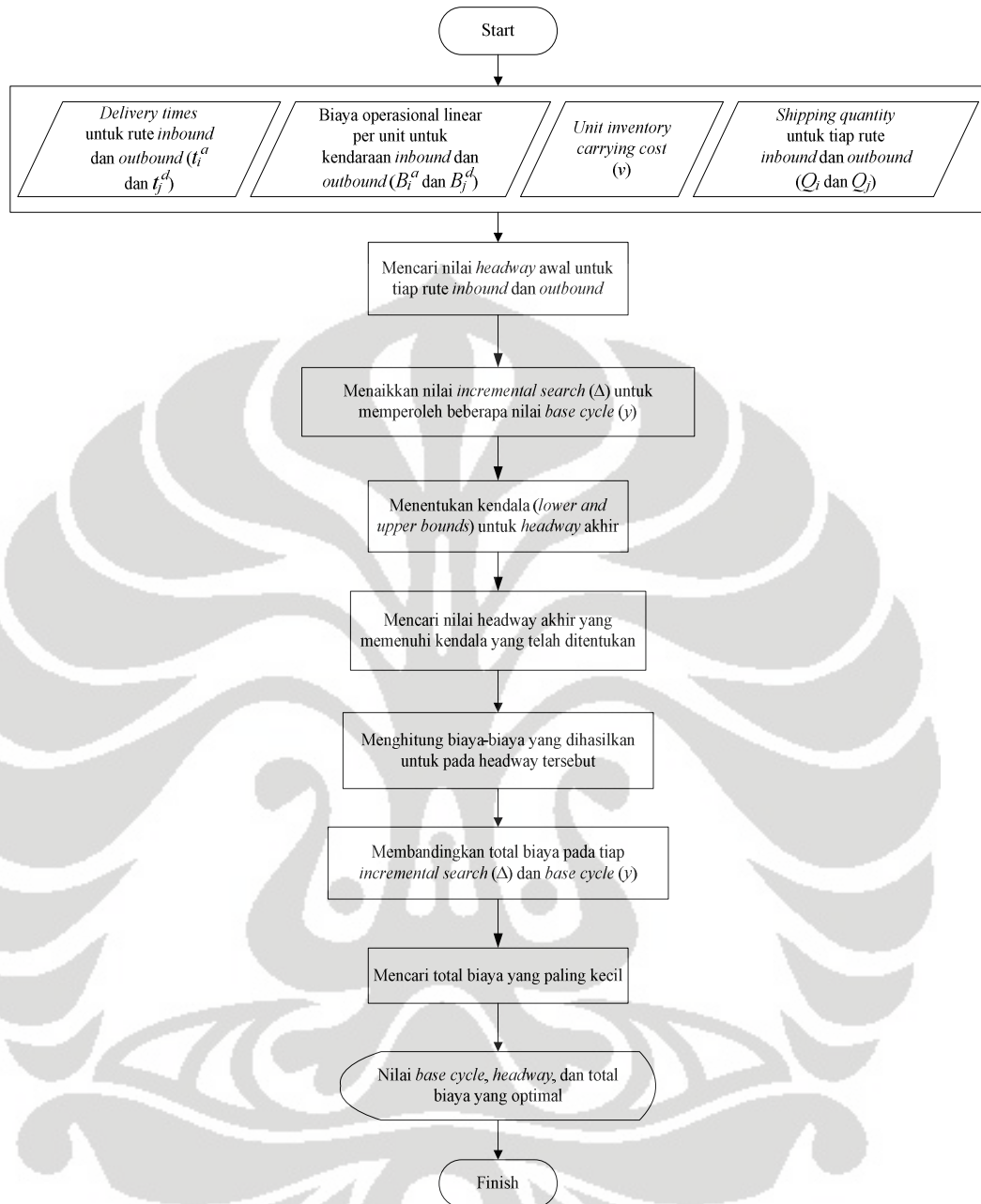
Bila dibandingkan dengan total biaya pada strategi pertama, tampak bahwa strategi ini menghasilkan total biaya yang lebih kecil.

4.3 Strategi Terkoordinasi dengan *Headway* dari Rasio Bilangan Bulat

Walau strategi terkoordinasi dengan menggunakan *headway* yang sama dapat mengurangi *transshipment waiting cost* menjadi nol, namun bila strategi ini dipaksakan pada rute *inbound* dan *outbound* yang *demand* atau *shipping quantity*-nya jauh berbeda, maka bisa jadi biaya operasional dan biaya inventori mengalami peningkatan yang melebihi pengurangan yang terjadi akibat tiadanya *transshipment waiting cost*. Oleh karena itu, strategi ketiga ini, yaitu strategi terkoordinasi dengan *headway* yang berasal dari rasio bilangan bulat, hadir sebagai solusi untuk permasalahan tersebut.

Secara singkat, berikut adalah tahapan heuristik dari pencarian nilai *headway* pada strategi terkoordinasi dengan *headway* dari rasio bilangan bulat ini:





Gambar 4.1 Algoritma Heuristik untuk Mencari Nilai *Headway* pada Strategi Terkoordinasi dengan Rasio Bilangan Bulat

Selanjutnya, pengolahan nilai *headway* untuk masing-masing rute beserta biaya operasional, biaya inventori, *transshipment waiting cost*, dan total biaya pada sistem, secara rinci akan dibahas pada subbab-subbab selanjutnya.

4.3.1 Mencari Nilai *Headway*

Tidak seperti dua strategi sebelumnya, khusus untuk strategi terakhir ini, nilai *headway* tidak akan bisa diperoleh dengan hanya menggunakan suatu formula tertentu saja. Awalnya untuk mendapatkan nilai-nilai *headway* ini, memang akan digunakan rumus yang hampir sama dengan pada strategi pertama, tapi selanjutnya nilai-nilai *headway* tersebut akan diolah sedemikian rupa hingga didapat hasil akhir yang berbentuk *integer* atau bilangan bulat. Keunikan strategi ini bila dibandingkan dengan dua strategi sebelumnya adalah penggunaan pendekatan secara heuristik untuk memperoleh nilai *headway* yang paling mendekati optimal.

Berikut adalah langkah-langkah yang diperlukan untuk mendapatkan nilai-nilai *headway* pada strategi ini:

- Langkah 1 – Memperoleh nilai *headway* awal untuk kendaraan *inbound* (h_i^a) dan *outbound* (h_j^d) secara independen menggunakan kedua persamaan berikut:

$$h_i^a = \sqrt{\frac{2t_i^a B_i^a}{vQ_i}} \quad h_j^d = \sqrt{\frac{2t_j^d B_j^d}{vQ_j}} \quad (4.27)$$

Persamaan diatas kemudian ditulis dalam bentuk *coding* menggunakan Microsoft Visual Basic sebagai berikut:

```

For i = 1 To 176
h_in(i) = ((2 * del_time_in * trans_rate_in) / (carrying_cost * (demand_in(i) / 24))) ^ 0.5
Next i

For i = 1 To 19
h_out(i) = ((2 * del_time_out * trans_rate_out) / (carrying_cost * (demand_out(i) / 24))) ^ 0.5
Next i

For i = 1 To 176
Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 20, 12).Value = h_in(i)
Next i

For i = 1 To 19
Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 20, 15).Value = h_out(i)
Next i

```

Gambar 4.2 *Coding* untuk Mencari Nilai *Headway* Awal

Setelah program dijalankan, maka akan didapat hasil sebagai berikut untuk rute *inbound*:

Tabel 4.14 Langkah Pertama dari Pencarian *Headway* pada Rute *Inbound* (h_i^d)

Inbound	Headway (hour)	Inbound	Headway (hour)	Inbound	Headway (hour)	Inbound	Headway (hour)
1	276.6759599	45	115.3818513	89	295.7790426	133	142.8748513
2	24.7776416	46	24.74665016	90	93.53354587	134	90.36199011
3	295.7790426	47	553.3519198	91	142.8748513	135	553.3519198
4	17.77164029	48	120.7512885	92	782.5577897	136	195.6394474
5	295.7790426	49	54.79000438	93	184.4506399	137	39.12788948
6	349.9704828	50	39.12788948	94	75.65271701	138	55.33519198
7	319.4778798	51	235.9500514	95	123.7332508	139	31.94778798
8	451.8099505	52	106.4926266	96	33.36837627	140	159.7389399
9	319.4778798	53	101.0277762	97	138.3379799	141	170.7681099
10	28.65147635	54	83.42094068	98	391.2788948	142	202.0555525
11	94.2088871	55	27.32810343	99	319.4778798	143	391.2788948
12	202.0555525	56	142.8748513	100	55.33519198	144	159.7389399
13	23.77947108	57	38.1849102	101	45.25648549	145	202.0555525
14	42.75569943	58	18.41439886	102	134.2075537	146	195.6394474
15	46.85050939	59	25.20448929	103	36.84920714	147	53.24631331
16	73.94476065	60	44.66293212	104	138.3379799	148	260.8525966
17	17.95310696	61	132.2764091	105	59.49676701	149	159.7389399
18	9.706434775	62	15.66683047	106	170.7681099	150	782.5577897
19	156.5115579	63	125.3095341	107	138.3379799	151	47.10444355
20	319.4778798	64	150.6033168	108	14.28748513	152	90.36199011
21	30.78932443	65	159.7389399	109	209.1473667	153	17.1628408
22	184.4506399	66	184.4506399	110	349.9704828	154	159.7389399
23	38.41425106	67	102.7548719	111	260.8525966	155	61.03496798
24	50.30471998	68	17.8826563	112	96.32620511	156	349.9704828
25	21.695905	69	184.4506399	113	39.44973139	157	39.47481866
26	43.34186737	70	451.8099505	114	33.55188843	158	95.60465034
27	209.1473667	71	15.66369176	115	184.4506399	159	93.53354587
28	553.3519198	72	58.16706242	116	8.050085899	160	103.6523114
29	28.84546283	73	148.7687929	117	10.78697653	161	15.30899615
30	225.9049753	74	391.2788948	118	70.56085963	162	209.1473667
31	553.3519198	75	37.73083002	119	83.32158212	163	391.2788948
32	553.3519198	76	53.49454921	120	74.95544207	164	30.69444185
33	153.4722092	77	319.4778798	121	110.670384	165	17.95310696
34	451.8099505	78	112.9524876	122	30.67085795	166	349.9704828

