



---

**DISERTASI**

**Model Optimasi untuk Dynamic Supplier Selection  
Problem**

**PURNAWAN ADI WICAKSONO**

**NRP 02411260010002**

**PROMOTOR**

**Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng., Ph.D, CSCP.**

**CO-PROMOTOR**

**Dr.Eng. Erwin Widodo, S.T, M.Eng**

**PROGRAM DOKTOR**

**BIDANG MINAT SUPPLY CHAIN**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI**

**FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI**

**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

**SURABAYA**

**2018**



# MODEL OPTIMASI UNTUK DYNAMIC SUPPLIER SELECTION PROBLEM

Disertasi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
Doktor (Dr.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

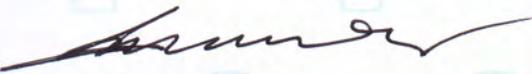
Oleh :

**PURNAWAN ADI WICAKSONO**  
**NRP 02411260010002**

Tanggal Ujian : 9 Agustus 2018

Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh :



1. **Prof. Ir I Nyoman Pujawan, M.Eng., Ph.D., CSCP**  
**NIP. 195903181987011001**

(Promotor)



2. **Erwin Widodo, S.T., M.Eng, Dr.Eng**  
**NIP. 19740517199903 1002**

(Co-Promotor)

3. **Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE., Ph.D**  
**NIP. 197005231996011001**

(Penguji 1)



4. **Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc**  
**NIP. 195204171979031002**

(Penguji 2)



5. **I Gede Agus Widyadana, Ph.D**  
**NIDN 0708107101**

(Penguji 3)

Dekan Fakultas Teknologi Industri

**Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M. T.**  
**NIP. 196905071995121001**



## ABSTRAK

### MODEL OPTIMASI UNTUK DYNAMIC SUPPLIER SELECTION PROBLEM

Nama Mahasiswa : Purnawan Adi Wicaksono  
NRP : 02411260010002  
Bidang Keahlian : Logistik & Rekayasa Rantai Pasok  
Promotor : Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng., Ph.D., CSCP.  
Co-Promotor : Dr. Eng. Erwin Widodo, S.T., M.Eng.

Permasalahan pemilihan pemasok telah mendapatkan perhatian yang besar dari praktisi maupun akademisi karena merupakan keputusan paling penting yang harus dilakukan dalam proses *sourcing* dimana sekarang mayoritas manufaktur mengandalkan pemasok untuk melakukan kegiatan produksi. Sehingga jika kegiatan pemilihan pemasok dapat dilakukan lebih efisien maka kinerja rantai pasok akan lebih baik. Disertasi ini bertujuan untuk menyusun model optimasi untuk *dynamic supplier selection problem* (DSSP) yang dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan keilmuan *supply chain* dan berkontribusi pula pada praktisi pengadaan.

Permasalahan yang akan dibahas pada disertasi ini adalah penentuan kebijakan pengadaan single period atau multiple period dan efek konsolidasi pengiriman pada *dynamic supplier selection problem* (DSSP). Untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan, peneliti menggunakan metode *modeling validating process* yang terdiri dari empat aktivitas yaitu perumusan permasalahan, penyusunan konseptual model, penyusunan model formal dan interpretasi hasil. Model optimasi DSSP ini dikembangkan dengan Mixed Integer Linear Programming (MILP).

Penelitian ini menghasilkan tiga model DSSP. Model pertama membahas permasalahan bagaimana pemanufaktur melakukan pengadaan untuk multi produk dari multi pemasok dalam jangka waktu multi periode dengan mempertimbangkan

pengiriman *full truck load* (FTL) dari pemasok ke pamanufaktur. Model kedua membahas bagaimana pamanufaktur melakukan pengadaan untuk multi produk dari multi pemasok dalam jangka waktu multi periode diintegrasikan dengan pemilihan *carrier*. Sedangkan pada model 3 membahas *dynamic supplier selection problem* mempertimbangkan *full truck load* dan permintaan tidak pasti dengan memformulasi model matematika pada optimasi linier *fuzzy*.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik tiga kesimpulan. Pertama, DSPP akan lebih baik dilakukan untuk praktisi pengadaan dibandingkan TSSP pada kondisi permintaan mengikuti pola permintaan *non stationary* karena biaya yang pengadaan yang dihasilkan melalui DSSP lebih kecil dibandingkan jika menggunakan TSSP. Kedua, Model DSSP dengan pemilihan *carrier* menghasilkan alokasi pesanan kepada pemasok dan pemilihan *carrier* yang berbeda antara strategi konsolidasi dan non konsolidasi, namun demikian biaya procurement yang dikeluarkan tidak berbeda signifikan diantara dua strategi tersebut. Ketiga, Genetic Algorithm dan prosedurnya dapat digunakan untuk menyelesaikan DSSP yang ukurannya lebih besar dengan semakin bertambahnya jumlah periode, produk dan pemasok yang akan mengakibatkan software komersial tidak mampu menyelesaikannya.

**Kata Kunci** : DSSP, MILP, GA, Optimisasi

## **ABSTRACT**

Name : Purnawan Adi Wicaksono  
Student ID : 02411260010002  
Supervisor : Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M.Eng., Ph.D., CSCP.  
Co- Supervisor : Dr. Eng. Erwin Widodo, S.T., M.Eng.

Supplier selection problem have received great attention from practitioners and academics because it is the most important decision to be made in the sourcing process by which the majority of manufacturers now rely on suppliers to carry out production activities. If supplier selection activities can be done more efficiently then supply chain performance will be better. The dissertation aims to develop an optimization model for dynamic supplier selection problems (DSSP) that can contribute to development of supply chain theoretical and to procurement practitioners.

The problem to be discussed in this dissertation is the determination of procurement policy of single period or multiple period and consolidation effect of delivery in dynamic supplier selection problem (DSSP). To achieve the predetermined objectives, the researchers use modeling validating process method that consisting of four activities, namely problem formulation, conceptual modeling, formal modeling and result interpretation. This DSSP optimization model is developed with Mixed Integer Linear Programming (MILP).

This research study developed three DSSP models. The first model addresses the issue of how manufacturers procure multi-products from multi-suppliers over multi-periods considering the delivery of full truck load (FTL) from suppliers to manufacturer. The second model discusses how manufacturer procures for multi-products from multi-suppliers in multi-periods and integrates with carrier selection. Furthermore, model 3 discusses dynamic supplier selection problem considering full truck load under uncertain demand by formulating mathematical model on fuzzy linear optimization.

Based on the research, it can be got three conclusions. First, DSPP will be better done for procurement practitioners than TSSP on demand condition following non stationary demand pattern because procurement cost generated through DSSP is smaller than TSSP. Second, The DSSP model with carrier selection resulted in the allocation of orders to suppliers and different carrier selection between non consolidation and consolidation strategy, however the procurement cost incurred did not differ significantly between the two strategies. Third, Genetic Algorithm and its procedures can be used to solve larger DSSP with increasing number of periods, products and suppliers that will result in commercial software unable to complete.

**Keyword** : DSSP, MILP, GA, Optimization

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

اللَّهُمَّ صَلِّ وَسَلِّمْ وَبَارِكْ عَلَى نَبِيِّنَا مُحَمَّدٍ وَآلِهِ الطَّيِّبِينَ الطَّاهِرِينَ Segala puji bagi Allah Subhanahu Wa Taala - Tuhan Semesta Alam yang telah memberikan nikmat-Nya sehingga saya pada akhirnya diberikan nikmat mampu menyelesaikan studi program doktor di Teknik Industri ITS, Surabaya. Semoga ilmu yang saya peroleh selama masa studi dapat menjadi barokah bagi diri, keluarga dan bangsa serta alam raya.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya saya sematkan kepada promotor utama Bapak Prof. Ir. I Nyoman Pujawan, M. Eng., Ph.D., CSCP dan co-promotor Bapak Dr. Eng. Erwin Widodo, ST., M. Eng. yang telah menjadi pembimbing selama menempuh pendidikan di S3 TI ITS. Pengetahuan, teladan dan bimbingan yang telah diberikan semoga menjadi modal dalam menjalani kehidupan dan pengabdian di masa yang akan datang. Semoga kita semua senantiasa dilimpahi keberkahan.

Untuk para penguji, ucapan terima kasih saya sampaikan kepada Bapak Prof. Dr. Ir. Abdullah Shahab, M.Sc, Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE., Ph.D dan I Gede Agus Widyadana, Ph.D, yang telah memberikan pengetahuan dan masukan dari sudut pandang yang berbeda sehingga memperluas wawasan keilmuan yang saya peroleh. Ucapan terima kasih juga saya haturkan kepada pengelola program S3 Teknik Industri, bapak Dr. Eng. Erwin Widodo, ST., M. Eng dan ibu Dyah Santhi Dewi, ST., M. Eng. Sc., Ph.D, serta dosen-dosen Pascasarjana Teknik Industri-ITS, yang telah mendidik dan mengarahkan dalam rentang waktu penyelesaian studi. Terima kasih juga untuk tenaga akademik yang selalu membantu sampai tahap akhir. Teman-teman S3 yang menjadi bagian dari kebersamaan dalam proses studi, kalianlah yang menguatkan dan memberi jalan untuk tetap bertahan dan menyelesaikan rangkaian cerita sekolah doktoral ini, terima kasih atas segalanya, semoga kalian dimudahkan dan kebersamaan ini akan terus bertahan meski dalam nuansa yang berbeda.

Untuk Departemen Teknik Industri Universitas Diponegoro, terima kasih telah memberi kesempatan melanjutkan studi. Terima kasih juga untuk pemberi

beasiswa kuliah S3BPP-DN Dikti selama masa studi. Terima kasih untuk Dekan FT-UNDIP Bapak

Ir. M. Agung Wibowo, MM, MSc, PhD. yang telah memberi dukungan untuk menyelesaikan studi S3, Kadep Teknik Industri Undip Ibu Dr Ratna Purwaningsih ST., MT, serta kolega S3 di departemen Teknik Industri Bapak Heru Prastawa, DEA dan Ibu Sri Hartini, ST, MT, serta kolega dosen di Departemen Teknik Industri Undip, yang telah mendukung dan memberi semangat untuk terus bergerak menyelesaikan studi. Terima kasih pula kepada Bapak Sutrisno, SSi, MSi dari Departemen Matematika Undip sebagai parter menyelesaikan disertasi. Sahabat-sahabat yang tidak saya sebutkan satu per satu juga saya ucapkan terima kasih.

Untuk orang tua saya, Almarhum Bapak-Ibu Soeharto, AP dan Bapak-Ibu Mulyoto, Istri idaman-Prita Farinia, anak-anakku; Ammar Fayiz, Aurel Norinia Azzahra, Averrous Arrazi dan Abbas Brilliant Wicaksono, Saudara-saudariku Almarhum Prima Sari Noverini, Isnanto Nugroho, Ratri Salasatul Survivalina dan Arifa Candra Arbaani, kalianlah yang menjadi motivasi terbesar dalam menyelesaikan tantangan yang saya hadapi. Ungkapan kata tidak sanggup kutuliskan, namun rasa yang terpatri dalam hati menjadikan semuanya tak berarti tanpa dukungan, harapan, kesabaran dan doa yang senantiasa kalian berikan. Semoga ilmu yang saya peroleh yang dengannya memberi barokah bagi kita semua.

Akhirnya atas segala khilaf dan salah yang pernah terlintas dalam pikiran, terucap dalam perkataan atau pun terjadi dalam aksi saya mohon dimaafkan.

Surabaya, Residensi S3, 30 Juli 2018

**Purnawan Adi Wicaksono**

**02411260010002**

## DAFTAR ISI

DISERTASI .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	v
ABSTRACT .....	vii
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
DAFTAR PUBLIKASI YANG SUDAH DIHASILKAN .....	xix
DAFTAR SINGKATAN .....	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar belakang .....	1
1.2 Pertanyaan penelitian .....	7
1.3 Kontribusi .....	8
1.4 Ruang lingkup penelitian .....	9
1.5 Sistematika penulisan .....	12
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....	15
2.1 Proses <i>Sourcing</i> dalam <i>Supply Chain Management</i> .....	15
2.2 Supplier Selection Problem .....	18
2.2.1 Traditional Supplier Selection Problem .....	19
2.2.2 Dynamic Supplier Selection Problem .....	21
2.2.3 Model-Model pada Permasalahan Pemilihan Pemasok .....	23
2.3 Transportasi pada Permasalahan Pemilihan Pemasok .....	23
2.4 Ketidakpastian Permintaan pada Permasalahan Pemilihan Pemasok ....	26
2.5 Genetic Algorithm (GA) .....	27
2.6 Kebutuhan Penelitian .....	28

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	37
3.1 Permasalahan .....	39
3.2 Model Konseptual.....	40
3.2.1 Model 1.....	40
3.2.2 Model 2.....	42
3.2.3 Model 3.....	43
3.3 Model Formal.....	45
3.3.1 Model 1.....	45
3.3.2 Model 2.....	48
3.3.3 Model 3.....	51
3.4 Solusi.....	54
BAB 4 PROSES PEMILIHAN PEMASOK MEMPERTIMBANGKAN PENGIRIMAN DENGAN TRUK .....	55
4.1 Latar Belakang.....	55
4.2 Telaah Literatur.....	57
4.3 Model DSSP Mempertimbangkan Beban Pengiriman Truk.....	59
4.4 Contoh Numerik.....	63
4.5 Analisis Sensitivitas .....	66
4.5.1 Pengaruh Fluktuasi Permintaan .....	66
4.5.2 Pengaruh Biaya Shortage dan Inventori .....	68
4.6 Algoritma Genetik .....	69
4.7 Kesimpulan .....	78
BAB 5 MODEL MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING UNTUK PERMASALAHAN DYNAMIC SUPPLIER DAN PEMILIHAN CARRIER....	79
5.1 Latar Belakang.....	79
5.2 Telaah Literatur.....	82
5.3 Permasalahan dan Kerangka Kerja Penelitian .....	87
5.3.1 Permasalahan.....	87

5.3.2	Kerangka Kerja Penelitian .....	87
5.4	Model Usulan .....	88
5.4.1	Daftar Asumsi .....	88
5.4.2	Daftar Indeks.....	89
5.4.3	Daftar Variabel Keputusan.....	89
5.4.4	Daftar Parameter .....	89
5.4.5	Formulasi Matematika .....	90
5.5	Contoh Numerik .....	92
5.6	Hasil dan Analisis.....	94
5.6.1	Hasil Eksperimen .....	94
5.6.2	Analisis Sensitivitas .....	96
5.7	Kesimpulan dan Penelitian Berikutnya .....	97
BAB 6 DYNAMIC SUPPLIER SELECTION DAN STRATEGI OPTIMALNYA MEMPERTIMBANGKAN FULL TRUCK LOAD DAN PERMINTAAN FUZZY.....		
		99
6.1	Latar Belakang.....	99
6.2	Model.....	101
6.3	Hasil dan Diskusi.....	106
6.3.1	Contoh Numerik.....	106
6.3.2	Diskusi.....	112
6.4	Kesimpulan.....	113
BAB 7 DISKUSI, RINGKASAN DAN KESIMPULAN .....		
		115
7.1	Diskusi dan Ringkasan .....	115
7.2	Kesimpulan.....	118
7.3	Kontribusi Penelitian.....	119
7.4	Penelitian Berikutnya .....	119
7.5	Implikasi Manajerial.....	120
DAFTAR PUSTAKA.....		121

LAMPIRAN..... 129

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Skenario DSSP dengan FOB Origin tanpa Carrier .....	11
Gambar 1.2 Skenario DSSP dengan FOB Origin dengan Carrier tanpa Konsolidasi .....	11
Gambar 1.3 Skenario DSSP dengan FOB Origin dengan Carrier dan Konsolidasi .....	12
Gambar 2.1 Gap Riset .....	30
Gambar 3.1 Modeling-Validating Process (Landry et al., 1983).....	39
Gambar 3.2 Model 1 yang dipertimbangkan.....	41
Gambar 3.3 Model 2 yang dipertimbangkan.....	42
Gambar 3.4 Model 3 yang dipertimbangkan.....	44
Gambar 4.1 Hubungan antara biaya pengadaan dan koefisien variasi.....	67
Gambar 4.2 Keputusan optimal jumlah barang yang dibeli hasil dari GA.....	75
Gambar 4.3 Keputusan optimal 3 produk 5 pemasok 10 periode hasil dari GA .....	76
Gambar 5.1. Ilustrasi DSSP.....	87
Gambar 5.2 Hubungan antara biaya pengadaan dengan koefisien variasi.....	96
Gambar 6.1 Prosedur penyelesaian masalah.....	102
Gambar 6.2 Alokasi produk untuk tiap pemasok periods 1 - 10.....	110
Gambar 6.3 Fungsi Keanggotaan Trapezoidal $\mu_{\tilde{D}_{ip}} = (a_{ip}, b_{ip}, c_{ip}, d_{ip})$ .....	112
Gambar 6.4 Volume alokasi produk yang optimal pada contoh 2.....	114
Gambar 7.1 Perbandingan DSSP dengan TSSP .....	116
Gambar 7.2 Pengaruh <i>coefficient of variance</i> model 2 tanpa konsolidasi .....	117



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ringkasan <i>literature review supplier selection model</i> .....	31
Tabel 4.1 Kontribusi dari penelitian yang dilakukan.....	59
Tabel 4.2 Skenario lima permintaan ( $D_{tp}$ ) tiga produk selama enam periode.....	64
Tabel 4.3 Harga per unit ( $UP_{sp}$ ) ( $UP_{sp}$ ), biaya pesan( $O_s$ ), biaya kontrak ( $NC_s$ ) untuk empat pemasok.....	64
Tabel 4.4 Persentase keterlambatan, Persentase cacat dan kapasitas pemasok untuk empat pemasok.....	64
Tabel 4.5 Biaya transportasi ( $TC_s$ ) dengan truk dari pemasok ke pamanufaktur..	64
Tabel 4.6 nilai dari $P_p^d$ , $P_p^l$ , $H_p$ , $SOC_p$ and $MS_{ip}$ untuk tiga produk.....	65
Tabel 4.7 Hasil eksperimen pertama untuk skenario permintaan 1 .....	66
Tabel 4.8 Hasil eksperimen kedua untuk skenario permintaan 1 .....	67
Tabel 4.9 Rincian biaya.....	68
Tabel 4.10 Total biaya pengadaan dengan perubahan biaya <i>shortage</i> .....	69
Tabel 4.11 Total biaya pengadaan dengan skenario tidak ada <i>backorder</i> pada akhir periode .....	69
Tabel 4.12 Jumlah variabel untuk permasalahan I (T,S,P).....	70
Tabel 4.13 Perbandingan hasil LINGO dan GA.....	74
Tabel 4.14 Nilai permintaan untuk 10 periode .....	74
Tabel 5.1 Kajian literatur.....	86
Tabel 5.2 Lima skenario permintaan.....	93
Tabel 5.3 harga per unit ( $UP_{sp}$ ), biaya pesan ( $O_s$ ), biaya kontrak ( $NC_s$ ).....	93
Tabel 5.4 persentase keterlambatan produk, cacat produk, dan kapasitas pemasok.....	93
Tabel 5.5 Biaya transportasi per unit menggunakan carrier r.....	94
Tabel 5.6 Kapasitas <i>carrier</i> .....	94

Tabel 5.7 Nilai $P_p^d$ , $P_p^l$ , $H_p$ , $SOC_p$ and $MS_{tp}$ .....	94
Tabel 5.8 Hasil akhir pemilihan pemasok dan <i>carrier</i> untuk skenario permintaan 1 .....	95
Tabel 5.9 Efek biaya <i>shortage</i> .....	96
Tabel 5.10 Efek dari <i>unreliable delivery performance</i> .....	97
Tabel 6.1 Unit Price .....	106
Tabel 6.2 Kapasitas Pemasok .....	106
Tabel 6.3 Nilai Parameter Untuk Semua Periode .....	107
Tabel 6.4 Nilai Parameter Pemasok Untuk Semua Periode .....	107
Tabel 6.5 Tingkat Produk Cacat Untuk Semua Periode .....	107
Tabel 6.6 Tingkat Keterlambatan Untuk Semua Periode .....	107
Tabel 6.7 Fungsi Keanggotaan Trapezoidal dari $\tilde{D}_{tp}$ .....	111

## DAFTAR PUBLIKASI YANG SUDAH DIHASILKAN

### Artikel Jurnal

Wicaksono, P. A., Pujawan, I. N., Widodo, E. 201x. A Mixed Integer Linear Programming Model for Dynamic Supplier and Carrier Selection Problems. *International Journal of Procurement Management*. (in press)

Wicaksono, P. A., Pujawan, I. N., Widodo, E., Sutrisno. 201x. Dynamic Supplier Selection and Its Optimal Strategy Considering Full Truck Load and Fuzzy Demand Using Fuzzy Expected Value Based Programming. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*. (under review)

### Artikel Prodising

Wicaksono, P. A., Pujawan, I. N., Widodo, E. 2014. The Dynamic Supplier Selection Problem (DSSP): Review and Research Opportunities. 6th International Conference on Operations and Supply Chain Management, Bali, Indonesia.

Wicaksono, P. A., Pujawan, I. N., Widodo, E. 2016. Supplier Selection Model Considering Truckload Shipping. 7th International Conference on Operations and Supply Chain Management, Phuket, Thailand.

Wicaksono, P. A., Pujawan, I. N., Widodo, E., Sutrisno, Izzatunnisa, L. 2018. Mixed Integer Linear Programming Model for Dynamic Supplier Selection Problem Considering Discounts. *MATEC Web of Conferences* 154, 01071.

### Book Chapter

Wicaksono, P. A., Pujawan, I. N., Widodo, E., 2014, Sourcing Decisions Under Different Demand Patterns, In: METRI, B & PUJAWAN, I. N. (eds) *Trends in Operations and Supply Chain Management*. New Delhi : McGraw-Hill Education.



## **DAFTAR SINGKATAN**

- DSSP Dynamic Supplier Selection Problem
- MILP Mixed Integer Linear Programming
- GA Genetic Algorithm



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Dewasa ini, perusahaan dihadapkan pada persaingan ketat yang diakibatkan oleh adanya pasar global. Karakter persaingan ini adalah tipisnya margin keuntungan, harapan yang tinggi dari konsumen terhadap kualitas produk serta pendeknya waktu pemenuhan produk (Aissaoui, Haouari and Hassini, 2007). Oleh karena itu, perusahaan harus meningkatkan kinerja proses bisnisnya agar senantiasa dapat bersaing di pasar global.

Salah satu proses bisnis yang harus dikelola dengan baik adalah *sourcing*. Proses *sourcing* ini penting karena 40-70% biaya dari sebuah produk yang merupakan biaya material diperoleh melalui proses *sourcing* (Pujawan and Er, 2010). Disamping itu, sebagai contoh pentingnya pengelolaan fungsi *sourcing* adalah ketika pada tahun 2000 terjadi kebakaran pada pabrik mikrochip philips di Albuquerque, New Mexico yang memproduksi *radio frequency (RF) chip* untuk komponen telepon seluler Nokia dan Ericsson, Nokia dengan cepat melakukan perubahan desain sehingga dapat memperoleh *micro chip* serupa dari dua pemasok lain satu di Jepang dan satu lagi di Amerika Serikat, serta meminta pemasok memenuhi permintaan tersebut hanya dalam lima hari. Sedangkan Ericsson tidak memiliki pemasok lainnya karena ingin memangkas biaya sehingga tidak ada pasokan *micro chip*. Hal ini mengakibatkan fasilitas produksi di Ericsson terhenti serta tertundanya peluncuran produk baru. Pada akhirnya, Nokia mampu mencuri pangsa pasar dari Ericsson karena memiliki *multi supplier* (Lee, 2004).

Chopra & Meindl (2010) mendefinisikan *sourcing* adalah serangkaian proses bisnis meliputi *supplier scoring and assessment, supplier selection and contract negotiation, design collaboration, sourcing and procurement planning and analysis* yang harus dilakukan ketika membeli barang atau jasa. Beberapa

implementasi proses *sourcing* antara lain Apple melakukan *outsourcing* proses produksinya ke perusahaan SCI dan melakukan kontrak dengan beberapa pemanufaktur untuk mengurangi biaya manufaktur dan biaya penyimpanan serta tetap memfokuskan sumber dayanya pada pengembangan produk dan pemasaran (Sturgeon, 2002). Manufaktur mobil Chrysler melakukan *value-managed relationships* yang mengonsolidasikan pembelian komponen-komponen dari beberapa pemasok. *Value-managed relationships* dilakukan antara Chrysler dan pemasok utamanya dengan menetapkan tujuan bersama mencapai total biaya sistem terendah. Pada akhirnya, *value-managed relationships* diharapkan mampu mempertahankan biaya yang kompetitif, kualitas tinggi, dan pengiriman yang efisien (Gottfredson, Puryear and Phillips, 2005).

Di sisi lain, Aissaoui et al. (2007) menyatakan ada enam proses pengambilan keputusan *purchasing* yaitu (1) *make or buy*, (2) *supplier selection*, (3) *contract negotiation*, (4) *design collaboration*, (5) *procurement*, dan (6) *sourcing analysis*. Terminologi *sourcing* dan *purchasing* seringkali membingungkan dan digunakan bergantian. Istilah *purchasing* biasanya dipakai untuk pengadaan bahan mentah sedangkan *sourcing* biasanya dipakai untuk pengadaan barang setengah jadi ataupun barang jadi. Artinya perbedaan antara *purchasing* dan *sourcing* adalah apakah pemasok melakukan proses penambahan nilai atau tidak.

Berdasarkan dua pengertian di atas, terdapat perbedaan terminologi di antara *purchasing* dan *sourcing*, namun demikian pengertian dari dua terminologi adalah sama yaitu proses bisnis yang dilakukan untuk memperoleh barang atau jasa. Salah satu tugas *purchasing department* yang paling penting adalah memilih pemasok yang tepat sehingga dapat menurunkan biaya pembelian dan meningkatkan daya saing perusahaan. Tahapan 2, 5 dan 6 sepenuhnya menjadi tanggung jawab *purchasing department* (Aissaoui, Haouari and Hassini, 2007). Pada tahap 2, sekelompok pemasok dievaluasi terlebih dahulu dan dipilih sesuai dengan beberapa kriteria. Misalnya, hanya pemasok yang memiliki kemampuan teknologi yang sesuai dengan persyaratan pembeli yang mungkin disetujui. Setelah tahap 2, muncul pertanyaan berapa banyak dan siapa dari sekelompok

pemasok yang telah disetujui harus memasok produk yang dibutuhkan. Kemudian para pembuat keputusan yang mungkin berasal dari peran yang berbeda (seperti manajer senior, manajer produksi, dan manajer pembelian), biasanya berkumpul untuk mengevaluasi pemasok (Ustun and Demirtas, 2008a; Jolai *et al.*, 2011). Literatur yang ada menunjukkan bahwa untuk dapat melakukan pengambilan keputusan ini dapat diselesaikan dengan model pemrograman matematika untuk menilai pemasok berdasarkan beberapa kriteria penting seperti harga, kualitas, pengiriman, permintaan pasar, dan kapasitas pemasok (Jadidi, Zolfaghari and Cavalieri, 2014). Penelitian yang menjawab pertanyaan *lot sizing* dan pemilihan pemasok berada pada tahapan 5 yaitu *procurement*. Disertasi ini akan terkait dengan tahapan *procurement*.

Dua puluh tahun terakhir ini, *supplier selection problem* telah mendapatkan perhatian yang besar dari praktisi maupun akademisi. *Supplier selection* adalah keputusan paling penting yang harus dilakukan dalam proses *sourcing* (Weber, Current and Benton, 1991). Boer, Labro, & Morlacchi (2001) mengusulkan empat langkah untuk membuat keputusan *supplier selection* yaitu (1) *problem formulation*, (2) *criteria formulation*, (3) *qualification*, (4) *final selection*. Berdasarkan langkah tersebut disertasi ini berkaitan dengan langkah *final selection*.

Pemilihan pemasok merupakan permasalahan multi kriteria dimana antara kriteria satu dengan yang lainnya saling mempengaruhi dalam evaluasi dan pemilihan pemasok. Dickson (1966) telah mengidentifikasi 23 (dua puluh tiga) kriteria untuk permasalahan pemilihan pemasok, dengan mengirimkan kuesioner kepada 273 agen dan manajer *purchasing* di Amerika Serikat dan Kanada. Enam kriteria teratas adalah kualitas, pengiriman, kinerja masa lalu, kebijakan garansi, fasilitas produksi dan kapasitas, harga. Namun demikian dalam prakteknya, tingkat kepentingan dari kriteria mungkin berubah dari satu industri dengan industri lain. Peneliti-peneliti yang mengembangkan program matematika untuk permasalahan pemilihan pemasok kebanyakan menggunakan harga, kualitas dan pengiriman sebagai kriteria yang mempengaruhi pemilihan pemasok (Bilsel & Ravindran, 2011; Liao & Rittscher, 2007a; Wadhwa & Ravindran, 2007).

*Supplier selection problem* menjadi hal yang penting ketika sebuah organisasi harus memilih pemasok untuk periode jamak serta ketika melihat kapasitas pemasok, tingkat kualitas pemasok, *lead time* dan berbagai parameter biaya dalam keadaan bervariasi. *Supplier selection problem* untuk keadaan *multi period*, *multi product* serta *multi supplier* menjadi fenomena yang terjadi dalam organisasi bisnis yang besar dimana mereka harus menjaga tingkat kualitas sesuai yang diinginkan dengan *lead time* yang singkat. Beberapa literatur menyebut hal ini sebagai *Dynamic Supplier Selection Problem* (DSSP). DSSP terjadi ketika suatu organisasi harus memilih pemasok yang berbeda pada setiap kurun waktu yang telah ditentukan. Hal ini terjadi akibat keterbatasan pemasok yang tidak mampu memenuhi semua permintaan pelanggan atau ada variasi pada kinerja pemasok, sehingga pemasok yang paling baik pada periode tertentu mungkin bukan yang terbaik pada periode berikutnya.

DSSP berbeda dengan *Traditional Supplier Selection Problem* (TSSP) dimana semua pemasok dapat memenuhi semua permintaan pelanggan dalam hal kuantitas, kualitas, dan *delivery*, sedangkan pada DSSP tidak ada satupun pemasok yang mampu memenuhi semua permintaan konsumen diakibatkan keterbatasan pemasok dalam hal kapasitas, tingkat kualitas, waktu pengiriman, harga dan lain-lain (Ware, Singh and Banwet, 2014).

Beberapa peneliti mencoba menggabungkan *supplier selection* dan *lotsizing* dengan mempertimbangkan periode multi horizon (Basnet & Leung, 2005; Ustun & Demirtas, 2008a, 2008b; Demirtas & Ustun, 2009; Kara, 2011). *Supplier selection* merupakan keputusan strategis sedangkan *lotsizing* adalah keputusan taktis. Pemecahan permasalahan *supplier selection* bertujuan untuk meminimasi biaya, memaksimalkan kualitas dan *service level* sedangkan *lotsizing* bertujuan untuk meminimasi biaya total yang meliputi biaya *inventory* dan biaya *shortage* (Choudhary and Shankar, 2013). *Lotsizing* dan *supplier selection* adalah dua keputusan penting yang harus dibuat pembeli, namun demikian dikarenakan adanya hubungan saling ketergantungan diantara dua keputusan tersebut maka pembeli tidak dapat melakukan optimasi secara terpisah (Rezaei and Davoodi, 2011). Karimia, Ghomia, & Wilson (2003) menyatakan beberapa karakteristik

penting model *lotsizing*, yaitu rencana horizon (*long term versus short term*), jumlah level (*single level versus multi-level*), jumlah produk (*single item versus multiple items*), kapasitas (*capacitated versus incapacitated*), *deterioration of items, demand, setup* dan *shortage*.

Sumber ketidakpastian dalam SCM yang menarik dan banyak dipelajari adalah permintaan. Hal ini disebabkan fakta bahwa pemenuhan permintaan pelanggan merupakan muara perencanaan *supply chain*. Terdapat dua aliran penelitian yang dapat diidentifikasi pada optimasi *supplier selection* : pertama yang mengasumsikan bahwa permintaan *stationary* (Basnet & Leung, 2005; Choudhary & Shankar, 2011, 2013; Demirtas & Ustun, 2009; Liao & Rittscher, 2007a; Mansini et al., 2012; Meena & Sarmah, 2013; Rezaei & Davoodi, 2011; Ustun & Demirtas, 2008a, 2008b; Choudhary & Shankar, 2014; Ware et al., 2014), sedangkan aliran kedua adalah yang mengasumsikan bahwa permintaan *non stationary* (Liao and Rittscher, 2007a; Yang, Yang and Abdel-malek, 2007; Awasthi et al., 2009; Kara, 2011; Zhang and Zhang, 2011; Guo and Li, 2014). Kebanyakan publikasi pada area *supplier selection* menggunakan pendekatan deterministik yang mengasumsikan semua parameter model adalah *stationary* serta tidak menunjukkan adanya perubahan. Namun demikian, pada kenyataannya sulit ditemukan parameter-parameter seperti permintaan produk, harga, ketersediaan, *lead time*, kapasitas dalam kondisi *stationary*. Parameter-parameter ini seharusnya berada dalam keadaan *non stationary*. Dalam konteks ini, model-model deterministik yang mengabaikan faktor *non stationary* mungkin saja menghasilkan kinerja yang baik dalam skenarionya, namun demikian untuk kondisi praktek riil akan menunjukkan kinerja yang kurang memuaskan.

Pada perkembangannya, kira-kira 50% dari total biaya logistik suatu produk dialokasikan untuk transportasi, oleh karena itu biaya transportasi harus senantiasa dipertimbangkan dalam pembelian barang (Swenseth and Godfrey, 2002). Transportasi merupakan salah satu elemen penting dalam *supply chain* yang berperan langsung dalam mengalirkan material mentah, setengah jadi maupun jadi dari pemasok ke konsumen. Lebih lanjut dengan perkembangan *third party logistics* (3PLs) yang pesat, *carrier* tidak hanya berfungsi sebagai

pengangkut material namun juga menyediakan jasa lain seperti *value added*, *inventory control* serta pengelolaan *warehouse* (Naim *et al.*, 2006). Namun demikian literatur pada area *supplier selection* sangat sedikit yang mempertimbangkan biaya transportasi. Tercatat Liao & Rittscher (2007a); Mansini, Savelsbergh, & Tocchella (2012); Choudhary & Shankar (2013); (Choudhary and Shankar, 2014) mencoba mempertimbangkan biaya transportasi dan *lotsizing* dalam modelnya.

Dampak transportasi pada pemilihan *multi supplier* kurang mendapat perhatian dalam literatur. Hal ini menjadi permasalahan karena membagi pesanan ke beberapa pemasok akan menyebabkan kuantitas pengiriman menjadi lebih kecil yang kemungkinan mengakibatkan biaya transportasi yang lebih besar. Oleh karena itu perlu dilakukan konsolidasi (*consolidation*) yaitu penggabungan pengiriman kecil-kecil menjadi pengiriman yang lebih besar agar didapatkan biaya transportasi lebih kecil. Selain itu, transportasi dan persediaan saling memiliki keterkaitan dan memberikan kontribusi yang paling terhadap total biaya logistik yang meliputi biaya yang dikeluarkan kepada pemasok ketika produk menunggu untuk dikirim, biaya ketika produk dalam pengiriman dan biaya yang terjadi pada pembeli ketika produk menunggu untuk digunakan. Transportasi memiliki dampak langsung pula pada *lead time* yang mempengaruhi waktu total siklus perusahaan.

Literatur yang ada pada *supplier selection* biasanya mengasumsikan bahwa biaya transportasi dikelola oleh pemasok (*FOB destination*). Namun demikian, Gentry & Farris (1992) menyatakan bahwa organisasi akan mendapatkan keuntungan dengan membeli barang dengan *FOB (Free on board) origin*, seperti: (1) kontrol dan pemilihan *carrier*; (2) negosiasi komoditas khusus atau diskon dengan *carrier*; (3) kemampuan memilih *carrier* khusus ketika pengambilan produk dari pemasok dapat dialihkan; dan (4) isolasi dan identifikasi pengiriman sebagai biaya yang terpisah dari harga produk. Dengan demikian, biaya *inbound transportation* dapat dikelola oleh manufaktur dan dimasukkan sebagai parameter yang eksplisit yang dipertimbangkan sebagai pemilihan *carrier*.