Tabel 4.14 Langkah Pertama dari Pencarian *Headway* pada Rute *Inbound* (h_i^a)
(Sambungan)

Inbound	Headway (hour)	Inbound	Headway (hour)	Inbound	Headway (hour)	Inbound	Headway (hour)
35	78.45215514	79	235.9500514	123	105.5200708	167	82.48883387
36	319.4778798	80	349.9704828	124	39.52513713	168	115.3818513
37	112.9524876	81	60.01944264	125	5.809809181	169	147.8895213
38	30.48412344	82	553.3519198	126	27.53028697	170	247.4665016
39	64.76494349	83	225.9049753	127	553.3519198	171	23.57358434
40	28.82588667	84	184.4506399	128	782.5577897	172	553.3519198
41	10.36523114	85	47.89175897	129	130.4262983	173	106.4926266
42	28.68996055	86	195.6394474	130	68.11291284	174	77.86741042
43	74.27709832	87	78.25577897	131	391.2788948	175	174.9852414
44	95.60465034	88	391.2788948	132	195.6394474	176	38.74238364

Kemudian, berikut adalah nilai *headway* awal untuk rute *outbound*:

Tabel 4.15 Langkah Pertama dari Pencarian *Headway* pada Rute *Outbound* (h_j^d)

Outbound	Headway (hour)	Outbound	Headway (hour)
1	33.68807377	11	25.53478942
2	51.44106479	12	-
3	40.05994436	13	42.71016248
4	28.61793389	14	54.51817233
5	46.16969347	15	42.19531485
6	38.99282057	16	24.16856603
7	44.00869229	17	39.40803447
8	45.52271289	18	40.7977476
9	32.77483702	19	42.02574228
10	54.96970468	20	44.80035998

- Langkah 2 – Memilih Δ dan *base cycle* y menggunakan persamaan berikut dengan memasukkan nilai *headway* minimal (h_{min}) yang ditemukan pada langkah 1:

$$y = \left\lfloor \frac{h_{min}}{\Delta} \right\rfloor * \Delta \quad (4.28)$$

Nilai $\lfloor x \rfloor$ disini adalah suatu *integer* (bilangan bulat) terbesar yang kurang atau sama dengan x , dan Δ adalah nilai pencarian inkremental (*searching*

increment). Tampak bahwa dari seluruh nilai *headway* yang didapat pada langkah 1, nilai *headway* yang paling kecil (h_{min}) adalah *headway inbound* untuk rute ke-125 yang sebesar 5.809809181 jam.

Selanjutnya, nilai h_{min} tersebut dimasukkan ke dalam persamaan diatas dalam bentuk *coding* untuk mencari nilai *base cycle* y . Untuk itu, digunakan beberapa nilai pencarian inkremental (Δ) yang berbeda, dimulai dari 0.1, 0.2, 0.3, dan seterusnya hingga 2. Berikut adalah *coding*-nya:

```

incremental = 0.1
kolom = 19

Do

y = Int((h_min / incremental)) * incremental

Worksheets("IntegerRatio").Cells(20, kolom).Value = incremental
Worksheets("IntegerRatio").Cells(21, kolom).Value = y

incremental = incremental + 0.1
kolom = kolom + 10

Loop Until incremental > 2.1

```

Gambar 4.3 Coding untuk Mencari Nilai Base Cycle y

Setelah program dijalankan, maka akan didapat hasil sebagai berikut:

Tabel 4.16 Pencarian Base Cycle (y) dengan beberapa Nilai Incremental Search (Δ) yang Berbeda

Δ (hr)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
base cycle y	5.8	5.8	5.7	5.6	5.5	5.4	5.6	5.6	5.4	5
Δ (hr)	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
base cycle y	5.5	4.8	5.2	5.6	4.5	4.8	5.1	5.4	5.7	4

- Langkah 3 – Menentukan batasan antar *cluster* pada *headway* menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned}
 0 < h_i^a &\leq \sqrt{1 * 2y} & h_i^a &= y \\
 \sqrt{1 * 2y} < h_i^a &\leq \sqrt{2 * 3y} & h_i^a &= 2y \\
 \sqrt{2 * 3y} < h_i^a &\leq \sqrt{3 * 4y} & h_i^a &= 3y
 \end{aligned}
 \tag{4.29}$$

$$\sqrt{(n-1) * ny} < h_i^a \leq \sqrt{n * (n+1)y} \quad h_i^a = ny$$

Batasan-batasan atas dan bawah (*lower and upper bounds*) ini menjadi kendala dalam mencari nilai *headway* akhir. Berikut adalah bentuk *coding* dari batasan-batasan ini:

```

Do
For n = 1 To 176
lower_bound_in(n) = (((n - 1) * n) ^ 0.5 * y)
Next n

For n = 1 To 176
upper_bound_in(n) = ((n * (n + 1)) ^ 0.5 * y)
Next n

For n = 1 To 19
lower_bound_out(n) = (((n - 1) * n) ^ 0.5 * y)
Next n

For n = 1 To 19
upper_bound_out(n) = ((n * (n + 1)) ^ 0.5 * y)
Next n

For i = 1 To 176
Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 23, kolom).Value = lower_bound_in(i)
Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 23, kolom + 1).Value = upper_bound_in(i)
Next i

For i = 1 To 19
Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 23, kolom + 3).Value = lower_bound_out(i)
Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 23, kolom + 4).Value = upper_bound_out(i)
Next i

Loop Until incremental > 2.1

```

Gambar 4.4 *Coding* untuk Mencari Nilai Batasan atau Kendala dalam Mencari *Headway*

Setelah program dijalankan, maka akan didapat beragam nilai batasan-batasan yang berbeda untuk tiap *incremental search* dan *base cycle*. Sebagai contohnya, berikut adalah *lower* dan *upper bound* untuk *headway* rute *inbound* pada *incremental search* 0.1 dengan *base cycle* 5.8:

Tabel 4.17 Lower dan Upper Bound untuk tiap Rute Inbound pada Base Cycle 5.8

Route	Lower Bound	Upper Bound	Route	Lower Bound	Upper Bound	Route	Lower Bound	Upper Bound
1	0	8.202438662	60	345.0878149	350.8880163	119	687.2938818	693.093933
2	8.202438662	14.20704051	61	350.8880163	356.6882112	120	693.093933	698.8939834
3	14.20704051	20.09178937	62	356.6882112	362.4883998	121	698.8939834	704.6940329
4	20.09178937	25.93838854	63	362.4883998	368.2885825	122	704.6940329	710.4940816
5	25.93838854	31.76790834	64	368.2885825	374.0887595	123	710.4940816	716.2941295
6	31.76790834	37.58829605	65	374.0887595	379.8889311	124	716.2941295	722.0941767
7	37.58829605	43.40322569	66	379.8889311	385.6890976	125	722.0941767	727.8942231
8	43.40322569	49.21463197	67	385.6890976	391.4892591	126	727.8942231	733.6942688
9	49.21463197	55.02363129	68	391.4892591	397.2894159	127	733.6942688	739.4943137
10	55.02363129	60.83091319	69	397.2894159	403.0895682	128	739.4943137	745.294358
11	60.83091319	66.6369267	70	403.0895682	408.8897162	129	745.294358	751.0944015
12	66.6369267	72.44197678	71	408.8897162	414.68986	130	751.0944015	756.8944444
13	72.44197678	78.24627787	72	414.68986	420.4899999	131	756.8944444	762.6944867
14	78.24627787	84.04998513	73	420.4899999	426.2901359	132	762.6944867	768.4945283
15	84.04998513	89.85321363	74	426.2901359	432.0902683	133	768.4945283	774.2945693
16	89.85321363	95.65605051	75	432.0902683	437.8903972	134	774.2945693	780.0946096
17	95.65605051	101.458563	76	437.8903972	443.6905228	135	780.0946096	785.8946494
18	101.458563	107.2608037	77	443.6905228	449.4906451	136	785.8946494	791.6946886
19	107.2608037	113.0628144	78	449.4906451	455.2907642	137	791.6946886	797.4947273
20	113.0628144	118.8646289	79	455.2907642	461.0908804	138	797.4947273	803.2947653
21	118.8646289	124.6662745	80	461.0908804	466.8909937	139	803.2947653	809.0948029
22	124.6662745	130.4677738	81	466.8909937	472.6911042	140	809.0948029	814.8948398
23	130.4677738	136.2691454	82	472.6911042	478.491212	141	814.8948398	820.6948763
24	136.2691454	142.0704051	83	478.491212	484.2913173	142	820.6948763	826.4949123
25	142.0704051	147.8715659	84	484.2913173	490.09142	143	826.4949123	832.2949477
26	147.8715659	153.6726391	85	490.09142	495.8915204	144	832.2949477	838.0949827
27	153.6726391	159.4736342	86	495.8915204	501.6916184	145	838.0949827	843.8950172
28	159.4736342	165.2745594	87	501.6916184	507.4917142	146	843.8950172	849.6950512
29	165.2745594	171.075422	88	507.4917142	513.2918078	147	849.6950512	855.4950847
30	171.075422	176.8762279	89	513.2918078	519.0918994	148	855.4950847	861.2951178
31	176.8762279	182.6769827	90	519.0918994	524.8919889	149	861.2951178	867.0951505
32	182.6769827	188.477691	91	524.8919889	530.6920764	150	867.0951505	872.8951827
33	188.477691	194.278357	92	530.6920764	536.4921621	151	872.8951827	878.6952145
34	194.278357	200.0789844	93	536.4921621	542.2922459	152	878.6952145	884.4952459
35	200.0789844	205.8795765	94	542.2922459	548.092328	153	884.4952459	890.2952769
36	205.8795765	211.6801361	95	548.092328	553.8924083	154	890.2952769	896.0953074
37	211.6801361	217.4806658	96	553.8924083	559.692487	155	896.0953074	901.8953376
38	217.4806658	223.281168	97	559.692487	565.4925641	156	901.8953376	907.6953674
39	223.281168	229.0816448	98	565.4925641	571.2926395	157	907.6953674	913.4953968