Mayoritas literatur dalam *supplier selection* hanya mempertimbangkan pemilihan pemasok dan penentuan alokasi pesanan terhadap pemasok terpilih. Ghodsypour & Brien (2001) membangun model untuk memilih pemasok yang tepat dan menentukan alokasi pemesanan kepada pemasok terpilih untuk meminimasi total biaya logistik. Literatur selanjutnya mulai mempertimbangkan *lotsizing* untuk periode jamak dengan menentukan jumlah produk yang harus dibeli pada setiap periode. Basnet & Leung (2005) mengembangkan skenario *lotsizing* periode jamak dimana terdapat produk jamak dan pemasok jamak. Model ini membantu pengambil keputusan untuk menentukan berapa banyak produk yang harus dipesan kepada pemasok terpilih pada setiap periode.

Meningkatnya isu tentang tingginya biaya transportasi dalam *supply chain* membuat beberapa peneliti mencoba mempertimbangkan *carrier selection* dalam keputusan memilih pemasok untuk dapat meminimasi biaya (Liao & Rittscher, 2007a; Mansini et al., 2012; Choudhary & Shankar, 2013; Choudhary & Shankar, 2014). Meskipun literatur pada area *supplier selection* sudah sangat banyak menarik perhatian beberapa peneliti terdahulu, namun demikian masih ada beberapa kekurangan yang bisa dijadikan celah penelitian yaitu literatur pada area ini masih sedikit yang mengulas *dynamic supplier selection problem* dalam keadaan *non stationary demand* serta penggunaan kebijakan *FOB origin* ketika memasukkan pertimbangan biaya transportasi ke dalam model pemilihan pemasok.

## **1.2 Pertanyaan penelitian**

*Dynamic supplier selection problem* (DSSP) telah menjadi perhatian bagi praktisi dan peneliti. Dengan makin ketatnya persaingan diantara perusahaan terutama yang menghasilkan produk inovatif seperti dalam industri elektronik, maka perusahaan yang dapat memenangkan persaingan harus mampu mengelola permasalahan pemilihan pemasok dengan baik. Produk inovatif memiliki karakter yaitu permintaan yang fluktuatif dengan *life span* yang singkat. Tingkat fluktuatif ini salah satunya dipengaruhi oleh *product life cycle* produk inovatif sangat

pendek berkisar 3 bulan sampai satu tahun serta variasi produk yang sangat banyak.

Disamping itu untuk menghasilkan produk inovatif, pamanufaktur biasanya melakukan proses *sourcing* untuk bagian-bagian (*part-part*) penyusun produk kepada para pemasok-pemasok yang biayanya bisa mencapai 40-70% dari total biaya produk. Untuk mengirim produk-produk dari pemasok ke pamanufaktur, biaya transportasi menjadi salah satu pertimbangan ketika memutuskan memilih pemasok. Pamanufaktur dapat memilih model FOB *origin* ketika biaya transportasi menjadi pertimbangan dalam memilih pemasok.

Oleh karena itu disertasi ini berusaha menjawab pertanyaan-pertanyaan penelitian sebagai berikut :

1. Bagaimanakah sebaiknya kebijakan pamanufaktur ditentukan guna menghadapi permasalahan fluktuasi permintaan terkait dengan pilihan apakah lebih baik menggunakan *dynamic supplier selection problem (DSSP)* dimana pertimbangan proses *procurement* menggunakan *multi period* atau *traditional supplier selection problem (TSSP)* dimana pertimbangan proses *procurement* menggunakan *single period* ?
2. Bagaimanakah sebaiknya kebijakan pamanufaktur ditentukan apabila *dynamic supplier selection problem* yang dipilih, dengan skenario pembelian adalah *FOB Origin*, guna menghadapi permasalahan apakah lebih baik menggunakan model pembelian *multi product* dengan konsolidasi pengiriman produk dari semua pemasok atau tanpa konsolidasi produk ?

### **1.3 Kontribusi**

Disertasi ini diharapkan memberikan kontribusi kepada dunia akademi dan praktisi sebagai berikut :

1. Menambah literatur pada area *dynamic supplier selection problem (DSSP)* yaitu bagaimanakah model proses pengadaan *multi product, multi*

*supplier, multi period* yang tepat dengan skenario pembelian FOB *origin* dalam kondisi *non stationary demand*.

2. Membantu praktisi pengambil keputusan di perusahaan ketika dihadapkan pada *dynamic supplier selection problem* (DSSP) yaitu bagaimanakah melakukan proses pengadaan *multi product, multi supplier, multi period* yang tepat dengan mempertimbangkan apakah pembelian tersebut dilakukan dengan skenario pembelian FOB *origin* dengan konsolidasi ataukah tanpa konsolidasi dalam kondisi *non stationary demand*.

#### 1.4 Ruang lingkup penelitian

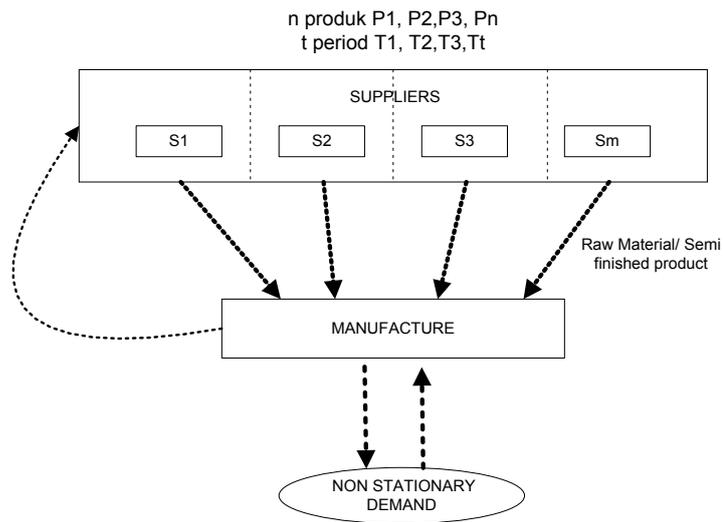
*Dynamic Supplier Selection Problem* (DSSP) terjadi ketika pamanufaktur hendak melakukan proses pengadaan *multi product* dari beberapa pemasok (*multi supplier*) untuk periode jamak (*multi period*), skema DSSP dapat dilihat pada Gambar 1.1, Gambar 1.2 dan Gambar 1.3. Permintaan produk yang diterima pamanufaktur adalah *non stationary* dan *uncertainty*. Pamanufaktur kemudian akan melakukan pengadaan *part-part* dari produk manufaktur, dimana *part-part* itu merupakan produk-produk dari pemasok. Masing-masing pemasok memiliki kapasitas produksi yang berlainan dan menawarkan harga per unit produk yang berlainan pula.

Ada tiga macam skenario pembelian yaitu skenario 1 FOB *origin* tanpa carrier seperti pada Gambar 1.1, skenario 2 FOB *origin* dengan carrier serta konsolidasi seperti Gambar 1.2 dan skenario 3 FOB *origin* tanpa carrier dengan permintaan tidak pasti seperti Gambar 1.3. Pada skenario 1 FOB *origin* tanpa carrier pamanufaktur memasukkan biaya transportasi dalam biaya *procurement*, sehingga akan lebih mudah mengetahui berapa besar biaya yang dikeluarkan untuk transportasi. Biaya transportasi dihitung berdasarkan frekuensi pengiriman *Full Truck Load* (FTL) dari pemasok ke manufaktur. Pada skenario 2 yaitu pembelian FOB *origin* dengan *carrier* dan konsolidasi, pamanufaktur dapat mengelola sendiri biaya transportasi (pengiriman) dengan mengalihkan proses

pengangkutan pada pihak ketiga yaitu *carrier*. Dengan skenario 2 ini, pamanufaktur dapat melakukan konsolidasi pengiriman terhadap produk-produk yang akan diambil dari semua pemasok. Pada skenario 3 FOB *origin* tanpa *carrier* merupakan pengembangan dari skenario 1 dengan mempertimbangkan ketidakpastian pada permintaan.

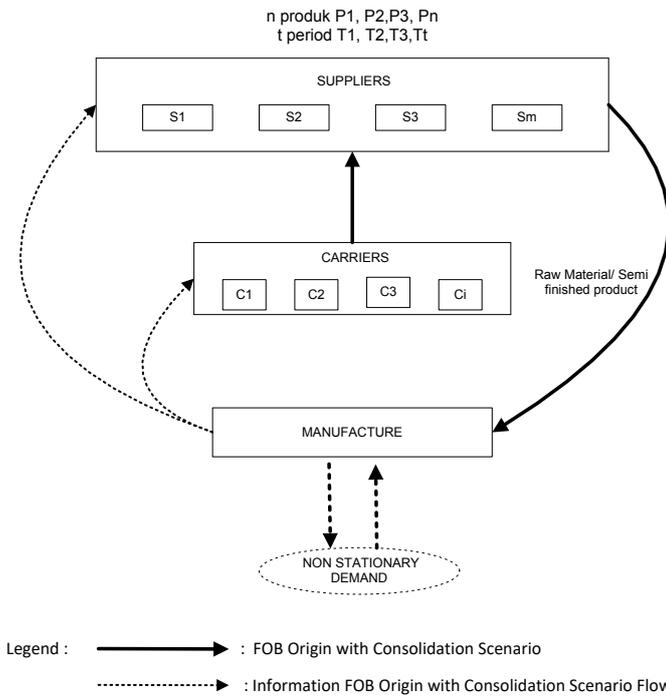
Produk-produk yang dihasilkan pemasok dikirim ke pamanufaktur oleh *carrier*. Masing-masing *carrier* memiliki kapasitas pengiriman yang berbeda-beda. Biaya transportasi tentu saja akan berlainan tiap-tiap *carrier* untuk tiap-tiap pemasok karena mempertimbangkan ukuran pengiriman dan jarak antara lokasi pemasok dengan manufaktur. *Inventory* dipertimbangkan pula untuk mengantisipasi perubahan permintaan.

Dalam pembelian dengan skenario FOB *Origin* dengan konsolidasi, pamanufaktur harus memilih satu atau beberapa pemasok sekaligus *carrier*-nya dan menentukan waktu pengadaan serta *lot-size* untuk tiap-tiap periode. *Carrier* pada skenario ini melakukan konsolidasi pengiriman barang dari semua pemasok. Sedangkan dalam FOB *origin* tanpa konsolidasi, pamanufaktur harus memilih satu atau beberapa pemasok sekaligus *carrier*-nya dan menentukan waktu pengadaan serta *lot-size* untuk tiap-tiap periode. Pada skenario ini, *carrier* mengirimkan produk yang dipesan ke pamanufaktur dari setiap pemasok. Total kuantitas pengadaan yang dialokasikan kepada pemasok-pemasok terpilih harus memenuhi permintaan yang *non stationary* dengan mempertimbangkan pula cacat produk dan keterlambatan pengiriman.



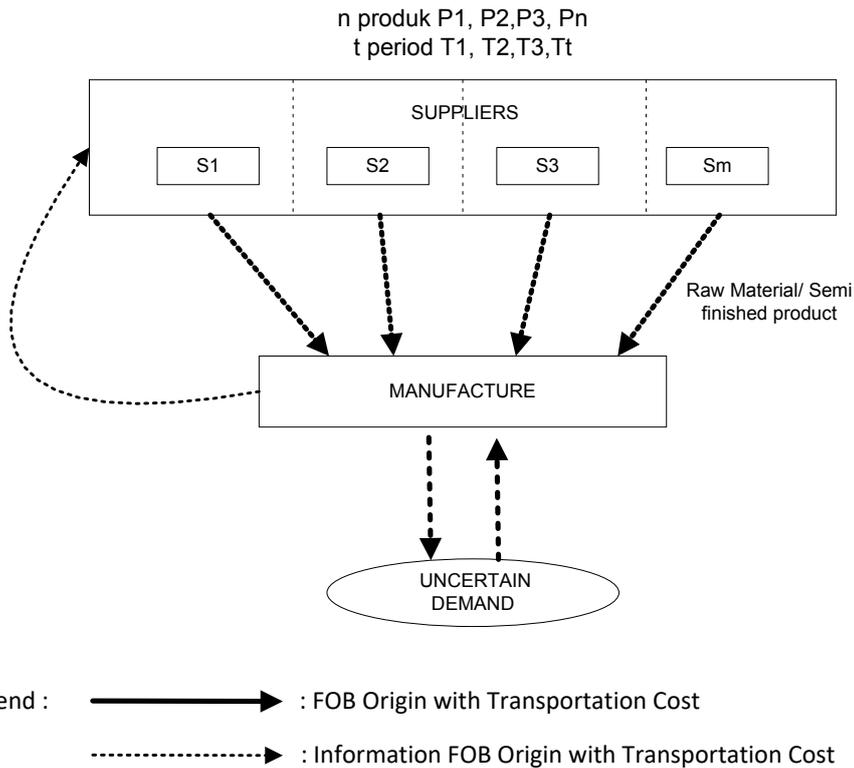
Legend :   
 —————> : FOB Origin with Transportation Cost  
 - - - - -> : Information FOB Origin with Transportation Cost

Gambar 1.1 Skenario DSSP dengan FOB Origin tanpa Carrier



Legend :   
 —————> : FOB Origin with Consolidation Scenario  
 - - - - -> : Information FOB Origin with Consolidation Scenario Flow

Gambar 1.2 Skenario DSSP FOB Origin dengan Carrier serta Konsolidasi



Gambar 1.3 Skenario DSSP FOB Origin dengan permintaan tidak pasti

### 1.5 Sistematika penulisan

Disertasi ini terdiri dari tujuh bab. Bab satu membahas latar belakang dari penelitian. Bab dua berisi *literature review* yang menjelaskan *state of the art* penelitian serta mengidentifikasi gap penelitian. Berdasarkan bab satu dan dua akan disusun metodologi penelitian pada bab tiga. Bab empat menampilkan model pertama yaitu DSSP dengan FOB *origin without carrier under non stationary demand*. Bab lima disajikan model kedua yaitu DSSP dengan *FOB Origin with carrier with consolidation under non stationary demand*. Bab enam menampilkan model ketiga yaitu DSSP dengan FOB *origin without carrier under uncertain demand*. Terakhir, bab tujuh menyajikan kesimpulan dan peluang riset yang akan datang.

Berikut ini adalah struktur dari bab-bab yang disusun dalam disertasi :

Bab I : Pendahuluan

Pada bab ini akan disajikan pendahuluan dari penelitian yang terdiri dari latar belakang penelitian, permasalahan, tujuan dan kontribusi yang diharapkan dari penelitian.

## Bab II : Literature Review

Pada bab ini akan diulas literatur yang mendukung penelitian ini berkaitan dengan *process sourcing* dalam *supply chain management*, *dynamic supplier selection problem*, *non stationary and uncertain demand*, *carrier selection*, *transportation dalam supplier selection* untuk melihat posisi penelitian saat ini dan untuk mengisi gap dari literatur yang telah ada.

## Bab III : Metodologi Penelitian

Pada bab ini akan disusun metodologi yang tepat untuk menyelesaikan permasalahan berdasarkan *literature review* yang sudah dikerjakan. Metodologi ini akan menjadi dasar untuk melakukan penelitian ini.

## Bab IV : Model 1

Model pertama dibuat untuk memodelkan DSSP dimana pemanufaktur melakukan proses procurement dengan menggunakan kebijakan FOB *origin* tanpa carrier dalam kondisi *non stationary demand*. Berdasarkan *literature review* yang telah dilakukan serta ilustrasi sistem dari pakar, disusun fungsi tujuan, variabel keputusan serta parameter yang mendekati praktek nyata.

## Bab V : Model 2

Model kedua dibuat untuk memodelkan DSSP dimana pemanufaktur melakukan proses *procurement* dengan menggunakan kebijakan FOB *origin* dengan carrier dengan konsolidasi dalam kondisi *non stationary demand*. Berdasarkan *literature review* yang telah dilakukan serta

ilustrasi system dari pakar, disusun fungsi tujuan, variabel keputusan serta parameter yang mendekati praktek nyata.

#### Bab VI : Model 3

Model ketiga dibuat untuk memodelkan DSSP dimana pemanufaktur melakukan proses *procurement* dengan menggunakan kebijakan FOB *origin* tanpa *carrier* dalam kondisi *uncertain demand*. Berdasarkan *literature review* yang telah dilakukan serta ilustrasi sistem dari pakar, disusun fungsi tujuan, variabel keputusan serta parameter yang mendekati praktek nyata.

#### Bab VII : Diskusi, Ringkasan dan Kesimpulan

Pada bab ini akan disampaikan ringkasan penelitian, kesimpulan akhir dari penelitian, kontribusi penelitian terhadap dunia akademik serta praktek dan saran untuk penelitian berikutnya.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Penelitian ini mengembangkan model optimasi *dynamic supplier selection problem* beserta penyelesaiannya dengan mempertimbangkan biaya transportasi dalam modelnya serta ketidakpastian permintaan berdasarkan teori-teori pemilihan pemasok. Bab ini menjelaskan teori-teori tersebut dan tinjauan hasil penelitian-penelitian sebelumnya yang relevan.

#### **2.1 Proses Sourcing dalam Supply Chain Management**

Perubahan substansial pada praktek manajerial mengakibatkan perubahan pula pada cara perusahaan dalam hal bersaing. Meningkatnya ketidakpastian permintaan, pendeknya siklus hidup produk, *global sourcing*, *just in time*, *e-business*, *mass customization* membuat turbolensi pada lingkungan bisnis. *Supply chain management* bertujuan untuk mengintegrasikan pemasok, manufaktur, *warehouse* dan retail secara efisien untuk menjamin bahwa produk dibuat dapat didistribusikan dengan jumlah yang tepat, ke lokasi yang tepat serta pada waktu yang tepat dengan demikian kinerja sistem dapat bekerja maksimal (Simchi-Levi, Kaminski and Simchi-Levi, 2000). Christopher (2011) menyatakan bahwa pentingnya pengelolaan hubungan *upstream* dan *downstream* dengan pemasok dan konsumen dalam rangka menyampaikan kepada konsumen akhir dengan biaya yang minimal untuk keseluruhan rantai, oleh karena itu fokus dari *supply chain management* adalah pengelolaan hubungan untuk mendapatkan hasil berupa keuntungan untuk semua rantai yang terlibat.