Tabel 4.17 Lower dan Upper Bound untuk tiap Rute Inbound pada Base Cycle 5.8 (Sambungan)

Route	Lower Bound	Upper Bound	Route	Lower Bound	Upper Bound	Route	Lower Bound	Upper Bound
40	229.0816448	234.8820981	99	571.2926395	577.0927135	158	913.4953968	919.2954259
41	234.8820981	240.6825295	100	577.0927135	582.892786	159	919.2954259	925.0954545
42	240.6825295	246.4829406	101	582.892786	588.6928571	160	925.0954545	930.8954829
43	246.4829406	252.2833328	102	588.6928571	594.4929268	161	930.8954829	936.6955108
44	252.2833328	258.0837074	103	594.4929268	600.2929951	162	936.6955108	942.4955385
45	258.0837074	263.8840655	104	600.2929951	606.0930622	163	942.4955385	948.2955657
46	263.8840655	269.6844082	105	606.0930622	611.8931279	164	948.2955657	954.0955927
47	269.6844082	275.4847364	106	611.8931279	617.6931925	165	954.0955927	959.8956193
48	275.4847364	281.2850511	107	617.6931925	623.4932558	166	959.8956193	965.6956456
49	281.2850511	287.0853532	108	623.4932558	629.2933179	167	965.6956456	971.4956716
50	287.0853532	292.8856432	109	629.2933179	635.093379	168	971.4956716	977.2956973
51	292.8856432	298.685922	110	635.093379	640.8934389	169	977.2956973	983.0957227
52	298.685922	304.4861902	111	640.8934389	646.6934977	170	983.0957227	988.8957478
53	304.4861902	310.2864483	112	646.6934977	652.4935555	171	988.8957478	994.6957726
54	310.2864483	316.086697	113	652.4935555	658.2936123	172	994.6957726	1000.495797
55	316.086697	321.8869367	114	658.2936123	664.0936681	173	1000.495797	1006.295821
56	321.8869367	327.6871679	115	664.0936681	669.8937229	174	1006.295821	1012.095845
57	327.6871679	333.4873911	116	669.8937229	675.6937768	175	1012.095845	1017.895869
58	333.4873911	339.2876066	117	675.6937768	681.4938298	176	1017.895869	1023.695892
59	339.2876066	345.0878149	118	681.4938298	687.2938818			

Sedangkan berikut adalah *lower* dan *upper bound* untuk rute *outbound* pada *base cycle 5.8*:

Tabel 4.18 Lower dan Upper Bound untuk tiap Rute Outbound pada Base Cycle 5.8

Route	Lower Bound	Upper Bound	Route	Lower Bound	Upper Bound
1	0	8.202438662	11	60.83091319	66.6369267
2	8.202438662	14.20704051	12	-	-
3	14.20704051	20.09178937	13	66.6369267	72.44197678
4	20.09178937	25.93838854	14	72.44197678	78.24627787
5	25.93838854	31.76790834	15	78.24627787	84.04998513
6	31.76790834	37.58829605	16	84.04998513	89.85321363
7	37.58829605	43.40322569	17	89.85321363	95.65605051
8	43.40322569	49.21463197	18	95.65605051	101.458563
9	49.21463197	55.02363129	19	101.458563	107.2608037
10	55.02363129	60.83091319	20	107.2608037	113.0628144

- Langkah 4 – Selanjutnya adalah perhitungan *headway* akhir. Nilai *headway* akhir ini harus berada dalam batasan-batasan (*bounds*) atau harus memenuhi kendala yang telah ditetapkan sebelumnya. Berikut adalah *coding* untuk menghitung nilai *headway* tersebut:

```

Do
For i = 1 To 176
  For j = 1 To 176
    If (h_in(i) > lower_bound_in(j) And h_in(i) <= upper_bound_in(j)) Then
      Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 23, kolom + 2).Value = j * y
    End If
  Next j
Next i

For i = 1 To 19
  For j = 1 To 19
    If (h_out(i) > lower_bound_out(j) And h_out(i) <= upper_bound_out(j)) Then
      Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 23, kolom + 5).Value = j * y
    End If
  Next j
Next i

Loop Until incremental > 2.1

```

Gambar 4.5 Coding untuk Mencari Nilai Headway Akhir yang Memenuhi Kendala

Setelah program dijalankan, maka akan didapat beragam nilai *headway* untuk tiap rute pada tiap *incremental search* dan *base cycle* yang berbeda. Berikut adalah contoh nilai *headway* akhir untuk rute *inbound* pada *base cycle* 5.8:

Tabel 4.19 Nilai *Headway* Akhir untuk tiap Rute *Inbound* pada *Base Cycle* 5.8

Route	Headway	Route	Headway	Route	Headway	Route	Headway
1	278.4	45	116	89	295.8	133	145
2	23.2	46	23.2	90	92.8	134	92.8
3	295.8	47	551	91	145	135	551
4	17.4	48	121.8	92	783	136	197.2
5	295.8	49	52.2	93	185.6	137	40.6
6	348	50	40.6	94	75.4	138	58
7	319	51	237.8	95	121.8	139	34.8
8	452.4	52	104.4	96	34.8	140	162.4
9	319	53	98.6	97	139.2	141	168.2
10	29	54	81.2	98	388.6	142	203
11	92.8	55	29	99	319	143	388.6
12	203	56	145	100	58	144	162.4
13	23.2	57	40.6	101	46.4	145	203
14	40.6	58	17.4	102	133.4	146	197.2
15	46.4	59	23.2	103	34.8	147	52.2
16	75.4	60	46.4	104	139.2	148	261
17	17.4	61	133.4	105	58	149	162.4
18	11.6	62	17.4	106	168.2	150	783
19	156.6	63	127.6	107	139.2	151	46.4
20	319	64	150.8	108	17.4	152	92.8
21	29	65	162.4	109	208.8	153	17.4
22	185.6	66	185.6	110	348	154	162.4
23	40.6	67	104.4	111	261	155	63.8
24	52.2	68	17.4	112	98.6	156	348
25	23.2	69	185.6	113	40.6	157	40.6
26	40.6	70	452.4	114	34.8	158	92.8
27	208.8	71	17.4	115	185.6	159	92.8
28	551	72	58	116	5.8	160	104.4
29	29	73	150.8	117	11.6	161	17.4
30	226.2	74	388.6	118	69.6	162	208.8
31	551	75	40.6	119	81.2	163	388.6
32	551	76	52.2	120	75.4	164	29

Tabel 4.19 Nilai *Headway* Akhir untuk tiap Rute *Inbound* pada *Base Cycle* 5.8 (Sambungan)

Route	Headway	Route	Headway	Route	Headway	Route	Headway
33	150.8	77	319	121	110.2	165	17.4
34	452.4	78	110.2	122	29	166	348
35	81.2	79	237.8	123	104.4	167	81.2
36	319	80	348	124	40.6	168	116
37	110.2	81	58	125	5.8	169	150.8
38	29	82	551	126	29	170	249.4
39	63.8	83	226.2	127	551	171	23.2
40	29	84	185.6	128	783	172	551
41	11.6	85	46.4	129	127.6	173	104.4
42	29	86	197.2	130	69.6	174	75.4
43	75.4	87	81.2	131	388.6	175	174
44	92.8	88	388.6	132	197.2	176	40.6

Sedangkan berikut adalah contoh nilai *headway* akhir untuk rute *outbound* pada *base cycle* 5.8:

Tabel 4.20 Nilai *Headway* Akhir untuk tiap Rute *Outbound* pada *Base Cycle* 5.8

Route	Headway	Route	Headway
1	34.8	11	23.2
2	52.2	12	-
3	40.6	13	40.6
4	29	14	52.2
5	46.4	15	40.6
6	40.6	16	23.2
7	46.4	17	40.6
8	46.4	18	40.6
9	34.8	19	40.6
10	52.2	20	46.4

- Langkah 5 – Setelah nilai *headway* berhasil didapat, maka langkah selanjutnya adalah perhitungan biaya-biaya yang terkait seperti biaya operasional, biaya inventori, dan biaya tunggu perpindahan (*transshipment waiting cost*). Pada awalnya biaya tunggu perpindahan pada strategi ini memang tidak ada.

Namun lama kelamaan seiring dengan kenaikan perbedaan antara *headway* untuk rute *inbound* dengan rute *outbound*, maka besar kemungkinan ada rute *inbound* yang *headway*-nya jauh lebih lama daripada *headway* pada rute *outbound*, sehingga muncullah biaya tunggu perpindahan disini. Setelah menghitung ketiga komponen biaya tersebut, maka diperoleh nilai total biaya pada sistem, yang kemudian akan dibandingkan dan dicari yang paling kecil. Berikut adalah *coding* dari total biaya ini:

```

Do
For i = 1 To 1
operating_cost_in = Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 380, kolom).Value
Next i

For i = 1 To 1
operating_cost_out = Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 380, kolom + 1).Value
Next i

For i = 1 To 1
inventory_cost_in = Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 380, kolom + 2).Value
Next i

For i = 1 To 1
inventory_cost_out = Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 380, kolom + 3).Value
Next i

For i = 1 To 1
transhipment_cost = 0.5 * 210 * Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 380, kolom + 4).Value
Next i

total_system_cost = operating_cost_in + operating_cost_out + inventory_cost_in +
inventory_cost_out + transhipment_cost

For i = 1 To 1
total_system_cost = Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 382, kolom + 4).Value
Next i

Loop Until incremental > 2.1

```

Gambar 4.6 *Coding* untuk Mencari Total Biaya pada Sistem

Setelah seluruh biaya yang dikeluarkan pada tiap *headway* dan pada tiap *base cycle* dihitung dan dibandingkan, maka akan didapat total biaya yang paling minimal. Ternyata biaya yang paling minimal tersebut dihasilkan oleh *headway* yang berasal dari kelipatan *base cycle* 5.5, dengan nilai *incremental search*

sebesar 0.5 dan 1.1. Berikut adalah nilai *headway* optimal pada rute *inbound* yang menghasilkan total biaya yang paling minimal pada strategi dengan rasio bilangan bulat ini:

Tabel 4.21 *Headway* Optimal untuk Rute *Inbound*

Route	Headway	Route	Headway	Route	Headway	Route	Headway
1	275	45	115.5	89	297	133	143
2	27.5	46	27.5	90	93.5	134	88
3	297	47	555.5	91	143	135	555.5
4	16.5	48	121	92	781	136	198
5	297	49	55	93	187	137	38.5
6	352	50	38.5	94	77	138	55
7	319	51	236.5	95	126.5	139	33
8	451	52	104.5	96	33	140	159.5
9	319	53	99	97	137.5	141	170.5
10	27.5	54	82.5	98	390.5	142	203.5
11	93.5	55	27.5	99	319	143	390.5
12	203.5	56	143	100	55	144	159.5
13	22	57	38.5	101	44	145	203.5
14	44	58	16.5	102	132	146	198
15	49.5	59	27.5	103	38.5	147	55
16	71.5	60	44	104	137.5	148	258.5
17	16.5	61	132	105	60.5	149	159.5
18	11	62	16.5	106	170.5	150	781
19	154	63	126.5	107	137.5	151	49.5
20	319	64	148.5	108	16.5	152	88
21	33	65	159.5	109	209	153	16.5
22	187	66	187	110	352	154	159.5
23	38.5	67	104.5	111	258.5	155	60.5
24	49.5	68	16.5	112	99	156	352
25	22	69	187	113	38.5	157	38.5
26	44	70	451	114	33	158	93.5
27	209	71	16.5	115	187	159	93.5
28	555.5	72	60.5	116	11	160	104.5
29	27.5	73	148.5	117	11	161	16.5
30	225.5	74	390.5	118	71.5	162	209
31	555.5	75	38.5	119	82.5	163	390.5

Tabel 4.21 *Headway* Optimal untuk Rute *Inbound* (Sambungan)

Route	Headway	Route	Headway	Route	Headway	Route	Headway
32	555.5	76	55	120	77	164	33
33	154	77	319	121	110	165	16.5
34	451	78	115.5	122	33	166	352
35	77	79	236.5	123	104.5	167	82.5
36	319	80	352	124	38.5	168	115.5
37	115.5	81	60.5	125	5.5	169	148.5
38	33	82	555.5	126	27.5	170	247.5
39	66	83	225.5	127	555.5	171	22
40	27.5	84	187	128	781	172	555.5
41	11	85	49.5	129	132	173	104.5
42	27.5	86	198	130	66	174	77
43	77	87	77	131	390.5	175	176
44	93.5	88	390.5	132	198	176	38.5

Lalu, berikut adalah nilai *headway* paling optimal untuk rute *outbound* pada strategi rasio bilangan bulat ini:

Tabel 4.22 *Headway* Optimal untuk Rute *Outbound*

Route	Headway	Route	Headway
1	33	11	27.5
2	49.5	12	-
3	38.5	13	44
4	27.5	14	55
5	44	15	44
6	38.5	16	22
7	44	17	38.5
8	44	18	38.5
9	33	19	44
10	55	20	44

4.3.2 Menghitung Biaya Operasional Kendaraan

Setelah mendapat nilai *headway*, maka langkah berikutnya adalah menghitung biaya operasional kendaraan total yang dilambangkan dengan

C_{Btotal} . Nilai C_{Btotal} ini didapat dengan rumus yang sama seperti pada strategi tak terkoordinasi:

$$C_{Btotal} = C_{Binbound} + C_{Boutbound} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i^a B_i^a}{h_i^a} + \sum_{j=1}^m \frac{t_j^d B_j^d}{h_j^d} \quad (4.30)$$

Kemudian dengan menggunakan rumus diatas, lalu memasukkan nilai *delivery times* untuk rute *inbound* dan *outbound* (t_i^a dan t_j^d), biaya operasional linear per unit untuk kendaraan *inbound* dan *outbound* (B_i^a dan B_j^d), dan nilai *headway* untuk rute *inbound* dan *outbound* (h_i^a dan h_j^d) kedalamnya, maka akan diperoleh beragam nilai biaya operasional kendaraan untuk tiap rute *inbound* dan *outbound* ($C_{Binbound}$ dan $C_{Boutbound}$) pada tiap *incremental search* (Δ) dan *base cycle* (y) yang berbeda dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 4.23 Biaya Operasional Kendaraan pada Tiap *Base Cycle* (y)

Δ (hr)	Base Cycle (y)	Operating Cost		Total Operating Cost
		Inbound	Outbound	
0.1	5.8	Rp8,527,488.40	Rp15,135,638.55	Rp23,663,126.96
0.2	5.8	Rp8,527,488.40	Rp15,135,638.55	Rp23,663,126.96
0.3	5.7	Rp8,618,558.08	Rp14,917,224.39	Rp23,535,782.46
0.4	5.6	Rp8,402,077.34	Rp14,988,301.93	Rp23,390,379.27
0.5	5.5	Rp8,427,096.09	Rp15,260,816.51	Rp23,687,912.61
0.6	5.4	Rp8,542,798.91	Rp15,016,833.63	Rp23,559,632.54
0.7	5.6	Rp8,402,077.34	Rp14,988,301.93	Rp23,390,379.27
0.8	5.6	Rp8,402,077.34	Rp14,988,301.93	Rp23,390,379.27
0.9	5.4	Rp8,542,798.91	Rp15,016,833.63	Rp23,559,632.54
1	5	Rp8,505,649.51	Rp14,942,652.68	Rp23,448,302.19
1.1	5.5	Rp8,427,096.09	Rp15,260,816.51	Rp23,687,912.61
1.2	4.8	Rp8,643,841.01	Rp15,170,550.42	Rp23,814,391.42
1.3	5.2	Rp8,555,337.48	Rp14,865,491.16	Rp23,420,828.64
1.4	5.6	Rp8,402,077.34	Rp14,988,301.93	Rp23,390,379.27
1.5	4.5	Rp8,744,057.78	Rp15,144,451.04	Rp23,888,508.82
1.6	4.8	Rp8,643,841.01	Rp15,170,550.42	Rp23,814,391.42
1.7	5.1	Rp8,433,289.38	Rp14,876,021.97	Rp23,309,311.35
1.8	5.4	Rp8,542,798.91	Rp15,016,833.63	Rp23,559,632.54
1.9	5.7	Rp8,618,558.08	Rp14,917,224.39	Rp23,535,782.46
2	4	Rp8,398,663.85	Rp15,118,390.61	Rp23,517,054.47

Bila kita melihat total biaya operasional diatas, maka tampak bahwa biaya operasional yang paling kecil dihasilkan oleh *base cycle* 5.1 dengan total biaya operasional sebesar Rp 23,309,311.35.