Koordinasi dan integrasi merupakan kunci aktivitas bisnis yang dilakukan oleh perusahaan dari pengadaan material mentah sampai dengan distribusi barang kepada konsumen. Chopra & Meindl (2010) membagi proses dalam *supply chain* menjadi tiga proses utama; yang pertama adalah *Customer Relationship Management* (CRM), yang kedua adalah *Internal Supply Chain Management* (ISCM) dan yang ketiga adalah *Supplier Relationship Management* (SRM). Proses CRM bertujuan untuk membangkitkan permintaan konsumen, memfasilitasi pemesanan dan melacak pemesanan. Proses ini meliputi *marketing*,

*pricing, sales*, manajemen pemesanan dan manajemen *call center*. Proses ISCM bertujuan untuk memenuhi permintaan konsumen yang dihasilkan dari proses CRM pada waktu yang tepat dengan biaya yang serendah mungkin. Proses ISCM meliputi rencana produksi internal dan kapasitas penyimpanan, penyiapan rencana pasokan dan permintaan, serta pemenuhan pesanan aktual. Proses SRM bertujuan untuk mengatur dan mengelola sumber pasokan bermacam-macam produk atau jasa. Proses SRM meliputi evaluasi dan pemilihan pemasok untuk bermacam-macam produk, negosiasi perjanjian pasokan dan komunikasi berhubungan dengan produk baru dan pesanan kepada pemasok.

Permasalahan perencanaan *supply chain* dapat dibedakan berdasarkan pertimbangan horizon waktu meliputi *strategic, tactical* dan *operational* (Ballou, 2003). Model perencanaan strategis desain *supply chain* dan konfigurasinya selama jangka waktu yang cukup panjang berkisar lima sampai dengan sepuluh tahun. Model perencanaan *tactical* mencoba untuk mengadopsi penggunaan yang paling optimal dari berbagai sumber meliputi *manufacturing plants, warehouses, suppliers, distribution centers, transports* dan lain-lain. Model perencanaan operasional berhubungan penjadwalan, *sequencing, lotsize, vehicle route* dan lain-lain. Model ini menggunakan periode waktu berkisar antar satu sampai dua minggu.

Kraljic (1983) menyatakan bahwa pembelian yang merupakan fungsi operasi telah berkembang menjadi manajemen persediaan yang merupakan fungsi strategis. Hal ini terjadi karena pengadaan yang baik tidak hanya dapat mengurangi biaya pembelian langsung, tetapi juga menghemat biaya operasional seperti biaya pemeliharaan dan lain-lain secara tidak langsung. Oleh karena itu, kini permasalahan keputusan pemilihan pemasok dan pengadaan telah dipelajari secara luas.

Aissaoui et al. (2007) menyatakan ada enam proses pengambilan keputusan *purchasing (sourcing)* yaitu (1) *make or buy*, (2) *supplier selection*, (3) *contract negotiation*, (4) *design collaboration*, (5) *procurement*, dan (6) *sourcing*

*analysis*. Pada proses keputusan *make/buy* (1) perusahaan harus memutuskan apakah produk maupun jasa baik yang berupa barang setengah jadi maupun jadi diproduksi sendiri atau dialihkan ke pemasok. Proses *supplier selection* (2) adalah proses memilih pemasok-pemasok berdasarkan kriteria-kriteria yang ditentukan perusahaan. Selanjutnya *contract negotiation* (3) dimana permasalahan utama adalah merancang kontrak yang tepat antara perusahaan dengan pemasok. *Design collaboration* (4) ialah proses dimana pembeli dan pemasok bekerja bersama dalam menentukan desain produk atau jasa yang memenuhi kualitas dan spesifikasi dari pelanggan. *Procurement* (5) berhubungan dengan jaminan bahwa pemasok akan mengirimkan produk atau jasa pada waktunya dengan biaya yang minimal. Literatur *supplier selection* yang berhubungan dengan isu *lot sizing, inventory*, konsolidasi (pengiriman pesanan dari lebih dari satu pemasok dilakukan bersamaan) berada pada tahapan ini. Terakhir, *sourcing analysis* adalah proses dimana perusahaan menilai efisiensi dari proses pengadaannya.

Departemen *purchasing* bertanggung jawab penuh pada proses *supplier selection, procurement* dan *sourcing analysis*. Untuk proses lainnya paling tidak ada satu atau lebih departemen yang terlibat seperti seperti pada *make/buy* melibatkan pula *marketing* dan manajemen puncak, *contract negotiation* melibatkan pula departemen penjualan dan manajemen puncak sedangkan *design collaboration* melibatkan departemen produksi dari perusahaan dan pemasok.

Boer et al. (2001) mengidentifikasi beberapa langkah pengambilan keputusan dalam proses pemilihan pemasok: pertama, perumusan masalah untuk memutuskan apakah membeli atau tidak membeli; kedua, perumusan kriteria untuk mendapatkan kriteria yang lebih banyak atau lebih sedikit; ketiga, pra kualifikasi dari pemasok yang potensial untuk mendapatkan daftar penawar; keempat, seleksi akhir untuk memilih pemasok dan memberikan alokasi pesanan. Selanjutnya, Luo, Wu, Rosenberg, & Barnes (2009) mengubah langkah pertama dan menjadikan aplikasi umpan balik sebagai langkah terakhir. Banyak literatur yang membahas tahapan seleksi akhir sedangkan literatur yang membahas fase yang mendahului dan mengikuti tahapan seleksi akhir yaitu formulasi kriteria,

kualifikasi dan aplikasi umpan balik kurang mendapat perhatian. Meskipun seleksi akhir sering menjadi fase yang paling diperhatikan dalam proses *sourcing*, kualitas proses *sourcing* sangat tergantung pada kualitas tahapan lain (Wu & Barnes, 2011). Terdapat cukup banyak penelitian yang membahas tentang seleksi akhir seperti (Basnet & Leung, 2005; Rezaei & Davoodi, 2008; Demirtas & Ustun, 2009; Rezaei & Davoodi, 2011; Choudhary & Shankar, 2013).

Sebaliknya, Hong, Park, Jang, & Rho (2005); Ustun & Demirtas (2008a); Ustun & Demirtas (2008b); Demirtas & Ustun (2009); Kara (2011) melakukan kolaborasi semua tahapan dalam proses pemilihan pemasok. Hong et al. (2005) menggabungkan tahapan persiapan, pra kualifikasi, seleksi akhir dalam modelnya untuk memperoleh metode pemilihan pemasok yang efektif dalam rangka menjaga hubungan secara terus menerus dengan pemasok. Kara (2011) mengusulkan gabungan *fuzzy TOPSIS* dan *two stage stochastic programming methodology under stochastic demand* untuk mengevaluasi dan memilih pemasok yang paling tepat yang mampu meminimalkan biaya pembelian, pengiriman yang terlambat, material cacat, biaya simpan dan biaya tetap.

## **2.2 Supplier Selection Problem**

Terdapat dua permasalahan dalam *supplier selection*, yang pertama adalah *single sourcing* yaitu dimana satu pemasok dapat memasok semua kebutuhan pembeli, sehingga manajemen hanya membuat satu keputusan yaitu memilih satu pemasok yang paling baik. Tipe yang kedua adalah *multiple sourcing* dimana tidak ada satupun pemasok yang dapat memasok kebutuhan pembeli, oleh karena itu manajemen harus memecah kuantitas pemesanan diantara pemasok karena beberapa alasan termasuk menciptakan iklim kompetitif diantara pemasok (Ustun and Demirtas, 2008a).

Ada tiga keputusan utama *sourcing* yang terkait dengan masalah pemilihan pemasok: (1) berapa banyak produk yang akan dibeli oleh pembeli dalam pengertian pembeli akan membeli satu produk (*single product*) atau banyak produk (*multi product*); (2) berapa jumlah yang dibeli dan dari mana pemasoknya yang berarti pemilihan pemasok dan alokasi pesanan (*lotsizing*); (3) pada periode

mana dilakukan pembelian yang berarti ada pertimbangan manajemen persediaan dalam pemilihan pemasok (*single period/multi period*) (Aissaoui, Haouari and Hassini, 2007).

Terdapat dua pendekatan dalam literatur pada permasalahan *supplier selection*; *Traditional Supplier Selection Problem* (TSSP) dimana semua pemasok dapat memenuhi semua permintaan pelanggan dalam hal kuantitas, kualitas, dan *delivery* serta *Dynamic Supplier Selection Problem* (DSSP) dimana pada DSSP tidak ada satupun pemasok yang mampu memenuhi semua permintaan konsumen diakibatkan keterbatasan pemasok dalam hal kapasitas, tingkat kualitas, waktu pengiriman, harga dan lain-lain. *Dynamic Supplier Selection Problem* (DSSP) terjadi pada keadaan *multi period, multi product* serta *multi supplier* yang sekarang menjadi fenomena dalam organisasi bisnis yang besar dimana mereka harus menjaga tingkat kualitas sesuai yang diinginkan dengan *lead time* yang singkat. Dalam literatur hal ini dikenal sebagai *Dynamic Supplier Selection Problem* (DSSP) (Ware, Singh and Banwet, 2014).

### **2.2.1 Traditional Supplier Selection Problem**

Sebagian besar literatur membahas *supplier selection* untuk satu produk (Wu & Barnes, 2011). Berikut ditampilkan beberapa literatur yang membahas *supplier selection* untuk satu produk (Liao & Rittscher, 2007a, 2007b; Burke, Carrillo, & Vakharia (2007); Yang, Yang, & Abdel-malek, 2007; Demirtas & Ustun, 2009; Ustun & Demirtas, 2008a, 2008b; Awasthi, Chauhan, Goyal, & Proth, 2009; Mendoza & Ventura, 2010; Zhang & Zhang, 2011; Choudhary & Shankar, 2011, 2013; Meena & Sarmah, 2013). Burke et al. (2007) mengusulkan pendekatan yang optimal dalam kasus dimana pemilihan pemasok, dengan pembatasan jumlah minimum pesanan, harus memasok ke pembeli yang menghadapi permintaan stokastik dan mengalokasikan sejumlah pesanan pada pemasok yang harus memasok dengan jumlah positif. Model mereka mempertimbangkan periode tunggal, satu produk, harga produk, biaya pemasok, kapasitas pemasok, sejarah keandalan pemasok dan biaya persediaan. Awasthi et al. (2009) mengembangkan pekerjaan Burke et al. (2007) dimana mereka

mengusulkan metode heuristik untuk modelnya dan mengidentifikasi pemasok serta mengalokasikan pesanan untuk pemasok terpilih dimana pada Burke et al. (2007) hanya mengalokasikan total *order* untuk sejumlah pemasok. Selain itu, beberapa literatur berikut membahas *supplier selection* untuk banyak produk (Hong et al., 2005; Wadhwa & Ravindran, 2007; Wu, Sukoco, Li, & Chen, 2009). Wadhwa & Ravindran (2007) mempelajari masalah pemilihan pemasok sebagai masalah optimasi multi tujuan untuk meminimalkan harga, *lead time* dan produk cacat, di mana satu atau beberapa pembeli memesan beberapa produk dari vendor yang berbeda dengan asumsi permintaan deterministik.

Banyak peneliti mengembangkan permasalahan *supplier selection* dan alokasi pesanan dari perpektif matematika dan membangun model optimasi untuk mengatasi permasalahan. Ghodsypour & Brien (2001) mengusulkan model *mixed integer non-linear programming* untuk menjawab permasalahan *multiple sourcing*. Wu et al. (2009) mengusulkan *integrated multi-objective decision-making process* dengan menggunakan *analytic network process* (ANP) dan *mixed integer programming* (MIP) dengan asumsi *demand* stabil untuk mengoptimasi alokasi order jika pemasok menggunakan strategi bundling. Zhang & Zhang (2011) mengusulkan model *Mixed Integer Programming* (MIP) untuk memilih pemasok dan mengalokasikan pesanan kepada pemasok terpilih dengan tujuan meminimasi biaya total meliputi biaya seleksi, pembelian, penyimpanan dan *shortage*. Meena & Sarmah (2013) membangun model *mixed integer non-linear programming* (MINLP) untuk menentukan alokasi pesanan optimal dengan kondisi demand deterministik kepada sejumlah pemasok.

Beberapa peneliti menggabungkan *supplier selection* dan *procurement lot-sizing* dengan mempertimbangkan horizon perencanaan periode multi dan mendefinisikan variabel untuk menentukan jumlah yang dibeli pada setiap periode (Demirtas & Ustun, 2009; Ustun & Demirtas, 2008a, 2008b). Mendoza (2010) mengusulkan sebuah model untuk mengkoordinasikan persediaan dari titik pasokan ke titik konsumsi untuk meminimalkan total biaya per satuan waktu terkait dengan seluruh sistem sementara itu juga mengalokasikan pesanan kepada

pemasok yang dipilih. Proses seleksi ini mempertimbangkan kriteria yang berbeda dalam analisis yaitu harga, kapasitas serta kualitas dan memiliki asumsi permintaan deterministik. Choudhary & Shankar (2011) mempelajari pendekatan *integer linear programming* untuk memecahkan masalah pengadaan periode jamak, *lotsizing* untuk satu produk dan satu pemasok dengan mempertimbangkan penolakan dan kinerja keterlambatan pengiriman serta diskon. Permintaan produk diasumsikan konstan dan diketahui dengan pasti selama horizon perencanaan.

### **2.2.2 Dynamic Supplier Selection Problem**

*Supplier selection problem* untuk keadaan *multi period*, *multi product* serta *multi supplier* yang dikenal sebagai *dynamic supplier selection problem* (DSSP) telah menjadi kajian yang menarik oleh para peneliti (Basnet & Leung, 2005; Rezaei & Davoodi, 2008, 2011; Jolai, Ahmad, Shahanaghi, & Azari, 2011; Kara, 2011; Ware et al., 2014).

Basnet & Leung (2005) mempelajari skenario *inventory* untuk *multiple period* dimana terdapat *multiple product* dan *multiple supplier*. Setiap produk dapat dipasok dari beberapa pemasok yang telah disetujui. Biaya transaksi dikenakan setiap periode ketika pesanan diberikan kepada pemasok. Disamping itu, biaya simpan tiap periode dikenakan pula pada tiap produk selama perencanaan waktu, serta permintaan semua produk diketahui selama periode perencanaan. Metode heuristic digunakan untuk menyelesaikan permasalahan. Rezaei & Davoodi (2008) mempertimbangkan skenario *multiple product* dan *multiple supplier* dengan kapasitas terbatas. Produk yang diterima dari pemasok tidak semuanya berkualitas baik, produk dengan kualitas kurang tetapi tidak cacat dapat digunakan untuk situasi lain. Produk yang tidak sempurna dijual dalam satu kesatuan sambil menunggu pengiriman berikutnya yang diberikan diskon. Setiap produk dapat dipasok dari sekelompok pemasok dengan dikenakan biaya transaksi setiap periode. Disamping itu dikenakan pula biaya simpan untuk *inventory* tiap produk tiap periode selama perencanaan waktu. Dipertimbangkan pula ukuran maksimal penyimpanan pada pembeli tiap periode penyimpanan. Permintaan

produk diketahui selama masa perencanaan. Permasalahan ini diselesaikan menggunakan *genetic algorithm*. Rezaei & Davoodi (2011) menghasilkan dua buah model *multi-objective mixed integer non-linear* untuk permasalahan *lotsizing multi period* dengan *multiple products* dan *multiple suppliers*. Setiap model dibangun dengan tiga fungsi tujuan (biaya, kualitas dan service level) dan serangkaian batasan. Biaya total meliputi biaya pembelian, pemesanan, penyimpanan dan transportasi. Model pertama menggambarkan permasalahan ketika *shortage* tidak diperkenankan sedangkan pada model kedua semua permintaan ketika terjadi *stockout* dilakukan *back ordered*. Permasalahan ini diselesaikan menggunakan *genetic algorithm*.

Jolai et al. (2011) mengusulkan dua tahapan *supplier selection* yaitu *fuzzy multiple criteria decision making* (FMCDM) dan *multi-objective mixed integer linear programming* (MOMILP) dengan asumsi permintaan deterministik untuk menentukan alokasi pesanan pada *multiple supplier* terpilih untuk *multiple product* dan *multi period*. Kara (2011) memperkenalkan dua tahapan model program stokastik dan metode fuzzy TOPSIS. Fuzzy TOPSIS digunakan untuk memberikan peringkat kepada pemasok dengan mempertimbangkan data kualitatif dalam lingkungan fuzzy. Kemudian sekelompok pemasok yang telah diberikan peringkat dimasukkan dalam model stokastik dua tahap untuk dievaluasi. Dalam model ini permintaan diasumsikan tidak pasti dengan berbagai skenario yang dibangkitkan untuk parameter ini. Dengan metode ini, prosedur pemilihan pemasok dapat dilakukan untuk lingkungan yang tidak pasti. Metodologi ini digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pada lingkungan *multi product, multi period* dan *multi sourcing*. Ware et al. (2014) mengusulkan *mixed-integer non-linear program* (MINLP) untuk menyelesaikan *dynamic supplier selection problem* (DSSP) dengan kondisi *multi-period, multi-part* dari *multi-source*. Model *mixed-integer non-linear program* (MINLP) ini diselesaikan dengan LINGO.

### 2.2.3 Model-Model pada Permasalahan Pemilihan Pemasok

Aissaoui et al., (2007) menyatakan bahwa teknik permodelan yang digunakan dalam permasalahan pemilihan pemasok dapat dibagi menjadi dua yaitu *single objective* (Das and Abdel-malek, 2003; Basnet and Leung, 2005; Burke, Carrillo and Vakharia, 2007; Yang, Yang and Abdel-malek, 2007; Rezaei and Davoodi, 2008; Wu *et al.*, 2009; Mendoza and Ventura, 2010; Zhang and Zhang, 2011; Choudhary and Shankar, 2011, 2013; Kara, 2011; Mansini, Savelsbergh and Tocchella, 2012; Meena and Sarmah, 2013; Guo and Li, 2014) dan *multiple objective* (Aguezzoul and Ladet, 2007; Liao and Rittscher, 2007a, 2007b; Wadhwa and Ravindran, 2007; Ustun and Demirtas, 2008a, 2008b; Demirtas and Ustun, 2009; Jolai *et al.*, 2011; Rezaei and Davoodi, 2011). Metode yang digunakan dalam single objective antara lain *linear programming*, *mixed integer programming*, *dynamic programming*, *non linear programming*, dan *stochastic programming*. Sedangkan metode yang digunakan dalam multiple objective antara lain *multi objective programming* dan *goal programming*. Ringkasan lengkap metode disajikan pada Tabel 2.1.