4.3.3 Menghitung Biaya Inventori

Biaya yang akan dihitung selanjutnya adalah total biaya inventori (C_I). Sama halnya dengan biaya operasional kendaraan pada subbab sebelumnya, biaya inventori disini juga akan dihitung menggunakan rumus yang sama dengan rumus biaya inventori yang ada pada strategi tak terkoordinasi. Berikut adalah rumus C_I tersebut:

$$C_I = C_I^a + C_I^d = v \sum_{i=1}^n \frac{h_i^a Q_i}{2} + v \sum_{j=1}^m \frac{h_j^d Q_j}{2} \quad (4.31)$$

Kemudian, dengan menggunakan rumus diatas dan memasukkan nilai *unit inventory carrying cost* (v), nilai *headway* untuk rute *inbound* dan *outbound* (h_i^a dan h_j^d), dan total *shipping quantity* pada rute *inbound* dan *outbound* (Q_i dan Q_j) kedalamnya, maka akan diperoleh nilai perhitungan biaya inventori pada daerah asal dan daerah tujuan pengiriman (C_I^a dan C_I^d) pada tiap *incremental search* (Δ) dan *base cycle* (y) yang berbeda, dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 4.24 Biaya Inventori pada Tiap *Base Cycle* (y)

Δ (hr)	Base Cycle (y)	Inventory Cost		Total Inventory Cost
		Inbound	Outbound	
0.1	5.8	Rp8,656,689.88	Rp15,010,062.08	Rp23,666,751.96
0.2	5.8	Rp8,656,689.88	Rp15,010,062.08	Rp23,666,751.96
0.3	5.7	Rp8,564,823.03	Rp15,231,160.42	Rp23,795,983.44
0.4	5.6	Rp8,775,464.39	Rp15,157,363.55	Rp23,932,827.94
0.5	5.5	Rp8,744,257.64	Rp14,886,696.34	Rp23,630,953.98
0.6	5.4	Rp8,624,965.15	Rp15,138,551.53	Rp23,763,516.68
0.7	5.6	Rp8,775,464.39	Rp15,157,363.55	Rp23,932,827.94
0.8	5.6	Rp8,775,464.39	Rp15,157,363.55	Rp23,932,827.94
0.9	5.4	Rp8,624,965.15	Rp15,138,551.53	Rp23,763,516.68
1	5	Rp8,652,857.72	Rp15,191,665.13	Rp23,844,522.84
1.1	5.5	Rp8,744,257.64	Rp14,886,696.34	Rp23,630,953.98
1.2	4.8	Rp8,513,468.67	Rp14,962,601.85	Rp23,476,070.52
1.3	5.2	Rp8,611,754.52	Rp15,287,682.41	Rp23,899,436.93

Tabel 4.24 Biaya Inventori pada Tiap *Base Cycle* (y) (Sambungan)

Δ (hr)	Base Cycle (y)	Inventory Cost		Total Inventory Cost
		Inbound	Outbound	
1.4	5.6	Rp8,775,464.39	Rp15,157,363.55	Rp23,932,827.94
1.5	4.5	Rp8,434,635.30	Rp14,999,277.23	Rp23,433,912.53
1.6	4.8	Rp8,513,468.67	Rp14,962,601.85	Rp23,476,070.52
1.7	5.1	Rp8,729,423.35	Rp15,264,489.53	Rp23,993,912.88
1.8	5.4	Rp8,624,965.15	Rp15,138,551.53	Rp23,763,516.68
1.9	5.7	Rp8,564,823.03	Rp15,231,160.42	Rp23,795,983.44
2	4	Rp8,794,792.65	Rp15,013,215.18	Rp23,808,007.83

Kemudian, bila kita melihat total biaya inventori diatas, maka tampak bahwa biaya inventori yang paling kecil dihasilkan oleh *base cycle* 4.5 dengan total biaya sebesar Rp 23,433,912.53.

4.3.4 Menghitung Biaya Tunggu Perpindahan

Selanjutnya, komponen biaya ketiga yang akan dihitung adalah biaya waktu tunggu perpindahan (*transshipment waiting cost*). *Transshipment waiting cost* yang dilambangkan oleh C_w untuk strategi ini dapat dijabarkan dengan rumus sebagai berikut:

$$C_w = \frac{1}{2} v \sum_{i=1}^j \sum_{j=1}^m (h_j^d - g_{ij} y) q_{ij} \quad (4.32)$$

Nilai g_{ij} disini merupakan faktor persekutuan terbesar (FPB) dari kelipatan *base cycle* yang dilambangkan oleh γ_i^a untuk rute *inbound* dan γ_j^d untuk rute *outbound*. Rumus dari g_{ij} ini adalah sebagai berikut:

$$g_{ij} = FPB(\gamma_i^a, \gamma_j^d) \quad (4.33)$$

dimana hubungan antara *headway*, γ_i^a dan γ_j^d adalah sebagai berikut:

$$h_i^a = \gamma_i^a * y \quad h_j^d = \gamma_j^d * y \quad (4.34)$$

Berikut adalah contoh γ_i^a atau perkalian *headway* untuk rute *inbound* dengan nilai *incremental search* 0.1 dan *base cycle* 5.8:

Tabel 4.25 Perkalian *Headway* untuk Rute *Inbound* (γ^a) pada *Base Cycle* 5.8

Route	Headway	γ^a	Route	Headway	γ^a	Route	Headway	γ^a	Route	Headway	γ^a
1	278.4	48	45	116	20	89	295.8	51	133	145	25
2	23.2	4	46	23.2	4	90	92.8	16	134	92.8	16
3	295.8	51	47	551	95	91	145	25	135	551	95
4	17.4	3	48	121.8	21	92	783	135	136	197.2	34
5	295.8	51	49	52.2	9	93	185.6	32	137	40.6	7
6	348	60	50	40.6	7	94	75.4	13	138	58	10
7	319	55	51	237.8	41	95	121.8	21	139	34.8	6
8	452.4	78	52	104.4	18	96	34.8	6	140	162.4	28
9	319	55	53	98.6	17	97	139.2	24	141	168.2	29
10	29	5	54	81.2	14	98	388.6	67	142	203	35
11	92.8	16	55	29	5	99	319	55	143	388.6	67
12	203	35	56	145	25	100	58	10	144	162.4	28
13	23.2	4	57	40.6	7	101	46.4	8	145	203	35
14	40.6	7	58	17.4	3	102	133.4	23	146	197.2	34
15	46.4	8	59	23.2	4	103	34.8	6	147	52.2	9
16	75.4	13	60	46.4	8	104	139.2	24	148	261	45
17	17.4	3	61	133.4	23	105	58	10	149	162.4	28
18	11.6	2	62	17.4	3	106	168.2	29	150	783	135
19	156.6	27	63	127.6	22	107	139.2	24	151	46.4	8
20	319	55	64	150.8	26	108	17.4	3	152	92.8	16
21	29	5	65	162.4	28	109	208.8	36	153	17.4	3
22	185.6	32	66	185.6	32	110	348	60	154	162.4	28
23	40.6	7	67	104.4	18	111	261	45	155	63.8	11
24	52.2	9	68	17.4	3	112	98.6	17	156	348	60
25	23.2	4	69	185.6	32	113	40.6	7	157	40.6	7
26	40.6	7	70	452.4	78	114	34.8	6	158	92.8	16
27	208.8	36	71	17.4	3	115	185.6	32	159	92.8	16
28	551	95	72	58	10	116	5.8	1	160	104.4	18
29	29	5	73	150.8	26	117	11.6	2	161	17.4	3
30	226.2	39	74	388.6	67	118	69.6	12	162	208.8	36
31	551	95	75	40.6	7	119	81.2	14	163	388.6	67
32	551	95	76	52.2	9	120	75.4	13	164	29	5
33	150.8	26	77	319	55	121	110.2	19	165	17.4	3
34	452.4	78	78	110.2	19	122	29	5	166	348	60
35	81.2	14	79	237.8	41	123	104.4	18	167	81.2	14
36	319	55	80	348	60	124	40.6	7	168	116	20
37	110.2	19	81	58	10	125	5.8	1	169	150.8	26

Tabel 4.25 Perkalian *Headway* untuk Rute *Inbound* (γ_i^d) pada *Base Cycle* 5.8 (Sambungan)

Route	Headway	γ_i^d	Route	Headway	γ_i^d	Route	Headway	γ_i^d	Route	Headway	γ_i^d
38	29	5	82	551	95	126	29	5	170	249.4	43
39	63.8	11	83	226.2	39	127	551	95	171	23.2	4
40	29	5	84	185.6	32	128	783	135	172	551	95
41	11.6	2	85	46.4	8	129	127.6	22	173	104.4	18
42	29	5	86	197.2	34	130	69.6	12	174	75.4	13
43	75.4	13	87	81.2	14	131	388.6	67	175	174	30
44	92.8	16	88	388.6	67	132	197.2	34	176	40.6	7

Sedangkan berikut adalah contoh nilai γ_j^d atau perkalian *headway* untuk rute *outbound* dengan *incremental search* 0.1 dan *base cycle* 5.8:

Tabel 4.26 Perkalian *Headway* untuk Rute *Outbound* (γ_j^d) pada *Base Cycle* 5.8

Route	Headway	γ_j^d	Route	Headway	γ_j^d
1	34.8	6	11	23.2	4
2	52.2	9	12	-	-
3	40.6	7	13	40.6	7
4	29	5	14	52.2	9
5	46.4	8	15	40.6	7
6	40.6	7	16	23.2	4
7	46.4	8	17	40.6	7
8	46.4	8	18	40.6	7
9	34.8	6	19	40.6	7
10	52.2	9	20	46.4	8

Kemudian, dengan memasukkan nilai *unit inventory carrying cost* (v), nilai *headway* untuk rute *outbound* (h_j^d), faktor persekutuan terbesar (FPB) dari kelipatan pada *base cycle* (γ_i^d dan γ_j^d) dan *shipping quantity* dari tiap rute *inbound* ke rute *outbound* (q_{ij}), maka didapatkan nilai biaya tunggu perpindahan yang berbeda pada tiap *incremental search* (Δ) dan *base cycle* (y) yang berbeda pula, dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 4.27 Biaya Tunggu Perpindahan pada Tiap *Base Cycle* (*y*)

Δ (hr)	Base Cycle (<i>y</i>)	Transshipment Waiting Cost
0.1	5.8	Rp11,214,253.38
0.2	5.8	Rp11,214,253.38
0.3	5.7	Rp11,553,728.04
0.4	5.6	Rp11,282,224.03
0.5	5.5	Rp11,186,228.90
0.6	5.4	Rp11,388,392.74
0.7	5.6	Rp11,282,224.03
0.8	5.6	Rp11,282,224.03
0.9	5.4	Rp11,388,392.74
1	5	Rp11,650,341.72
1.1	5.5	Rp11,186,228.90
1.2	4.8	Rp11,748,067.38
1.3	5.2	Rp11,207,292.69
1.4	5.6	Rp11,282,224.03
1.5	4.5	Rp11,697,251.74
1.6	4.8	Rp11,748,067.38
1.7	5.1	Rp11,385,323.07
1.8	5.4	Rp11,388,392.74
1.9	5.7	Rp11,553,728.04
2	4	Rp11,680,536.18

Tampak pada tabel diatas, biaya tunggu perpindahan yang paling kecil dihasilkan oleh *base cycle* 5.5 dengan total biaya tunggu perpindahan sebesar Rp 11,186,228.90.

4.3.5 Menghitung Total Biaya pada Sistem

Seperti halnya pada dua strategi sebelumnya, maka langkah terakhir yang akan dilakukan adalah perhitungan total biaya pada sistem. Total biaya pada sistem yang dilambangkan dengan C_T merupakan penjumlahan dari semua biaya yang telah dihitung sebelumnya, yaitu biaya operasional kendaraan (C_B) dan biaya inventori (C_I), yang dapat dijabarkan dalam bentuk matematis sebagai berikut:

$$C_T = C_B + C_I + C_w \quad (4.35)$$

Kemudian, dengan memasukkan nilai biaya yang telah didapat pada subbab-subbab sebelumnya, maka akan didapat total nilai biaya pada sistem pada

tiap *incremental search* (Δ) dan *base cycle* (y) yang berbeda, dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 4.28 Total Biaya pada Sistem untuk Tiap *Base Cycle* (y) yang Berbeda

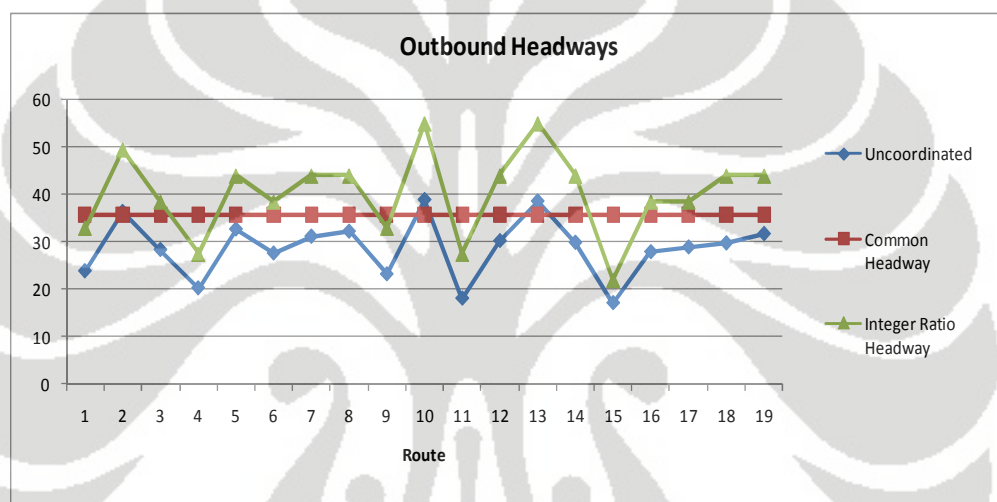
Δ (hr)	Base Cycle (y)	Total Operating Cost	Total Inventory Cost	Transshipment Waiting Cost	Total System Cost
0.1	5.8	Rp23,663,126.96	Rp23,666,751.96	Rp11,214,253.38	Rp58,544,132.29
0.2	5.8	Rp23,663,126.96	Rp23,666,751.96	Rp11,214,253.38	Rp58,544,132.29
0.3	5.7	Rp23,535,782.46	Rp23,795,983.44	Rp11,553,728.04	Rp58,885,493.94
0.4	5.6	Rp23,390,379.27	Rp23,932,827.94	Rp11,282,224.03	Rp58,605,431.24
0.5	5.5	Rp23,687,912.61	Rp23,630,953.98	Rp11,186,228.90	Rp58,505,095.49
0.6	5.4	Rp23,559,632.54	Rp23,763,516.68	Rp11,388,392.74	Rp58,711,541.96
0.7	5.6	Rp23,390,379.27	Rp23,932,827.94	Rp11,282,224.03	Rp58,605,431.24
0.8	5.6	Rp23,390,379.27	Rp23,932,827.94	Rp11,282,224.03	Rp58,605,431.24
0.9	5.4	Rp23,559,632.54	Rp23,763,516.68	Rp11,388,392.74	Rp58,711,541.96
1	5	Rp23,448,302.19	Rp23,844,522.84	Rp11,650,341.72	Rp58,943,166.75
1.1	5.5	Rp23,687,912.61	Rp23,630,953.98	Rp11,186,228.90	Rp58,505,095.49
1.2	4.8	Rp23,814,391.42	Rp23,476,070.52	Rp11,748,067.38	Rp59,038,529.32
1.3	5.2	Rp23,420,828.64	Rp23,899,436.93	Rp11,207,292.69	Rp58,527,558.25
1.4	5.6	Rp23,390,379.27	Rp23,932,827.94	Rp11,282,224.03	Rp58,605,431.24
1.5	4.5	Rp23,888,508.82	Rp23,433,912.53	Rp11,697,251.74	Rp59,019,673.09
1.6	4.8	Rp23,814,391.42	Rp23,476,070.52	Rp11,748,067.38	Rp59,038,529.32
1.7	5.1	Rp23,309,311.35	Rp23,993,912.88	Rp11,385,323.07	Rp58,688,547.29
1.8	5.4	Rp23,559,632.54	Rp23,763,516.68	Rp11,388,392.74	Rp58,711,541.96
1.9	5.7	Rp23,535,782.46	Rp23,795,983.44	Rp11,553,728.04	Rp58,885,493.94
2	4	Rp23,517,054.47	Rp23,808,007.83	Rp11,680,536.18	Rp59,005,598.47

Pada tabel diatas, tampak bahwa total biaya pada sistem yang paling kecil didapat dari *base cycle* 5.5 dengan total biaya pada sistem sebesar Rp. 58,505,095.49.

Kemudian, bila hasil akhir ini dibandingkan dengan total biaya pada strategi pertama yang menghasilkan total biaya sebesar Rp. 59,702,533.46, dan dengan strategi kedua yang menghasilkan total biaya sebesar Rp. 59,006,705.47, tampak bahwa strategi ketiga ini menghasilkan total biaya yang paling kecil, dan oleh karena itu, merupakan strategi yang paling baik dibandingkan kedua strategi sebelumnya. Hal ini sesuai dengan kesimpulan penelitian Ting (2004) yang sudah terlebih dahulu menerapkan ketiga strategi ini pada kasus lain.