### 2.3 Transportasi pada Permasalahan Pemilihan Pemasok

Manufaktur biasanya memiliki pemasok yang tidak terkonsentrasi pada satu tempat, akan tetapi sangat umum jika lokasi pemasok tersebar di area yang sangat luas. Oleh karena itu harga barang yang dipasok oleh pemasok sangat bervariasi tergantung lokasi pemasok. Untuk menentukan harga berdasarkan lokasi pemasok terdapat terminologi umum yaitu *free on board* yang disingkat FOB. FOB menunjukkan lokasi dimana harga mulai efektif. Ballou (2003) menyatakan ada dua jenis FOB yaitu FOB *factory price* atau *origin* dan FOB *destination*. FOB *origin* adalah harga yang ditetapkan pada lokasi pabrik. Konsumen mengambil alih kepemilikan pada titik ini dan bertanggungjawab terhadap transportasi mulai dari pabrik. FOB *destination* merupakan kebijakan dimana harga barang yang dibayar konsumen adalah sudah sampai pada lokasi konsumen. Dengan kebijakan ini, biaya transportasi sudah dimasukkan dalam harga barang.

Sebagian besar literatur pada *supplier selection* tidak memasukkan transportasi dalam modelnya. Padahal, kira-kira lebih dari 50% total biaya logistik dari produk dapat dikaitkan dengan transportasi. Oleh karena itu setiap pembelian harus mempertimbangkan biaya transportasi (Swenseth and Godfrey, 2002). Selanjutnya, ada upaya untuk mengintegrasikan dan mengkoordinasikan *inbound transportation* dan fungsi pembelian (Gentry and Farris, 1992). Beberapa penelitian telah mencoba menggabungkan *supplier selection*, *lotsizing* dan *transportation*. Hong & Hayya (1992) membahas pengurangan ukuran lot dalam pembelian JIT dengan beberapa vendor. Sebuah permasalahan pemrograman *non linier* dirumuskan dengan fungsi tujuan adalah untuk meminimalkan biaya pemesanan dan biaya penyimpanan dengan kendala biaya pengiriman dan kualitas. Biaya transportasi tidak dirumuskan secara eksplisit dalam model ini. Untuk *multiple sourcing*, model ini memberikan solusi pemilihan pemasok yang optimal dan jumlah alokasi pemesanannya sedangkan, untuk *single sourcing* model ini berguna untuk menentukan jumlah pengiriman yang optimal. Ganeshan, Tyworth, & Guo (1999) meneliti dinamika rantai pasok yang memiliki pilihan untuk menggunakan dua pemasok: satu yang andal dan lainnya tidak dapat diandalkan. Pemasok yang tidak diandalkan ditandai dengan panjangnya *lead time*. Meskipun penggunaan pemasok ini mungkin mengakibatkan persediaan dan biaya transportasi yang lebih tinggi, akan tetapi hal ini menarik bagi perusahaan karena pemasok bersedia untuk memberikan diskon pada harga pembelian. Penelitian ini menyajikan suatu model, yang meminimalkan jumlah biaya pembelian, pemesanan, penyimpanan dan transportasi. Model ini diselesaikan dengan sebuah heuristik sederhana.

Tyworth & Ruiz-torres (2000) mempelajari peran transportasi dalam *keputusan sole sourcing* dan *dual sourcing*. Model ini dapat meminimalkan jumlah biaya pembelian, pemesanan, penyimpanan dan transportasi. Tidak ada kendala yang didefinisikan dalam model ini. Model ini menunjukkan bahwa *dual sourcing* mampu menghasilkan penghematan dengan mempertimbangkan beberapa kondisi pada harga pemasok, permintaan tahunan, kinerja *lead-time* dan

jarak pengiriman. Ghodsypour & Brien (2001) mengusulkan model *mixed integer non-linear programming*, yang memperhitungkan total biaya logistik. Total biaya meliputi biaya pesan, biaya simpan dan biaya pembelian. Biaya transportasi tidak secara eksplisit disebutkan. Model ini mempertimbangkan kapasitas pemasok, permintaan pembeli dan kendala kualitas. Aguezzoul & Ladet (2007) mengembangkan penggunaan pendekatan *multi objective* untuk menunjukkan dampak transportasi dalam pemilihan pemasok. Model ini dapat membantu pembeli dalam memilih pemasok-pemasok yang tepat dan menentukan jumlah pesanan serta alokasi pesanan ke beberapa pemasok. Mansini, Savelsbergh, & Tocchella (2012) mengembangkan model program integer dimana pemasok menyediakan diskon dan biaya transportasi berdasar tarif sesuai beban truk untuk memenuhi skala ekonomi. Model ini bertujuan untuk meminimalkan pengeluaran pengadaan yang mencakup biaya pembelian dan biaya transportasi. Model ini memiliki asumsi permintaan deterministik.

Beberapa peneliti kemudian mencoba memasukkan tidak hanya biaya transportasi akan tetapi juga pemilihan *carrier* yang terintegrasi dengan pemilihan pemasok. Liao & Rittscher (2007) menyajikan model pemrograman multi obyektif untuk mengintegrasikan tiga keputusan yaitu *dynamic procurement lot sizing or replenishment, supplier selection* dan *carrier selection under dynamic demand conditions*. Fungsi tujuannya adalah meminimalkan total biaya logistik, total kualitas penolakan barang dan keterlambatan pengiriman. Choudhary & Shankar (2013) mengusulkan model *integer linear programming* untuk secara simultan menentukan waktu pengadaan, *lotsize*, pemasok dan *carrier* yang memiliki fungsi tujuan meminimalkan total biaya. Permintaan produk diketahui konstan dan pasti selama horizon perencanaan. Model ini mempertimbangkan pembelian satu produk dari banyak pemasok, total biaya logistik melalui *economic of scale* dalam pembelian dan biaya transportasi serta gangguan *supply chain* seperti penolakan produk dan keterlambatan pengiriman. Choudhary & Shankar (2014) mengusulkan *multi-objective integer linear programming* untuk mengambil keputusan *lot sizing inventory*, pemilihan pemasok dan pemilihan

*carrier*. Dalam formulasinya, model ini mempertimbangkan penolakan produk, keterlambatan pengiriman, serta biaya. Tujuan dari model ini adalah untuk menentukan waktu, *lotsize* yang akan dibeli, serta pemasok dan *carrier* yang akan dipilih dalam setiap periode. Permasalahan ini dipecahkan dengan menggunakan tiga varian *goal programming* (GP): *GP preemptive*, *non-preemptive GP* dan *weighted max–min fuzzy GP*.

#### **2.4 Ketidakpastian Permintaan pada Permasalahan Pemilihan Pemasok**

*Uncertainty* merupakan risiko yang berkaitan dengan *capacity*, *demand* dan *variable cost* (Bilsel and Ravindran, 2011). *Risk capacity* terjadi akibat ketidakpastian manufaktur atau pasokan dari pemasok. Cacat pada bahan baku, kinerja mesin yang tidak stabil, keterlambatan pengiriman dari pemasok dan gangguan transportasi merupakan salah satu faktor yang membuat kapasitas di pemasok menjadi tidak pasti. Selain itu, *capacity risk* dipengaruhi oleh fleksibilitas *supply chain* meliputi *flexibility of product delivery system*, *production system*, *product development* dan *supply system* (Pujawan, 2004).

*Demand uncertainty* merupakan permintaan pelanggan yang tidak diketahui untuk produk atau jasa yang diinginkan oleh pembeli. Preferensi konsumen, persaingan dan ketidakpastian ekonomi merupakan salah satu faktor yang berkontribusi terhadap *demand uncertainty*. *Uncertainty* pada *variable costs* dibagi menjadi dua, yaitu ketidakpastian dalam biaya transportasi dan ketidakpastian dalam biaya variabel lainnya.

Saat ini, konsumen menuntut kualitas tinggi dari produk dan berbagai variasi produk terutama dalam produk-produk inovatif. Salah satu karakter produk yang inovatif adalah pendeknya siklus hidup produk yang terdiri dari *introduction*, *growing*, *mature* dan *declining*. Siklus hidup yang lebih pendek meningkatkan *uncertainty* karena itu anggota *supply chain* harus berkoordinasi dan membuat bagaimana pasokan dan permintaan dapat sesuai (Chopra and Meindl, 2010). Setelah produk memasuki pasar, kemampuan untuk merespon dengan cepat permintaan adalah sangat penting. *Lead time* untuk memasok produk ke pasar menentukan kemampuan organisasi untuk dapat mengeksploitasi

permintaan selama siklus hidup. Perusahaan-perusahaan yang dapat mengurangi waktu siklus pesanan sampai pengiriman akan memiliki keunggulan kuat atas pesaing mereka yang lebih lambat (Christopher, 2011). Selain itu, siklus hidup produk mempengaruhi pola permintaan (Silver, Pyke and Peterson, 1998). Jadi, dengan meningkatnya variasi produk dan pendeknya siklus hidup produk, ada kebutuhan untuk mempertimbangkan pola permintaan yang merujuk pada kondisi *uncertainty* ketika membuat keputusan *sourcing*.

Tunc, Kilic, Tarim, & Eksioglu (2011) mengusulkan skenario permintaan *non stationary* yang umum dalam praktek yaitu *stationary, erratic, sinusoidal and life cycle* untuk merepresentasikan *uncertainty*. Beberapa literatur *supplier selection problem* menggunakan pendekatan permintaan stochastic (Awasthi et al., 2009; Burke et al. (2007); Kara, 2011; Liao & Rittscher, 2007b; Tunc et al., 2011; Yang et al., 2007; J. Zhang & Zhang, 2011). Sebagian besar literatur ini mengembangkan model yang menggunakan *multiple sourcing*, satu produk dan periode tunggal sebagai keputusan *sourcing* (Awasthi et al., 2009; Burke et al. (2007); Liao & Rittscher, 2007b; Tunc et al., 2011; Yang et al., 2007; Zhang & Zhang, 2011). Namun demikian, Kara (2011) menyajikan model yang kompleks yang mempertimbangkan *multiple product, multiple sourcing, multiple period horizon* (DSSP) sebagai *sourcing decision* dengan menggunakan *stochastic programming* dimana *stochastic programming* merupakan metode yang digunakan untuk mengakomodir ketidakpastian.

## **2.5 Genetic Algorithm (GA)**

Genetic Algorithm merupakan prosedur mencari solusi yang meniru proses evolusi dengan menerapkan strategi "*survival of the fit test*". Teknik pencarian dan optimasi probabilistik pada Genetic Algorithm dipandu oleh prinsip-prinsip evolusi dan genetika alami. Metode ini memberikan solusi mendekati global optimal dari sebuah tujuan atau fungsi objektif melalui keseimbangan antara eksplorasi dan eksploitasi dalam lingkungan yang kompleks, besar, dan multi modal (Rezaei and Davoodi, 2008).

Genetic Algorithm (GA) dapat digunakan untuk menyelesaikan problem optimasi linear maupun non linear dan dari problem optimasi skala kecil hingga skala besar. Berbeda dengan algoritma optimasi klasik, GA membangkitkan titik-titik di satu populasi pada tiap iterasi sedangkan optimasi klasik hanya membangkitkan satu titik pada tiap iterasi. Nilai terbaik dari titik di populasi akan mendekati hasil optimal. Untuk mendapatkan hasil, GA menerapkan evolusi sebuah populasi yang merepresentasikan nilai variabel keputusan. Untuk setiap iterasi, populasi yang baru dibuat menggunakan skema selection, crossover dan mutation. Skema ini merepresentasikan aturan pencarian solusi.

Untuk memecahkan permasalahan DSSP menggunakan GA, ada beberapa terminologi yang digunakan yaitu kromosom, populasi dan *fitness function*. Sedangkan prosedur GA untuk menyelesaikan DSSP adalah sebagai berikut :

- *Initialization*
- *Fitness evaluation and scaling*
- *Selection*
- *Crossover*
- *Mutation*
- *Termination*

## **2.6 Kebutuhan Penelitian**

Pemilihan pemasok merupakan masalah pengambilan keputusan multi kriteria. Sebagian besar literatur menggunakan biaya sebagai kriteria (Basnet and Leung, 2005; Rezaei and Davoodi, 2008, 2011; Choudhary and Shankar, 2013). Liao & Rittscher (2007a) mengusulkan biaya, kualitas dan pengiriman sebagai kriteria. Kara (2011) mengusulkan biaya, kualitas, pengiriman sebagai kriteria. Disamping itu, pada kenyataannya seringkali produk memiliki siklus hidup yang pendek dan memiliki pola permintaan yang berubah-ubah sehingga mendorong terjadinya *non stationary* pada permintaan. Untuk mengantisipasi ketidakpastian, maka dibutuhkan model yang memasukkan faktor *non stationary* pada

permintaan. Tabel 2.1 disajikan ringkasan *literature review supplier selection model*.

Berdasarkan kajian literatur sebelumnya, *supplier selection problem* dapat dibedakan menjadi dua yaitu *traditional supplier selection problem* (TSSP) dan *dynamic supplier selection problem* (DSSP). Literatur pada area TSSP telah banyak dibahas sedangkan pada area DSSP masing sangat sedikit (Basnet & Leung, 2005; Rezaei & Davoodi, 2008, 2011; Jolai, Ahmad, Shahanaghi, & Azari, 2011; Kara, 2011; Ware et al., 2014). Lebih lanjut, literatur DSSP lebih banyak menggunakan asumsi permintaan *stationary* (Basnet & Leung, 2005; Rezaei & Davoodi, 2008, 2011; Jolai, Ahmad, Shahanaghi, & Azari, 2011; Ware et al., 2014) hanya Kara (2011) yang menggunakan asumsi permintaan *non stationary*.

Literatur DSSP kebanyakan tidak mempertimbangkan transportasi tercatat yang mempertimbangkan transportasi (Rezaei & Davoodi, 2011; Ware et al., 2014). Literatur yang mempertimbangkan transportasi dalam modelnya ini ternyata semuanya mengasumsikan permintaan *stationary*. Sehingga terdapat gap pada DSSP dengan kondisi *non stationary demand*. Oleh karena itu Disertasi ini akan meneliti DSSP dengan mempertimbangkan transportasi pada kondisi *non stationary demand*. Pada Gambar 2.1 dapat dilihat gap riset ini.

		TRADITIONAL SUPPLIER SELECTION PROBLEM (TSSP)	DYNAMIC SUPPLIER SELECTION PROBLEM (DSSP)
TRANSPORTATION	STATIONARY DEMAND	1,3,4,11,12,13,14,16,24,29,33,34	2,10,18
	NON STATIONARY DEMAND	6,7,8,15,19,25,27,30,31,35	20,32

TRADITIONAL SUPPLIER SELECTION PROBLEM (TSSP)	DYNAMIC SUPPLIER SELECTION PROBLEM (DSSP)
5,9,21,22,23,26	17,28
	36

1. Das & Abdel-malek (2003)
2. Basnet & Leung (2005)
3. Hong, Park, Jang, Rho (2005)
4. Wadhwa, Ravindran (2007)
5. Liao & Rittscher (2007a)
6. Liao & Rittscher (2007b)
7. Burke, Carrillo, Vakharia (2007)
8. Yang, Yang, Abdel-Malek (2007)
9. Aguezzoul, Ladet (2007)
10. Rezaei & Davood (2008)
11. Ustun & Demirtas (2008a)
12. Ustun & Demirtas (2008b)
13. Demirtas & Ustun (2009)
14. Wu, Sukoco, Li & Chen (2009)
15. Awasthi, Chauhan, Goyal, Proth (2009)
16. Mendoza, Ventura (2010)
17. Rezaei & Davoodi (2011)
18. Jolai, Yazdian, Shahanaghi, Khojasteh (2011)
19. Zhang, Zhang (2011)
20. Kara (2011)
21. Choudhary & Shankar (2011)
22. Mansini, Savelsbergh, & Tocchella (2012)
23. Choudhary, Shankar (2013)
24. Meena, Sarmah (2013)
25. Zhang, Chen (2013)
26. Choudhary, Shankar (2014)
27. Guo, Li (2014)
28. Ware et al (2014)
29. Jadidi, Zolfaghari, Cavalieri (2014)
30. Ayhan and Kilic (2015)
31. Mazdeh et.al (2015)
32. Ahmad and Mondal (2016)
33. Ghaniabadi and Mazinani (2017)
34. Hamdan and Cheaitou (2017)
35. Trivedi et al. (2017)
36. This dissertation

Gambar 2.1 Gap Riset

Tabel 2.1 Ringkasan *literature review supplier selection model*

No	Author(s)	Year	Types of Sourcing Decisions	Product	Horizon	Problem	Method	Objective function	Inventory Lotsizing	Carrier Selection	Tranportation Cost	Demand Assumptions
1	Das & Abdelmalek	2003	Single sourcing	Single	Single	TSSP	Single Objective	Minimize component cost, quantity penalty, delevary penalty	-	-	-	Stationary
2	Basnet & Leung	2005	Multiple sourcing	Multi	Multi	DSSP	Single Objective MIP	Minimize purchasing, transaction (ordering & transportation cost), holding cost	V	-	-	Stationary & change
3	Hong, Park, Jang, Rho	2005	Multiple sourcing	Single	Multi	TSSP	Mixed Integer Model	Maximize total revenue during total periode	V	-	-	Stationary stabel
4	Wadhwa, Ravindran	2007	Multiple sourcing	Multi	Single	TSSP	Multi Objective vendor selection	Minimize price, lead time and rejects	-	-	-	Stationary & change
5	Liao & Rittscher	2007a	Multiple sourcing	Single	Multi	TSSP	Multi Objective programming model	Minimize TC (purchasing, ordering, inventory holding, shipping, intransit holding cost), total quality rejected items & total late deliveries	V	V	V	Stationary dynamic demand
6	Liao & Rittscher	2007b	Single sourcing	Single	Single	TSSP	Multi Objective Supplier selection model	Minimize cost, quality, delivery, & maximize flexibility	V	-	-	Normal distribution
7	Burke, Carrillo, Vakharia	2007	Single & multiple sourcing	Single	Single	TSSP	Single Objective supplier selection model	Maximize expected profit	V	-	-	Uniform Distribution
8	Yang, Yang, Abdel-Malek	2007	Multiple sourcing	Single	Single	TSSP	newsvendor	Maximize total profit	V	-	-	Uniform distribution

Lanjutan Tabel 2.1 Ringkasan *literature review supplier selection model*

No	Author(s)	Year	Types of Sourcing Decisions	Product	Horizon	Problem	Method	Objective function	Inventory Lotsizing	Carrier Selection	Tranportation Cost	Demand Assumptions
9	Aguezzoul, Ladet	2007	Multiple sourcing	Single	Multi	TSSP	Multi Objective programming	Minimize total cost and leadtime	V	-	V	Stationary
10	Rezaei Davoodi &	2008	Multiple sourcing	Multi	Multi	DSSP	Mixed integer programming model	Maximize total profit over a planning horizon	V	-	-	Stationary & change
11	Ustun Demirtas &	2008a	Multiple sourcing	Single	Multi	TSSP	ANP & Multi Objective MILP	Maximize total value of purchasing and minimize total cost, total defect rate and balances the total cost among periods	V	-	-	Stationary & change
12	Ustun Demirtas &	2008b	Multiple sourcing	Single	Multi	TSSP	ANP & GP	The goal of total cost, defect rate & total value of purchasing are considered	V	-	-	Stationary & change
13	Demirtas & Ustun	2009	Multiple sourcing	Single	Multi	TSSP	ANP & AGP	The goal of cost, quality, total value of purchasing are considered	V	-	-	Stationary & change
14	Wu, Sukoco, Li & Chen	2009	Multiple sourcing	Multi	Single	TSSP	ANP & MIP	Minimize total cost purchasing	-	-	-	Stationary stabel
15	Awasthi, Chauhan, Goyal, Proth	2009	Single sourcing	Single	Single	TSSP	Single Objective supplier selection model	Maximize expected revenue	V	-	-	Uniform distribution
16	Mendoza, Ventura	2010	Multiple sourcing	Single	Multi	TSSP	Mathematical model for a serial system	Minimize total cost per time unit	V	-	-	Stationary stabel

Lanjutan Tabel 2.1 Ringkasan *literature review supplier selection model*

No	Author(s)	Year	Types of Sourcing Decisions	Product	Horizon	Problem	Method	Objective function	Inventory Lotsizing	Carrier Selection	Tranportation Cost	Demand Assumptions
17	Rezaei & Davoodi	2011	Multiple sourcing	Multi	Multi	DSSP	MOMINLP	Two model without shortage & with backorder are proposed considering cost, quality, sevice level	V	-	V	Stationary & change
18	Jolai, Yazdian, Shahanaghi, Khojasteh	2011	Multiple sourcing	Multi	Multi	DSSP	FMCDM & MOMILP	The goal of periodic budget and total value of purchasing are considered	V	-	-	Stationary & change
19	Zhang, Zhang	2011	Multiple sourcing	Single	Single	TSSP	MIP	Maximize expected profit	V	-	-	Normal distribution
20	Kara	2011	Multiple sourcing	Multi	Multi	DSSP	Stochastic Programming	Minimize purchasing, late delivery, defective material, holding, and fixed cost	V	-	-	Normal distribution
21	Choudhary & Shankar	2011	Single sourcing	Single	Multi	TSSP	Integer linear programming	Minimize the buyer's total cost i.e. the purchasing, the transaction, the inventory holding cost	V	-	V	Stationary with certainty
22	Mansini, Savelsbergh, & Tocchella	2012	Multiple sourcing	Multi	Single	TSSP	Integer program	Minimize procurement expenditures both purchasing and transportation costs	V	-	V	Stationary dynamic demand
23	Choudhary, Shankar	2013	Multiple sourcing	Single	Multi	TSSP	Integer Linear Program	Minimize purchasing, transaction, holding cost	V	V	V	Stationary with certainty
24	Meena, Sarmah	2013	Multiple sourcing	Single	Single	TSSP	MINLP	Minimize expected total cost	-	-	-	Stationary & change
25	Zhang, Chen	2013	Multiple sourcing	Single	Single	TSSP	Non Linear MIP	Minimize purchase, supplier selection, holding, shortage cost	V	-	-	Normal distribution
26	Choudhary, Shankar	2014	Multiple sourcing	Single	Multi	TSSP	Goal Programming	Minimize rejected item, purchasing cost, transaction cost, inventory holding cost, late delivery	V	V	V	Stationary & change

Lanjutan Tabel 2.1 Ringkasan *literature review supplier selection model*

No	Author(s)	Year	Types of Sourcing Decisions	Product	Horizon	Problem	Method	Objective function	Inventory Lotsizing	Carrier Selection	Tranportation Cost	Demand Assumptions
27	Guo, Li	2014	Multiple sourcing	Single	Single	TSSP	MINLP	Maximize total expected profit	V	-	-	Poisson process
28	Ware, Sing, Banwet	2014	Multiple sourcing	Multi	Multi	DSSP	MINLP	Minimize total cost (purchase, transportation, delay cost, penalty cost)	-	-	V	Stationary random
29	Jadidi, Zolfaghari, Cavalieri	2014	Multiple sourcing	Single	Single	TSSP	Multi Objective Optimization Problem (MOOP)	Minimize price, reject, leadtime	-	-	-	Stationary
30	Ayhan and Kilic	2015	Multiple sourcing	Multi	Single	TSSP	F-AHP & MILP	Maximize total supplier score	V	-	-	Non stationary
31	Mazdeh et.al	2015	Multiple sourcing	Single	Multi	TSSP	MINLP	Minimize total cost	V	-	-	Non stationary
32	Ahmad Mondal &	2016	Multiple sourcing	Multi	Multi	DSSP	MINLP	Minimize total cost of procurement	V	-	V	Non stationary
33	Ghaniabadi and Mazinani	2017	Multiple sourcing	Single	Multi	TSSP	MILP	Total cost which consists of ordering costs, the unit purchase costs, holding costs and backlogging costs	V	-	-	Stationary
34	Hamdan and Cheaitou	2017	Multiple sourcing	Single	Multi	TSSP	ILP	Maximize total value purchasing	V	-	-	Stationary

Lanjutan Tabel 2.1 Ringkasan *literature review supplier selection model*

35	Trivedi <i>et al.</i>	2017	Multiple sourcing	Multi	Single	TSSP	MOILP	Procurement cost, fixed logistics charge, supplier's capacity	V	-	-	Non stationary
36	This dissertation	2018	Multiple sourcing	Multi	Multi	DSSP	MILP	Minimize purchasing, late delivery, defective material, holding, fixed cost and transportation	V	V	V	Non stationary

Lembar ini sengaja dikosongkan

## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab sebelumnya telah dipaparkan tentang pendahuluan dan tinjauan pustaka. Pada bab ini akan disajikan metodologi penelitian yang mengacu pada *modeling validating process* terdiri dari empat bagian yang saling terkait yaitu *problem situation*, *conceptual model*, *formal model* dan solusi serta rekomendasi seperti terlihat pada Gambar 3.1. (Landry, Malouin and Oral, 1983). Penelitian ini bertujuan mengembangkan model optimasi *dynamic supplier selection problem* dengan mempertimbangkan biaya transportasi dan ketidakpastian permintaan. Penelitian ini mengembangkan tiga model DSSP. Model pertama adalah model DSSP mempertimbangkan pengiriman dengan truk. Model kedua adalah model DSSP yang diintegrasikan dengan pemilihan *carrier*. Model ketiga adalah model DSSP mempertimbangkan pengiriman dengan truk dan permintaan *fuzzy*.

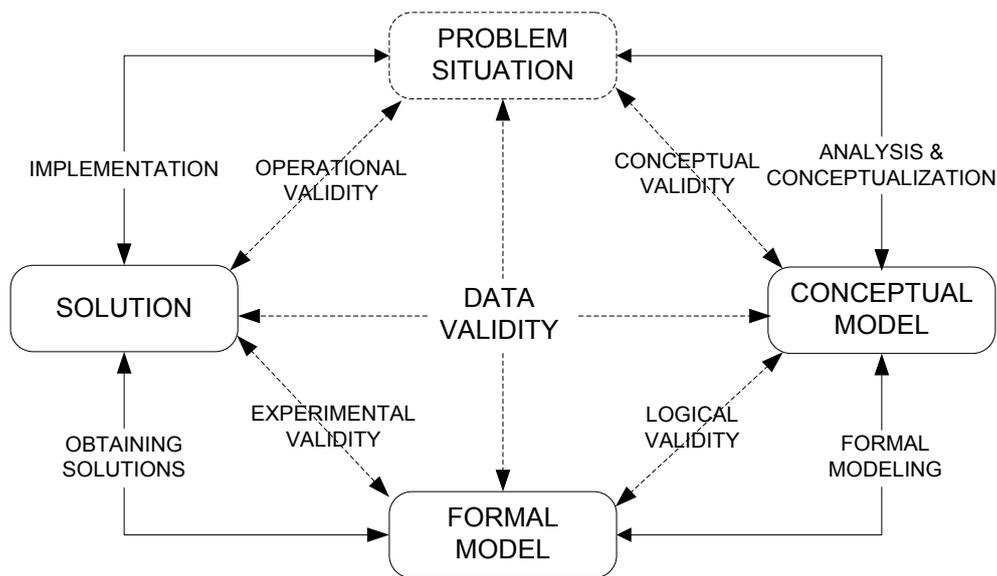
Tahapan pertama adalah *problem situation* yang terdiri dari aspek-aspek dari dunia nyata. Pada tahapan pertama, perumusan permasalahan akan sangat bergantung dan ditentukan oleh persepsi dan perilaku dari peneliti. Cakupan penelitian ini adalah *Dynamic Supplier Selection Problem* (DSSP) yang dialami manufaktur dimana pada kondisi nyata pemegang keputusan dihadapkan untuk memilih pemasok untuk produk jamak dan menentukan alokasi pemesanan kepada pemasok terpilih serta menentukan kapan dilakukan pemesanannya. Manufaktur menerima permintaan produk yang fluktuatif dan dimodelkan dengan pola-pola permintaan *non stationer* meliputi *erratic*, *life cycle* dan *sinosoidal*. Manufaktur juga dihadapkan pada skenario pembelian FOB Origin dimana biaya transportasi pengiriman dari pemasok ke manufaktur ditanggung dan dikelola oleh manufaktur. Jenis transportasi yang digunakan untuk pengiriman adalah menggunakan truk. Motivasi penelitian ini adalah adanya gap penelitian pada *Dynamic Supplier Selection Problem* (DSSP) serta pada kondisi nyata DSSP mulai banyak dipertimbangkan oleh manufaktur disebabkan keterbatasan pemasok memenuhi pemesanan manufaktur serta memperkecil resiko kegagalan pasokan dengan mempertimbangkan pemasok jamak.

Tahapan kedua adalah model konseptual yang dibentuk dari persepsi dan penilaian pembuat model atau pengambil keputusan. Model konseptual menunjukkan sudut pandang pembuat model, tujuan yang ingin dicapai, elemen-elemen terkait masalah yang harus dimasukkan dan dikeluarkan, tingkat agregasi dari elemen-elemen yang dimasukkan, hubungan antara elemen-elemen yang menarik. Pada tahapan ini dilakukan *conceptual*

*validity* dimana yang menjadi perhatian utama adalah tingkat relevansi asumsi dan teori-teori yang mendasari permasalahan apakah sudah tepat atau belum. Teknik validasi yang dipakai pada tahapan ini adalah *face validation* yaitu mengumpulkan opini tentang kewajaran dan akurasi model dari orang-orang yang berpengetahuan tentang sistem tersebut.

Tahapan ketiga adalah formal model yang merupakan penerjemahan dari model konseptual menjadi simbol matematika atau dalam bahasa komputer atau juga keduanya. Tujuan dari model formal adalah mempelajari masalah untuk mendapatkan solusi dan merumuskan rekomendasi. Pada tahapan ini dilakukan *logical validity* yang berkaitan dengan kapasitas model formal untuk menggambarkan secara benar dan akurat permasalahan seperti yang didefinisikan dalam model konseptual. *Logical validity* juga mencakup verifikasi yaitu apakah model formal yang dibangun berbasis komputer seperti yang dijelaskan dalam model konseptual. Kesulitan yang dihadapi berhubungan dengan bahasa yang digunakan dalam menerjemahkan model konseptual ke dalam model formal. Bahasa yang digunakan baik kode program komputer maupun matematika membatasi kapasitas model formal menangkap semua model konseptual. Oleh karena itu penerjemahan model konseptual ke model formal harus setepat mungkin sehingga elemen penting dari permasalahan tidak hilang. Teknik validasi yang dipakai pada tahapan formal model adalah *face validation* yaitu mengumpulkan opini tentang kewajaran dan akurasi formal model dari orang-orang yang berpengetahuan tentang sistem tersebut.

Tahapan keempat adalah solusi yang dapat dianggap sebagai output dari *modeling validating process*. Solusi ini diperoleh dari model formal menggunakan teknik solusi dan prosedur yang tersedia. Solusi merupakan dasar menyusun rekomendasi untuk menyelesaikan permasalahan. Pada tahapan ini dilakukan validasi operasional. Validasi operasional menghasilkan informasi untuk membantu pengambil keputusan menerima atau menolak solusi dan rekomendasi dari model formal. Kesulitan yang mungkin terjadi adalah menghapus faktor-faktor yang sebelumnya dipertimbangkan dalam rangka untuk menyederhanakan model dan mendapatkan solusi. Teknik validasi yang dipakai pada tahapan solusi adalah *sensitivity analysis* yaitu melihat efek perubahan parameter input pada perilaku model serta outputnya.



Gambar 3.1 Modeling-Validating Process (Landry, Malouin and Oral, 1983).

### 3.1 Permasalahan

Permasalahan yang diangkat pada disertasi ini adalah *Dynamic Supplier Selection Problem* (DSSP) yaitu ketika manufaktur hendak melakukan proses pengadaan multi produk dari beberapa pemasok (*multi supplier*) untuk beberapa waktu (*multi period*). Permintaan produk yang diterima manufaktur adalah *non stationary*. Pemasok tidak terkonsentrasi pada satu tempat akan tetapi tersebar di area yang sangat luas sehingga dibutuhkan transportasi untuk membawa produk-produk pemasok ke manufaktur.

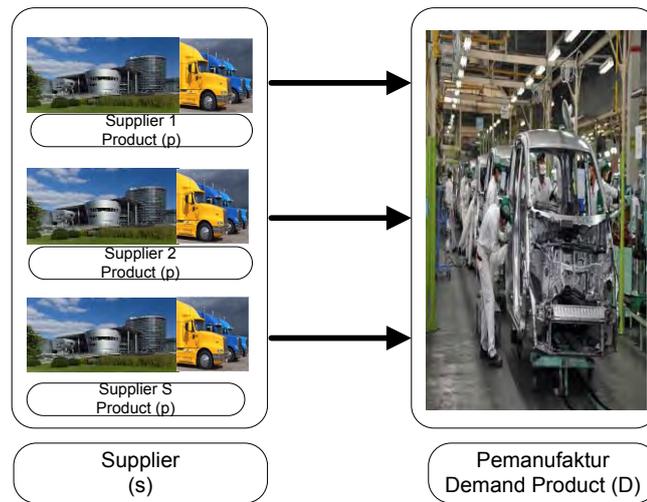
Masing-masing pemasok memiliki kapasitas produksi yang berlainan dan menawarkan harga per unit produk yang berlainan pula. Ada tiga macam skenario pembelian yaitu FOB *origin* tanpa carrier, FOB *origin* dengan *carrier* dan konsolidasi dan FOB *origin* tanpa carrier mempertimbangkan *uncertain demand*. Pada skenario FOB *origin* tanpa carrier pemanufaktur memasukkan biaya transportasi dalam biaya *procurement*. Biaya transportasi dihitung berdasarkan frekuensi pengiriman FTL dari pemasok ke manufaktur. Pada skenario FOB *origin* dengan konsolidasi, biaya transportasi dari wilayah pemasok ke manufaktur ditanggung oleh manufaktur, sehingga manufaktur dapat mengelola sendiri biaya transportasi (pengiriman) dengan melakukan konsolidasi pengiriman dari beberapa pemasok serta mengalihkan proses pengangkutan pada pihak ketiga yaitu *carrier*.

Untuk merespon *uncertain demand*, nilai ketidakpastian dapat didekati dengan dua cara yaitu dibangkitkan frekuensi dengan sampel (data historis atau uji coba) dan evaluasi tingkat keyakinan oleh pembuat keputusan (Liu, 2007). Pendekatan frekuensi menggunakan teori probabilitas yang dapat diaplikasikan ketika sampel tersedia untuk digunakan dalam menentukan distribusi probabilitasnya. Namun demikian, banyak kasus yang tidak tersedia sampel untuk menentukan distribusi probabilitas. Pada kasus seperti ini, teori *belief degree* dapat digunakan untuk memperkirakan nilai ketidakpastian dari variabel. Pendekatan *belief degree* yang sederhana adalah dengan menggunakan variable fuzzy. Nilai ketidakpastian dapat didekati dengan fungsi keanggotaan yang ditentukan oleh pembuat keputusan. Jika sebuah permasalahan optimasi berisi paling tidak satu variabel fuzzy (atau parameter), kemudian program fuzzy dapat digunakan untuk penyelesaian.