4.4 Analisa Grafik

Pada subbab ini, ketiga strategi yang telah dibahas sebelumnya akan dibandingkan dan dianalisa dari sisi *headway* dan besar biaya yang dihasilkan oleh masing-masing strategi. Pertama-tama, nilai *headway* yang paling optimal dari tiap strategi yang akan dibandingkan. Sebagai contoh, berikut adalah grafik yang menggambarkan pergerakan atau variasi nilai *headway* untuk rute *outbound* dari hasil pengolahan masing-masing strategi:



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Nilai *Outbound Headway* untuk tiap Strategi

Tampak pada grafik tersebut, nilai *headway* pada strategi pertama dan strategi ketiga hampir mirip, lain halnya dengan *headway* pada strategi kedua. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa secara umum, *headway* dari strategi ketiga lebih besar nilainya dibandingkan dengan dua strategi lainnya. Lalu bagaimanakah efeknya besar *headway* ini bila dibandingkan dengan total biaya? Berikut adalah grafik yang menunjukkan hubungan keduanya:



Gambar 4.8 Perbandingan Biaya untuk Masing-masing Strategi

Dari grafik ini, tampak bahwa pada awalnya, tiap strategi memiliki nilai biaya operasional yang berbeda-beda, dimana biaya yang paling rendah dihasilkan oleh strategi ketiga. Selanjutnya untuk biaya inventori, strategi pertamalah yang menghasilkan biaya paling kecil disini. Sedangkan untuk biaya tunggu perpindahan, tentu strategi kedua yang paling baik, karena strategi ini tidak mengeluarkan biaya tunggu perpindahan sama sekali. Namun bila semua biaya ini dijumlahkan, maka strategi ketigalah yang paling baik diantara semuanya karena menghasilkan total biaya yang paling kecil.

Kesimpulan yang dapat ditarik disini adalah bahwa walau secara keseluruhan strategi ketiga adalah strategi yang paling baik, tetapi strategi-strategi lainnya juga memiliki keunggulan masing-masing pada komponen-komponen biaya yang berbeda. Contohnya bila kita ingin menekan biaya inventori saja, maka strategi tak terkoordinasi dapat diandalkan, atau bila kita ingin mengeliminasi biaya tunggu perpindahan secara keseluruhan, maka strategi dengan satu *headway* yang sama merupakan pilihan yang tepat.

BAB 5 KESIMPULAN

Permasalahan yang ingin dibahas pada penelitian ini adalah persoalan penjadwalan dalam suatu terminal *cross-docking* milik perusahaan 3PL (*Third Party Logistics*). Adapun tujuan yang ingin diperoleh dari penelitian ini adalah untuk memperoleh suatu strategi penjadwalan terbaik yang dapat meminimalkan waktu tunggu produk selama berada di gudang, dengan tujuan akhir untuk meminimalkan total biaya pada sistem. Strategi terbaik tersebut dipilih dari tiga macam strategi penjadwalan kendaraan yaitu strategi tak terkoordinasi (*uncoordinated strategy*), strategi terkoordinasi dengan satu *headway* yang sama (*coordinated with a common headway strategy*), dan strategi terkoordinasi dengan *headway* dari rasio bilangan bulat (*coordinated with integer ratio headways strategy*), seperti yang diusulkan oleh Ting (2004). Parameter perbandingan untuk ketiga strategi ini adalah total biaya pada sistem, yang terdiri dari biaya operasional kendaraan (*operating cost*), biaya inventori (*inventory cost*), dan biaya tunggu perpindahan (*transshipment waiting cost*).

Strategi pertama yaitu strategi tak terkoordinasi, adalah suatu strategi dimana tiap kendaraan dapat bebas keluar masuk terminal *cross-docking* kapanpun, atau dengan kata lain, tidak ada suatu penjadwalan terpadu untuk kendaraan-kendaraan ini, dan oleh karena itu, nilai *headway* untuk masing-masing kendaraan pun berbeda-beda pada strategi ini. Secara keseluruhan, strategi ini membutuhkan biaya operasional sebesar Rp 29,851,266.73, biaya inventori sebesar Rp 19,203,513.02, dan biaya tunggu perpindahan sebesar Rp 10,647,753.71, sehingga total biaya sistem untuk strategi ini adalah Rp 59,702,533.46.

Lain halnya dengan strategi pertama, strategi kedua atau strategi terkoordinasi dengan satu *headway* yang sama, adalah suatu strategi dimana setiap kendaraan menggunakan satu nilai *headway* yang sama, dan oleh karena itu barang yang masuk ke gudang dapat langsung dikirim ke kendaraan *outbound* sehingga biaya tunggu perpindahan dapat dieliminasi pada strategi ini. Setelah data diolah, diperoleh nilai *headway* sebesar 35.70399504 jam, dengan total biaya operasional sebesar Rp 29,503,352.74 dan biaya inventori sebesar Rp

29,503,352.74. Dari penjumlahan kedua biaya ini, didapat nilai total biaya pada sistem sebesar Rp 59,006,705.47. Bila dibandingkan dengan strategi pertama, tampak bahwa strategi kedua menghasilkan total biaya yang lebih kecil dan oleh karena itu, dapat ditarik kesimpulan bahwa strategi dengan *headway* yang sama ini lebih baik daripada strategi pertama atau strategi tak terkoordinasi.

Walau begitu, untuk rute *inbound* dan *outbound* yang memiliki perbedaan *shipping quantity* yang signifikan, terdapat kemungkinan bahwa kenaikan biaya operasional dan inventori dapat melebihi penurunan biaya tunggu perpindahan. Oleh karena itu strategi ketiga, atau strategi dengan *headway* dari rasio bilangan bulat, hadir menjadi solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut. Strategi ini memiliki sensitivitas yang lebih tinggi dari strategi pertama dan kedua karena setiap nilai *headway* untuk rute *inbound* dan *outbound* pada strategi ini merupakan kelipatan tertentu dari suatu siklus dasar (*base cycle*). Uniknya pada strategi ini, digunakan suatu pendekatan heuristik untuk mencari nilai *headway* yang optimal.

Nilai *headway* yang paling optimal pada strategi ini membutuhkan biaya operasional sebesar Rp 23,687,912.61, biaya inventori sebesar Rp 23,630,953.98, dan biaya tunggu perpindahan sebesar Rp 11,186,228.90. Dari ketiga biaya tersebut diperoleh total biaya sebesar Rp 58,505,095.49, dan bila dilihat dari total biaya ini, tampak bahwa strategi terkoordinasi dengan rasio bilangan bulat ini menghasilkan total biaya yang paling kecil diantara ketiga strategi yang ada, dan oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa strategi ini merupakan strategi yang paling baik bila dibandingkan dengan dua strategi sebelumnya. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Ting (2004) yang juga menyimpulkan bahwa strategi dengan rasio bilangan bulat adalah strategi yang paling baik dari ketiga strategi yang telah dibahas.

DAFTAR REFERENSI

- Apte, D. M. & Viswanathan, S. (2000). Effective cross docking for improving distribution efficiencies. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, 3, 291-302.
- Armstrong & Associates, Inc. (2004). 3PL financial results for 2004. *Logistics Management*. <http://www.manufacturing.net/>
- Ballou, R.H. (1999). *Business logistics management* (4th ed.). New York: Prentice Hall.
- Bartholdi, J. J., & Gue, K. R. (2000). Reducing labor costs in an LTL crossdocking terminal. *Operations Research*, 48, 823-832.
- Bartholdi, J. J., & Gue, K. R. (2004). The best shape for a crossdock. *Transportation Science*, 38, 235-244.
- Bhatnagar, R., Sohal, A.S., & Millen, R. (1999). Third party logistics services: A Singapore perspective. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, vol. 29 no. 9, 569-587.
- Blumenfeld, D. E., Burns, L. D., & Daganzo, C. F. (1985). Analyzing trade-offs between transportation, inventory and production costs on freight networks. *Transportation Research*, 19B, 361-380.
- Capgemini U.S. LLC, Georgia Tech & Fedex. (2004). *3PL: Results and findings of the 2004 9th annual study*. New York: Author.
- Carter, T. (1998). Picking up the pieces of a logistics program. *IIE Solutions*, July ed., 20-23.
- Cheong, M.L.F. (2005). *New Models in Logistics Network Design and Implications for 3PL Companies*. PhD Dissertation, Singapore-MIT Alliance, Nanyang Technological University.
<http://web.mit.edu/sgraves/www/michelle%10final%10thesis-aug05.pdf>
- Cooke, J. A. (1996). Do you have what it takes to cross-dock? *Logistics Management*, 35, 47-49.
- Cooke, J. A. (1997). Cross-docking software: Ready or not? *Logistics Management*, 36, 56-58.

- Daganzo, C. F. (1990). On the coordination of inbound and outbound schedules at transportation terminal. *Proceedings of the 11th Transportation and Traffic Theory Symposium*, 379-390.
- Dapiran, P., Lieb, R., & Sohal, A. (1996). Third party logistics services usage by large Australian firms. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, vol. 26, no. 10, 36-45.
- Donaldson, H., Johnson, & Zhang, M. (1999). Schedule-driven cross-docking networks. *GA Tech. Report*, 99-104.
- Gue, K. R. (1999). The effects of trailer scheduling on the layout of freight terminals. *Transportation Science*, 33, 419-428.
- Gue, K. R., & Kang, K. (2001). Staging queues in material handling and transportation systems. *Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*, 1104-1108.
- Kinnear, E. (1997). Is there any magic in cross-docking? *Supply Chain Management*, 2, 49-52.
- Ko, H.J. (2003). Optimization modeling for the design and operation of dynamic facility networks for 3PLs. *PhD Dissertation, Department of Industrial Engineering, University of Louisville*.
- Kusnadi, Iman (2006). Cross-docking Management Principles. *DHL Exel Supply Chain for Makro Cross Docking Project*.
- Lieb, R.C., Millen, R.A., & van Wassenhove, L.N. (1993). Third party logistics services: A comparison of experienced American and European manufacturers. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, vol. 23, no. 6, 35-44.
- Lu, B. (1990). A study of bus route coordination. *Master Thesis, University of Maryland, College Park, MD, U.S.A.*
- Napolitano M., & Gross and Associates (2000). Making the Move to Cross Docking. *Warehousing Education and Research Council, Oak Brook, IL*.
- Schwind, G. F. (1995). Considerations for cross docking. *Material Handling Engineering*, 50, 47-51.

- Schwind, G. F. (1996). A systems approach to docks and cross docking. *Material Handling Engineering*, 51, 59-62.
- Spalding, J.O. (1998). Transportation industry takes the right-of-way in the supply chain. *IIE Solutions*, July ed., 24-28.
- Stalk, G, Evans, P., & Shulman, L. E. (1992). Competing on capabilities: The new rules of corporate strategy. *Harvard Business Review*, 70, 57-69.
- Ting C.J, Weng W.L, & Chen C.H, (2004). Coordinate Inbound and Outbound Schedules at a Cross-Docking Terminal. *Journal of the Chinese Institute of Industrial Engineers*, vol. 20, no. 6, 636-650.
- Tsui, L. Y., & Chang, C. H. (1992). Optimal solution to a dock door assignment problem. *Computers & Industrial Engineering*, 23, 283-286.
- Vlasak, A.L. (2001). Integration of third party logistics providers within the distribution network. *MSc Dissertation, Sloan School of Management and Department of Mechanical Engineering, Massachusetts Institute of Technology*.

LAMPIRAN

Coding Program

```
Sub skripsi_deka()
Dim demand_in(1 To 176)
Dim demand_out(1 To 19)
Dim h_in(1 To 176)
Dim h_out(1 To 19)
Dim lower_bound_in(1 To 176)
Dim upper_bound_in(1 To 176)
Dim lower_bound_out(1 To 19)
Dim upper_bound_out(1 To 19)

del_time_in = 24.81818182
del_time_out = 84.63157895
trans_rate_in = 107954.5455
trans_rate_out = 361842.1053
carrying_cost = 210
incremental = 0.1

'Mencari Nilai demand_in, demand_out, h_in awal, dan h_out awal

For i = 1 To 176
demand_in(i) = Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 20, 4).Value
Next i

For i = 1 To 19
demand_out(i) = Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 20, 8).Value
Next i

For i = 1 To 176
h_in(i) = ((2 * del_time_in * trans_rate_in) / (carrying_cost * (demand_in(i) /
24))) ^ 0.5
Next i

For i = 1 To 19
h_out(i) = ((2 * del_time_out * trans_rate_out) / (carrying_cost * (demand_out(i)
/ 24))) ^ 0.5
Next i

For i = 1 To 176
Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 20, 12).Value = h_in(i)
Next i
```


(lanjutan)

```
For i = 1 To 19
```

```
Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 20, 15).Value = h_out(i)
```

```
Next i
```

```
h_min1 = WorksheetFunction.Min(h_in(1), h_in(2), h_in(3), h_in(4), h_in(5),
h_in(6), h_in(7), h_in(8), h_in(9), h_in(10), h_in(11), h_in(12), h_in(13),
h_in(14), h_in(15), h_in(16), h_in(17), h_in(18), h_in(19), h_in(20), h_in(21),
h_in(22), h_in(23), h_in(24), h_in(25), h_in(26), h_in(27), h_in(28), h_in(29),
h_in(30))
```

```
h_min2 = WorksheetFunction.Min(h_in(31), h_in(32), h_in(33), h_in(34),
h_in(35), h_in(36), h_in(37), h_in(38), h_in(39), h_in(40), h_in(41), h_in(42),
h_in(43), h_in(44), h_in(45), h_in(46), h_in(47), h_in(48), h_in(49), h_in(50),
h_in(51), h_in(52), h_in(53), h_in(54), h_in(55), h_in(56), h_in(57), h_in(58),
h_in(59), h_in(60))
```

```
h_min3 = WorksheetFunction.Min(h_in(61), h_in(62), h_in(63), h_in(64),
h_in(65), h_in(66), h_in(67), h_in(68), h_in(69), h_in(70), h_in(71), h_in(72),
h_in(73), h_in(74), h_in(75), h_in(76), h_in(77), h_in(78), h_in(79), h_in(80),
h_in(81), h_in(82), h_in(83), h_in(84), h_in(85), h_in(86), h_in(87), h_in(88),
h_in(89), h_in(90))
```

```
h_min4 = WorksheetFunction.Min(h_in(91), h_in(92), h_in(93), h_in(94),
h_in(95), h_in(96), h_in(97), h_in(98), h_in(99), h_in(100), h_in(101), h_in(102),
h_in(103), h_in(104), h_in(105), h_in(106), h_in(107), h_in(108), h_in(109),
h_in(110), h_in(111), h_in(112), h_in(113), h_in(114), h_in(115), h_in(116),
h_in(117), h_in(118), h_in(119), h_in(120))
```

```
h_min5 = WorksheetFunction.Min(h_in(121), h_in(122), h_in(123), h_in(124),
h_in(125), h_in(126), h_in(127), h_in(128), h_in(129), h_in(130), h_in(131),
h_in(132), h_in(133), h_in(134), h_in(135), h_in(136), h_in(137), h_in(138),
h_in(139), h_in(140), h_in(141), h_in(142), h_in(143), h_in(144), h_in(145),
h_in(146), h_in(147), h_in(148), h_in(149), h_in(150))
```

```
h_min6 = WorksheetFunction.Min(h_in(151), h_in(152), h_in(153), h_in(154),
h_in(155), h_in(156), h_in(157), h_in(158), h_in(159), h_in(160), h_in(161),
h_in(162), h_in(163), h_in(164), h_in(165), h_in(166), h_in(167), h_in(168),
h_in(169), h_in(170), h_in(171), h_in(172), h_in(173), h_in(174), h_in(175),
h_in(176))
```

```
h_min7 = WorksheetFunction.Min(h_out(1), h_out(2), h_out(3), h_out(4),
h_out(5), h_out(6), h_out(7), h_out(8), h_out(9), h_out(10), h_out(11), h_out(12),
h_out(13), h_out(14), h_out(15), h_out(16), h_out(17), h_out(18), h_out(19))
```

```
h_min = WorksheetFunction.Min(h_min1, h_min2, h_min3, h_min4, h_min5,
h_min6, h_min7)
```

'Looping

kolom = 19

(lanjutan)

Do

'Mencari Nilai y

'Untuk Fungsi Integer

y = Int((h_min / incremental) * incremental

'Untuk Fungsi RoundUp = Total Biaya akan Sama Semua

'y = WorksheetFunction.RoundUp(((h_min / incremental)) * incremental, 0)

Worksheets("IntegerRatio").Cells(20, kolom).Value = incremental

Worksheets("IntegerRatio").Cells(21, kolom).Value = y

'Mencari Lower dan Upper Bound

For n = 1 To 176

lower_bound_in(n) = (((n - 1) * n) ^ 0.5 * y)

Next n

For n = 1 To 176

upper_bound_in(n) = ((n * (n + 1)) ^ 0.5 * y)

Next n

For n = 1 To 19

lower_bound_out(n) = (((n - 1) * n) ^ 0.5 * y)

Next n

For n = 1 To 19

upper_bound_out(n) = ((n * (n + 1)) ^ 0.5 * y)

Next n

'Memasukkan Lower dan Upper Bound ke dalam Excel

For i = 1 To 176

Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 23, kolom).Value = lower_bound_in(i)

Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 23, kolom + 1).Value = upper_bound_in(i)

Next i

For i = 1 To 19

Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 23, kolom + 3).Value = lower_bound_out(i)

Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 23, kolom + 4).Value = upper_bound_out(i)

Next i

(lanjutan)

'Mencari Nilai Headway Akhir

```

For i = 1 To 176
  For j = 1 To 176
    If (h_in(i) > lower_bound_in(j) And h_in(i) <= upper_bound_in(j)) Then
      Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 23, kolom + 2).Value = j * y
    End If
  Next j
Next i

```

```

For i = 1 To 19
  For j = 1 To 19
    If (h_out(i) > lower_bound_out(j) And h_out(i) <= upper_bound_out(j)) Then
      Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 23, kolom + 5).Value = j * y
    End If
  Next j
Next i

```

'Menghitung Fungsi Objektif

```

For i = 1 To 1
  operating_cost_in = Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 380, kolom).Value
Next i

```

```

For i = 1 To 1
  operating_cost_out = Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 380, kolom + 1).Value
Next i

```

```

For i = 1 To 1
  inventory_cost_in = Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 380, kolom + 2).Value
Next i

```

```

For i = 1 To 1
  inventory_cost_out = Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 380, kolom + 3).Value
Next i

```

```

For i = 1 To 1
  transshipment_cost = 0.5 * 210 * Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 380, kolom
+ 4).Value
Next i

```

```

total_system_cost = operating_cost_in + operating_cost_out + inventory_cost_in
+ inventory_cost_out + transshipment_cost

```

```

For i = 1 To 1

```

(lanjutan)

```
total_system_cost = Worksheets("IntegerRatio").Cells(i + 382, kolom + 4).Value  
Next i
```

```
incremental = incremental + 0.1  
kolom = kolom + 10  
Loop Until incremental > 2.1
```

```
End Sub
```