## **3.2 Model Konseptual**

### **3.2.1 Model 1**

Manufaktur akan melakukan proses pengadaan multi produk, dari multi pemasok untuk multi periode seperti terlihat pada Gambar 3.2. Manufaktur mengalami permintaan produk yang *non stationer* pada setiap periode, sehingga mempengaruhi proses pengadaan untuk part-part pada produk manufaktur. Part-part yang dipasok pemasok diasumsikan sama sebagai produk. Setiap pemasok memiliki kapasitas produksi yang berbeda-beda serta harga per unit produk juga berbeda-beda. Produk dikirim langsung dari tempat pemasok dengan menggunakan truk ke manufaktur. Truk yang digunakan untuk mengangkut produk memiliki kapasitas *full truck load* (FTL) yang sama. Frekuensi pengiriman dari pemasok ke manufaktur bergantung pada jumlah total kuantitas pemesanan ke pemasok dibagi dengan kapasitas FTL. Biaya transportasi dari pemasok ke manufaktur mungkin berbeda tergantung jarak antara pemasok dengan manufaktur. Selama horizon perencanaan, *shortage* dimungkinkan terjadi dan *backlog* dilakukan ketika *inventory* yang tersedia ditambah dengan kuantitas produk yang dibeli pada periode tersebut kurang dari permintaan. Produk yang berlebih pada satu periode dapat dipergunakan untuk periode berikutnya namun ada biaya simpan untuk itu. *Inventory* dibatasi oleh kapasitas penyimpanan manufaktur sedangkan *shortage* dibatasi oleh *service level* yang ditentukan oleh manufaktur. Manufaktur harus memilih satu pemasok atau lebih untuk memasok part-part yang menyusun produk jadi dan menentukan kapan waktu pembelian dan *lot size* pada tiap periodenya. Proses pengadaan yang dilakukan manufaktur harus mampu memenuhi permintaan yang mempertimbangkan pula keterlambatan dan penolakan akibat produk cacat.



Gambar 3.2 Model 1 yang dipertimbangkan

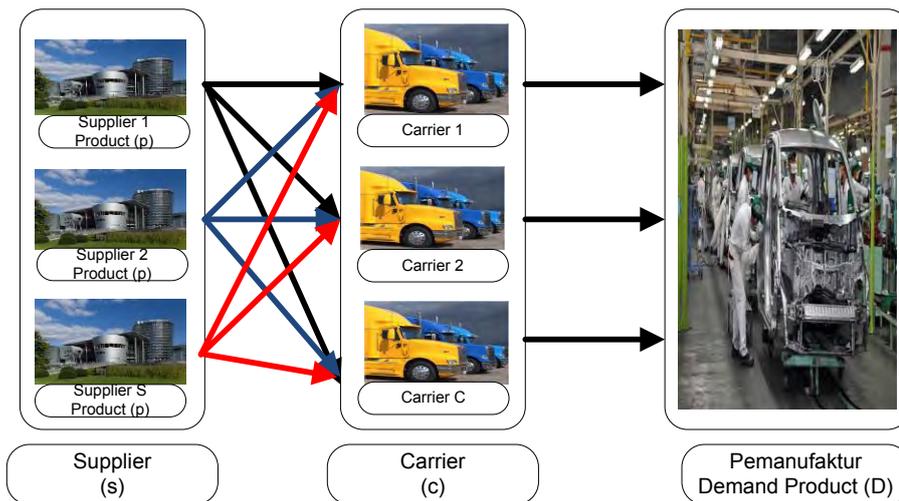
Fungsi tujuan pada model ini adalah meminimalkan biaya pengadaan yang meliputi biaya pembelian produk, biaya pengiriman dari pemasok ke pembeli, biaya pemesanan, biaya simpan, biaya penalti keterlambatan pengiriman, biaya penalti akibat produk cacat, biaya rekrutmen dan penilaian pemasok baru serta biaya shortage.

Asumsi pada model ini adalah sebagai berikut :

1. Permintaan masing–masing produk mengikuti pola permintaan non stationary.
2. Shortage dapat terjadi dan diikuti dengan backlogged
3. Kapasitas produksi dari pemasok telah ditentukan
4. Kapasitas penyimpanan pemanufaktur sudah pasti tiap periode
5. Biaya pemesanan dikenakan setiap periode ketika pemesanan diberikan kepada pemasok
6. Biaya simpan dikenakan ketika produk melewati satu periode selama horison perencanaan
7. Pengiriman yang terlambat dari semua pemasok diasumsikan diterima pada periode berikutnya
8. Pemasok menanggung biaya pengiriman produk terlambat.
9. Biaya rekrutmen dan penilaian pemasok baru hanya dikenakan sekali.

### 3.2.2 Model 2

Manufaktur akan melakukan proses pengadaan multi produk, dari multi pemasok untuk multi periode seperti terlihat pada Gambar 3.3. Manufaktur mengalami permintaan produk yang *non stationer* pada setiap periode, sehingga mempengaruhi proses pengadaan untuk part-part pada produk manufaktur. Part-part yang dipasok pemasok diasumsikan sama sebagai produk. Setiap pemasok memiliki kapasitas produksi yang berbeda-beda serta harga per unit produk juga berbeda-beda. Produk dikirim dari tempat pemasok oleh carrier dengan melakukan konsolidasi pengiriman produk dari semua pemasok yang terpilih. Biaya transportasi masing-masing carrier dari pemasok ke manufaktur mungkin berbeda tergantung jarak antara pemasok dengan manufaktur. Pengadaan yang dilakukan harus mampu memenuhi permintaan yang mempertimbangkan penolakan produk cacat dan keterlambatan pengiriman. Selama periode perencanaan, *shortages* diijinkan dan *backlog* dilakukan ketika ketersediaan *inventory* ditambah dengan barang yang dibeli dalam periode tersebut lebih kecil daripada permintaan manufaktur. Dapat juga terjadi kelebihan produk yang dapat digunakan pada periode berikutnya, namun ada biaya penyimpanan yang harus ditanggung. *Shortage* dibatasi oleh *service level* yang ditentukan manufaktur sedangkan *inventory* dibatasi kapasitas penyimpanan.



Gambar 3.3 Model 2 yang dipertimbangkan

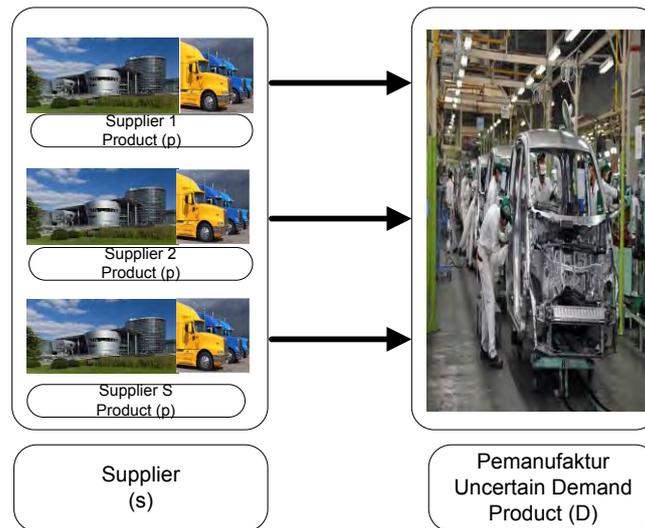
Fungsi tujuan pada model ini adalah meminimalkan biaya pengadaan yang meliputi biaya pembelian produk, biaya pengiriman dari pemasok ke pembeli, biaya pemesanan, biaya simpan, biaya penalti keterlambatan pengiriman, biaya penalti akibat produk cacat, biaya rekrutmen dan penilaian pemasok baru serta biaya shortage.

Asumsi pada model ini adalah sebagai berikut :

1. Permintaan masing–masing produk mengikuti pola permintaan *non stationary*.
2. *Shortage* dapat terjadi dan diikuti dengan *backlogged*.
3. Kapasitas produksi dari pemasok telah ditentukan.
4. Kapasitas penyimpanan pemanufaktur sudah pasti tiap periode.
5. Biaya pemesanan dikenakan setiap periode ketika pemesanan diberikan kepada pemasok.
6. Biaya simpan dikenakan ketika produk melewati satu periode selama horison perencanaan.
7. Pengiriman yang terlambat dari semua pemasok diasumsikan diterima pada periode berikutnya.
8. Pemasok menanggung biaya pengiriman produk terlambat.
9. Biaya rekrutmen dan penilaian pemasok baru hanya dikenakan sekali.

### 3.2.3 Model 3

Manufaktur akan melakukan proses pengadaan multi produk, dari multi pemasok untuk multi periode seperti terlihat pada Gambar 3.4. Manufaktur mengalami permintaan produk yang tidak pasti pada setiap periode, sehingga mempengaruhi proses pengadaan untuk part-part pada produk manufaktur. Part-part yang dipasok pemasok diasumsikan sama sebagai produk. Setiap pemasok memiliki kapasitas produksi yang berbeda-beda serta harga per unit produk juga berbeda-beda. Produk dikirim dari tempat pemasok dengan truk ke pemanufaktur. Biaya transportasi dari pemasok ke manufaktur mungkin berbeda tergantung jarak antara pemasok dengan manufaktur. Pengadaan yang dilakukan harus mampu memenuhi permintaan yang mempertimbangkan penolakan produk cacat dan keterlambatan pengiriman. Selama periode perencanaan, *shortages* diijinkan dan *backlog* dilakukan ketika ketersediaan *inventory* ditambah dengan barang yang dibeli dalam periode tersebut lebih kecil daripada permintaan manufaktur. Dapat juga terjadi kelebihan produk yang dapat digunakan pada periode berikutnya, namun ada biaya penyimpanan yang harus ditanggung. *Shortage* dibatasi oleh *service level* yang ditentukan manufaktur sedangkan *inventory* dibatasi kapasitas penyimpanan.



Gambar 3.4 Model 3 yang dipertimbangkan

Fungsi tujuan pada model ini adalah meminimalkan biaya pengadaan yang meliputi biaya pembelian produk, biaya pengiriman dari pemasok ke pembeli, biaya pemesanan, biaya simpan, biaya penalti keterlambatan pengiriman, biaya penalti akibat produk cacat, biaya rekrutmen dan penilaian pemasok baru serta biaya shortage.

Asumsi pada model ini adalah sebagai berikut :

1. Permintaan masing–masing produk mengikuti pola permintaan *uncertainty*.
2. *Shortage* dapat terjadi dan diikuti dengan *backlogged*.
3. Kapasitas produksi dari pemasok telah ditentukan.
4. Kapasitas penyimpanan pamanufaktur sudah pasti tiap periode.
5. Biaya pemesanan dikenakan setiap periode ketika pemesanan diberikan kepada pemasok.
6. Biaya simpan dikenakan ketika produk melewati satu periode selama horison perencanaan.
7. Pengiriman yang terlambat dari semua pemasok diasumsikan diterima pada periode berikutnya.
8. Pemasok menanggung biaya pengiriman produk terlambat.
9. Biaya rekrutmen dan penilaian pemasok baru hanya dikenakan sekali.

### 3.3 Model Formal

Penyusunan formal model DSSP dalam bentuk model matematis dengan mempertimbangkan model konseptual yang telah dibuat, menggunakan acuan model dari (Ware, Singh and Banwet, 2014) dan (Choudhary and Shankar, 2011, 2013, 2014). Model DSSP dikembangkan menggunakan *mixed integer linear programming* (MILP).

#### 3.3.1 Model 1

Pada model 1 ini skenario pembelian adalah FOB *origin* tanpa *carrier* pada kondisi *non stationer demand*. Model yang dikembangkan adalah *mixed integer linear programming* (MILP). Berikut adalah indeks, variabel keputusan, parameter, fungsi tujuan serta batasan yang akan dipakai dalam model :

Indeks :

- T : Periode waktu : 1,2,3, ...,  $t$
- S : Pemasok : 1,2,3, ...,  $s$
- P : Tipe produk : 1,2,3, ...,  $p$

Variabel keputusan :

- $X_{tsp}$  : Jumlah produk  $p$  yang dipasok pemasok  $s$  pada periode  $t$
- $S_{ts}$  : Frekuensi pengiriman oleh truk dari pemasok pada periode  $t$
- $Z_{ts}$  : Variabel biner (1 jika pesanan diberikan pada pemasok  $s$  pada periode  $t$  sehingga biaya pesan dikenakan, 0 sebaliknya)
- $W_s$  : Variabel biner untuk memilih pemasok baru (1 jika kontrak dilakukan dengan pemasok  $s$ , 0 sebaliknya)
- $i_{tp}^+$  : Inventori produk  $p$  pada periode  $t$
- $i_{tp}^-$  : Shortage produk  $p$  pada periode  $t$

Parameter :

- $UP_{sp}$  : Harga per unit produk  $p$  dari pemasok  $s$
- $TC_s$  : Biaya FTL dari pemasok ke pembeli
- $NC_s$  : Biaya kontrak
- $SOC_p$  : Biaya *shortage* per unit produk  $p$
- $C$  : Kapasitas FTL
- $D_{tp}$  : Permintaan produk  $p$  untuk periode  $t$
- $SC_{sp}$  : Kapasitas pemasok  $s$  untuk produk  $p$
- $l_{sp}$  : Persentase keterlambatan pengiriman produk  $p$  oleh pemasok  $s$
- $d_{sp}$  : Persentase produk cacat  $p$  oleh pemasok  $s$

- $P_p^l$  : Biaya penalti untuk keterlambatan  
 $P_p^d$  : Biaya penalti untuk produk cacat  
 $O_s$  : Biaya pesan untuk pemasok  $s$   
 $H_p$  : Biaya simpan produk  $p$  per unit  
 $Q_{tp}$  : Kapasitas penyimpanan pembeli untuk produk  $p$  periode  $t$   
 $\phi$  : Service level yang ditentukan pembeli pada periode  $t$  sehingga  $(1-\phi)$  adalah permintaan pembeli yang tidak dapat dipenuhi pemasok pada periode  $t$   
 $M$  : Bilangan besar

Fungsi tujuan model 1 FOB *origin* pada kondisi *non stationary demand* (untuk merepresentasikan fluktuasi permintaan) dapat diformulasikan sebagai minimasi biaya *procurement* :

$$\text{Minimize } Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5 + Z_6 + Z_7 + Z_8 \quad (1)$$

$$Z_1 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P UP_{sp} * X_{tsp} \quad (1a)$$

$$Z_2 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S TC_s * S_{ts} \quad (1b)$$

$$Z_3 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S O_s * Z_{ts} \quad (1c)$$

$$Z_4 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S NC_s * W_s \quad (1d)$$

$$Z_5 = \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P h_p * i_{tp}^+ \quad (1e)$$

$$Z_6 = \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P SOC_p * i_{tp}^- \quad (1f)$$

$$Z_7 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P P_p^d * d_{sp} * X_{tsp} \quad (1g)$$

$$Z_8 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P P_p^l * l_{sp} * X_{tsp} \quad (1f)$$

Subject to:

$$i_{(t-1)p}^+ + \sum_{s=1}^S X_{tsp} + \sum_{s=1}^S l_{ps} X_{(t-1)sp} - \sum_{s=1}^S l_{ps} X_{tsp} - \sum_{s=1}^S d_{ps} X_{tsp} \geq D_{tp} + i_{(t-1)p}^- + i_{tp}^+ - i_{tp}^- \quad (2)$$

$\forall t \in T, \forall p \in P$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S X_{tsp} \geq \sum_{t=1}^T D_{tp} \quad \forall p \in P \quad (3)$$

$$\left[ \frac{\sum_{p=1}^P X_{tsp}}{C} \right] \leq S_{ts} \quad \forall s \in S, \forall t \in T \quad (4)$$

$$X_{tsp} \leq SC_{sp} \quad \forall t \in T, \forall p \in P, \forall s \in S \quad (5)$$

$$\sum_{p=1}^P X_{tsp} \leq M * Z_{ts} \quad \forall t \in T, \forall s \in S \quad (6)$$

$$i_{tp}^+ \leq Q_{tp} \quad \forall t \in T, \forall p \in P \quad (7)$$

$$\sum_{t=1}^T Z_{ts} \leq M * W_s \quad \forall s \in S \quad (8)$$

$$\sum_t i_{tp}^- \leq (1-\phi) \sum_t D_{tp} \quad \forall p \in P \quad (9)$$

$$X_{tsp}, S_{ts}, i_{tp}^+, i_{tp}^- \geq 0, \text{ integer} \quad (10)$$

$$Z_{ts}, W_s \in \{0,1\} \quad (11)$$

Fungsi tujuan (1) merepresentasikan tujuan meminimasi biaya pengadaan yang terdiri dari delapan bagian represents: (1a) Biaya pembelian, (1b) biaya transportasi, (1c) biaya pesan, (1d) biaya kontrak, (1e) biaya simpan, (1f) biaya shortage, (1g) penalti karena produk cacat, (1h) penalti karena keterlambatan. Pembeli akan berusaha meminimasi fungsi tujuan dengan beberapa batasan berikut.

Batasan (2) menjamin bahwa permintaan produk pada periode t harus dipenuhi dari inventory yang tersedia dan pengiriman yang tiba pada periode tersebut. Dalam hal permintaan tidak dapat dipenuhi, backlog dapat dilakukan. Batasan (3) dibutuhkan agar permintaan selama horison perencanaan dapat dipenuhi. Batasan (4) pengiriman semua produk dari tiap pemasok tidak dapat melebihi kapasitas full truck load (FTL). Batasan (5) menjamin bahwa pesanan dari pamanufaktur tidak dapat melebihi kapasitas pemasok. Batasan (6) untuk memastikan pamanufaktur dikenai biaya pesan. Batasan (7) menjamin bahwa inventori pada periode t tidak dapat melebihi kapasitas penyimpanan pamanufaktur. Ketika pemasok baru terpilih maka dikenakan biaya kontrak. Batasan (8) menjamin bahwa pemasok baru dikenai biaya berkontrak. Batasan (9) menjamin bahwa kekurangan produk tidak dapat melebihi service level yang ditentukan pamanufaktur. Batasan (10) adalah non-negative dan integer untuk variabel keputusan. Batasan (11) menyatakan sebagai variabel biner.

### 3.3.2 Model 2

Pada model 2 ini skenario pembelian adalah FOB *origin* dengan agregasi produk untuk setiap pemasok dan dikirimkan oleh *carrier* dari pemasok ke manufaktur pada kondisi *non stationer demand*. Model yang dikembangkan adalah *mixed integer linear programming* (MILP). Berikut adalah indeks, *decision variabel* dan fungsi tujuan yang akan dipakai :

Indeks :

T	: Periode waktu	: 1,2,3, ..., $i$
S	: Pemasok	: 1,2,3, ..., $s$
P	: Tipe produk	: 1,2,3, ..., $p$
R	: <i>Carrier</i>	: 1,2,3, ... , $r$

*Decision Variabel* :

$X_{tspr}$	: Jumlah produk $p$ yang dipasok oleh pemasok $s$ pada periode $t$ menggunakan <i>carrier</i> $c$
$Z_{ts}$	: Variabel biner keputusan untuk menentukan alokasi biaya pemesanan kepada pemasok $s$ pada periode $t$
$W_s$	: Variabel biner keputusan untuk memilih pemasok baru $s$
$i_{tp}^+$	: <i>Inventory</i> untuk produk $p$ pada periode $t$
$i_{tp}^-$	: <i>Shortage (kekurangan)</i> untuk produk $p$ pada periode $t$

Parameter :

$UP_{sp}$	: Harga per unit produk $p$ yang dipasok pemasok $s$ pada periode $t$
$TC_{spr}$	: Biaya transportasi per produk dari pemasok $s$ pada periode $t$ oleh <i>carrier</i> $r$
$O_s$	: Biaya tetap untuk melakukan pemesanan dengan pemasok $s$
$H_p$	: Biaya simpan untuk produk $p$
$P_p^l$	: Biaya penalti untuk keterlambatan pengiriman
$l_{sp}$	: Prosentase produk $p$ yang terlambat dikirim oleh pemasok $s$
$P_p^d$	: Biaya penalti untuk produk cacat
$d_{sp}$	: Prosentase produk $p$ cacat yang dikirim oleh pemasok $s$

- $NC_s$  : Biaya rekrutmen dan penilaian pemasok baru  $s$   
 $D_{tp}$  : Permintaan produk  $p$  pada periode  $t$   
 $SC_{isp}$  : Kapasitas pemasok  $s$  untuk produk  $p$  pada periode  $t$   
 $Q_{tp}$  : Kapasitas penyimpanan manufaktur produk  $p$  pada periode  $t$   
 $\phi$  : Service level manufaktur pada periode  $t$  sehingga  $(1-\phi)$  adalah proporsi antara permintaan yang tidak terpenuhi dengan permintaan dan dilakukan backorder  
 $C_r$  : Kapasitas *carrier*  
 $SOC_p$  : Biaya shortage per unit produk  $p$   
 $M$  : Bilangan yang besar

Fungsi tujuan model 2 FOB *origin* dengan agregrasi produk untuk setiap pemasok pada kondisi *non stationer demand* dapat diformulasikan sebagai minimasi biaya *procurement* :

$$\text{Minimal } Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5 + Z_6 + Z_7 + Z_8 \quad (1)$$

$$Z_1 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R UP_{sp} * X_{tspr} \quad (1a)$$

$$Z_2 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R TC_{spr} * X_{tspr} \quad (1b)$$

$$Z_3 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S O_s * Z_{ts} \quad (1c)$$

$$Z_4 = \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P h_p * i_{tp}^+ \quad (1d)$$

$$Z_5 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R P_p^l * l_{sp} * X_{tspr} \quad (1e)$$

$$Z_6 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R P_p^d * d_{sp} * X_{tspr} \quad (1f)$$

$$Z_7 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S NC_s * W_s \quad (1g)$$

$$Z_8 = \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P SOC_p * i_{tp}^- \quad (1f)$$

Fungsi tujuan pada model 2 ini adalah meminimalkan biaya pengadaan secara berurutan yang meliputi :

- 1a. biaya pembelian produk merupakan biaya yang dikeluarkan manufaktur untuk membeli produk dari pemasok dengan harga *FOB Origin*.
- 1b. biaya pengiriman dari pemasok ke manufaktur adalah biaya transportasi yang ditanggung manufaktur untuk memindahkan semua produk yang dipesan dari setiap pemasok pada periode t ke manufaktur oleh *carrier*.
- 1c. biaya pemesanan dikenakan kepada manufaktur ketika ada pemesanan ke pemasok setiap periode. Biaya pemesanan ke pemasok dikenakan sekali tiap periode walaupun manufaktur memesan multi produk.
- 1d. biaya simpan adalah biaya yang dikenakan jika ada produk yang disimpan melampaui satu periode waktu.
- 1e. biaya penalti keterlambatan pengiriman merupakan biaya yang timbul akibat tidak terkirimnya / terlambatnya produk sehingga mengganggu proses produksi.
- 1f. biaya penalti akibat produk cacat merupakan biaya yang timbul akibat ada produk cacat yang dikirimkan oleh pemasok sehingga mengganggu proses produksi.
- 1.g biaya rekrutmen dan penilaian pemasok baru merupakan biaya yang dikenakan sekali pada periode perencanaan ketika manufaktur hendak melakukan kontrak dengan pemasok.
- 1h. Biaya shortage akibat tidak tersedianya produk sehingga mengganggu proses produksi.

Batasan-batasan yang dipertimbangkan pada model ini adalah sebagai berikut :

1. Keseimbangan inventori. Batasan (2) menjamin permintaan produk pada periode t harus dipenuhi dari inventori yang tersedia dan produk yang dibeli pada periode tersebut. Ketika permintaan tidak dapat dipenuhi, backlog dapat dilakukan.

$$\begin{aligned}
 & i_{(t-1)p}^+ + \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R X_{tspr} + \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R l_{sp} X_{(t-1)spr} - \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R l_{sp} X_{tspr} - \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R d_{sp} X_{tspr} \\
 & \geq D_{tp} + i_{(t-1)p}^- + i_{tp}^+ - i_{tp}^- \quad \forall t \in T, \forall p \in P
 \end{aligned} \tag{2}$$

2. Pemenuhan permintaan. Batasan (3) menjamin bahwa permintaan selama periode perencanaan harus dipenuhi.

$$\sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S X_{tspr} \geq \sum_{t=1}^T D_{tp} \quad \forall p \in P \tag{3}$$

3. Kapasitas *carrier*. Pengiriman semua produk dari setiap pemasok dikonsolidasikan oleh *carrier* dan kuantitas produk yang dikirim tidak dapat melebihi kapasitas *carrier*.

$$\sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P X_{tspr} \leq C_r \quad \forall t \in T, \forall r \in R \quad (4)$$

4. Kapasitas Pemasok. Pemesanan produk oleh pembeli tidak dapat melebihi kapasitas pemasok.

$$\sum_{r=1}^R X_{tspr} \leq SC_{tsp} \quad \forall t \in T, \forall p \in P, \forall s \in S \quad (5)$$

5. Biaya Pemesanan. Batasan (6) menjamin biaya pesan dikenakan.

$$\sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R X_{tspr} \leq M * Z_{ts} \quad \forall t \in T, \forall s \in S \quad (6)$$

6. Kapasitas penyimpanan. Batasan (7) menjamin inventori periode t tidak dapat melebihi kapasitas penyimpanan pembeli.

$$i_{tp}^+ \leq Q_p \quad \forall t \in T, \forall p \in P \quad (7)$$

7. Biaya kontrak. Ketika ditentukan ada pemasok baru, biaya kontrak dikenakan. Batasan (8) menjamin biaya kontrak dikenakan terhadap pemasok baru.

$$\sum_{t=1}^T Z_{ts} \leq M * W_s \quad \forall s \in S \quad (8)$$

8. *Service level*. *Shortage* tidak boleh melebihi service level yang ditentukan pembeli.

$$\sum_{t=1}^T i_{tp}^- \leq (1 - \phi) \sum_{t=1}^T D_{tp} \quad \forall p \in P \quad (9)$$

9. Batasan integer dan non negatif.

$$X_{tspr}, i_{tp}^+, i_{tp}^- \geq 0 \quad (10)$$

10. Variabel biner.

$$Z_{ts}, W_s \in \{0,1\} \quad (11)$$

### 3.3.3 Model 3

Pada model 3 ini skenarionya adalah dynamic supplier selection problem mempertimbangkan full truck load dengan permintaan fuzzy. Model matematika pada *expected value based fuzzy programming* digunakan untuk menentukan strategi yang optimal yaitu volume produk yang optimal dibeli dari pemasok terpilih untuk setiap periode Model yang dikembangkan adalah *mixed integer linear programming* (MILP). Berikut adalah indeks, *decision variabel* dan fungsi tujuan yang akan dipakai :

Indeks :

- T : Periode waktu : 1,2,3, ...,  $t$   
S : Pemasok : 1,2,3, ...,  $s$   
P : Tipe produk : 1,2,3, ...,  $p$

Decision Variabel :

- $X_{tsp}$  : Jumlah (unit) produk  $p$  yang dibeli dari pemasok  $s$  pada periode  $t$   
 $S_{ts}$  : Jumlah pengiriman truk dari pemasok  $s$  pada periode  $t$   
 $Z_{ts}$  : Bilangan biner yang menunjukkan apakah pemasok  $s$  dikenakan biaya pesan (1) atau tidak (0) pada periode  $t$   
 $W_s$  : Bilangan biner yang menunjukkan apakah pemasok  $s$  dipilih sebagai pemasok baru (1) atau tidak (0)  
 $i_{tp}^+$  : Level inventori produk  $p$  pada periode  $t$   
 $i_{tp}^-$  : Level shortage level produk  $p$  pada periode  $t$

Parameter :

- $UP_{sp}$  : Harga per unit produk  $p$  dipasok oleh pemasok  $s$  untuk tiap-tiap periode  
 $TC_s$  : Biaya FTL dari pemasok  $s$  menuju ke pembeli untuk tiap periode  
 $NC_s$  : Biaya kontrak untuk memilih pemasok baru  $s$   
 $SOC_{tp}$  : Biaya shortage produk  $p$  pada periode  $t$   
 $C$  : Kapasitas FTL  
 $D_{tp}$  : Permintaan produk  $p$  pada periode  $t$   
 $SC_{tsp}$  : Kapasitas pemasok  $s$  untuk produk  $p$  pada periode  $t$   
 $l_{sp}$  : Persentase keterlambatan pengiriman produk  $p$  dari pemasok  $s$  pada tiap periode  
 $de_{sp}$  : Persentase produk cacat  $p$  dari pemasok  $s$  pada tiap periode  
 $P_p^l$  : Biaya penalti keterlambatan pengiriman produk  $p$  pada tiap periode  
 $P_p^d$  : Biaya penalti produk cacat  $p$  pada tiap periode  
 $O_s$  : Biaya pesan pemasok  $s$   
 $h_p$  : Biaya simpan per unit produk  $p$  pada tiap periode  
 $Q_{tp}$  : Kapasitas penyimpanan pamanufaktur untuk produk  $p$  pada tiap periode  $t$   
 $\phi_p$  : Service level pamanufaktur pada tiap periode yaitu  $(1-\phi)$  yang merupakan proporsi permintaan produk  $p$  yang tidak dapat dipenuhi oleh pemasok pada tiap periode  $t$

Permasalahan pemilihan pemasok dengan permintaan fuzzy yang dibahas memiliki fungsi tujuan meminimumkan biaya procurement dan batasan-batasan yang dapat memenuhi permintaan fuzzy beserta batasan lain yang relevan. Model matematikanya adalah sebagai berikut ;

$$\begin{aligned}
\min Z = & \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P U_{sp} \cdot X_{tsp} + \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S O_s \cdot Z_{ts} \\
& + \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S NC_s \cdot W_s + \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P h_p \cdot i_{tp}^+ \\
& + \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P SOC_p \cdot i_{tp}^- + \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S TC_s \cdot S_{ts} \\
& + \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P P_p^d \cdot de_{sp} \cdot X_{tsp} \\
& + \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P P_p^l \cdot l_{sp} \cdot X_{tsp}
\end{aligned} \tag{6}$$

#### Batasan

$$\begin{aligned}
& i_{(t-1)p}^+ - i_{tp}^+ + \sum_{s=1}^S X_{tsp} + \sum_{s=1}^S l_{ps} X_{(t-1)sp} \\
& - \sum_{s=1}^S l_{ps} X_{tsp} - \sum_{s=1}^S d_{ps} X_{tsp} - i_{(t-1)p}^- \\
& + i_{tp}^- \geq E[\tilde{D}_{tp}], \forall t \in T, \forall p \in P;
\end{aligned} \tag{7}$$

$$\frac{i_{tp}^-}{(1-\phi_p)} \leq E[\tilde{D}_{tp}], \forall p \in P, \forall t \in T; \tag{8}$$

$$\left[ \frac{\sum_{p=1}^P X_{tsp}}{C} \right] \leq S_{ts}, \forall s \in S, \forall t \in T; \tag{9}$$

$$X_{tsp} \leq SC_{tsp}, \forall t \in T, \forall s \in S, \forall p \in P; \tag{10}$$

$$\sum_{p=1}^P X_{tsp} \leq M \cdot Z_{ts}, \forall t \in T, \forall s \in S; \tag{11}$$

$$i_{tp}^+ \leq Q_{tp}, \forall t \in T, \forall p \in P; \tag{12}$$

$$\sum_{t=1}^T Z_{ts} \leq M \cdot W_s, \forall s \in S; \tag{13}$$

$$X_{isp}, S_{is}, i_{ip}^+, i_{ip}^- \text{ integer}; \quad (14)$$

$$Z_{is}, W_s \in \{0,1\}. \quad (15)$$

Batasan (7)-(15) dapat dijelaskan secara beruntun sebagai berikut. Batasan 7 digunakan untuk mengelola inventori dan pemenuhan permintaan. Batasan 8 terkait service level yang ditentukan, sedangkan batasan 9 adalah kondisi *full truck load*. Batasan 10 sampai 15 berkaitan dengan kapasitas pemasok, biaya pemesanan, kapasitas penyimpanan, indikator pemasok baru, kendala integer dan kendala biner untuk variabel keputusan secara berurutan.

### 3.4 Solusi

Tahapan solusi akan dilakukan *sensitivity analysis* yang merupakan salah satu teknik validasi yaitu melihat efek perubahan parameter input pada perilaku model serta outputnya. Parameter input yang diubah-ubah adalah permintaan yang akan dimodelkan berupa pola-pola permintaan *non stationary* meliputi tipe *erratic*, *life cycle* dan *sinusoidal*.

Berdasarkan parameter input permintaan akan dilihat apakah akan terjadi perubahan pada output model yaitu pemasok yang terpilih, alokasi pesanan ke tiap pemasok serta waktu pemesanan. Model 1 akan digunakan untuk menjawab pertanyaan penelitian pertama yaitu apakah sebaiknya menggunakan DSPP atau TSSP pada kondisi dimana permintaan mengikuti pola permintaan *non stationary* seperti *erratic*, *life cycle* dan *sinusoidal*.

Pada model 2 parameter input permintaan *non stationary* akan dimasukkan ke dalam model yang mengikuti pola permintaan seperti *erratic*, *life cycle* dan *sinusoidal*. Kemudian, dilakukan analisis sensitivitas untuk menjawab pertanyaan penelitian ke dua yaitu apakah pembelian FOB Origin sebaiknya dilakukan dengan konsolidasi atau tanpa konsolidasi dengan membandingkan dengan model 2. Sedangkan pada model 3 akan dikembangkan model 1 mempertimbangkan kondisi ketidakpastian permintaan dengan menggunakan variabel fuzzy.

## BAB 4

# PROSES PEMILIHAN PEMASOK MEMPERTIMBANGKAN PENGIRIMAN DENGAN TRUK

Telah dijelaskan pada bab sebelumnya metodologi penelitian yang digunakan adalah *modeling validating process* terdiri dari empat bagian yang saling terkait yaitu *problem situation*, *conceptual model*, *formal model* dan solusi. Metodologi ini akan digunakan untuk menyusun model pertama DSSP dengan mempertimbangkan pengiriman *Full Truck Load* (FTL). Pembentukan model pertama ini bertujuan untuk membantu praktisi pengadaan memecahkan permasalahan pengadaan, ketika pengambil keputusan harus menentukan pemasok yang tepat dan memecah *lot size* pemesanan kepada pemasok terpilih selama horison waktu perencanaan untuk multi produk dan multi pemasok dengan mempertimbangkan pengiriman *Full Truck Load* (FTL). Biaya transportasi dipertimbangkan dalam model karena merupakan salah satu kunci untuk membuat pengadaan yang lebih efisien. Pembentukan model ini diawali pembuatan model konseptual dan kemudian dibuat model formalnya berupa formulasi dalam model *Mixed Integer Linear Programming* (MILP). Selanjutnya akan dilakukan *numeric example* untuk menguji keandalan model.

### 4.1 Latar Belakang

Dewasa ini, perusahaan dihadapkan pada persaingan yang tajam karena globalisasi. Globalisasi membuat lingkungan bisnis menjadi semakin kompleks. Supaya tetap dapat berkompetisi di era global, perusahaan dipaksa untuk mengoptimalkan kinerja seluruh rantai pasoknya. Untuk banyak perusahaan, pemilihan pemasok adalah salah satu keputusan kunci untuk memenangkan persaingan. Hal ini nyata kebenarannya, terutama pada manufaktur dimana biaya material mentah dan komponen-komponen yang diadakan dari pemasok dapat mencapai lebih dari 50% penghasilan (Weber and Current, 1993). Biaya komponen-komponen yang merupakan biaya terbanyak dari suatu produk didapatkan melalui proses pemilihan pemasok (Mendoza and Ventura, 2010).

Menurut Aissaoui, Haouari, & Hassini (2007) ada enam proses mayor tentang keputusan pemilihan pemasok: (1) *'make or buy'*, (2) *supplier selection*, (3) *contract negotiation*, (4) *design collaboration*, (5) *procurement*, and (6) *sourcing analysis*. Pada proses pemilihan pemasok, sekelompok pemasok diseleksi untuk mengadakan material berdasarkan kriteria yang telah ditentukan. Dickson (1966) telah mengeluarkan 23 kriteria pemilihan pemasok dalam penelitian empirisnya. Secara umum, proses pemilihan pemasok

telah banyak mendapat perhatian dari banyak peneliti (Weber, Current and Benton, 1991). Proses pengadaan membahas tentang bagaimana pemasok akan mengirim material tepat waktu dengan biaya minimum. Selanjutnya, proses pengambilan keputusan pengadaan berhubungan dengan masalah *lot-size* dan inventori.

Pada prakteknya, untuk meminimasi resiko pengadaan dan tetap dapat berkompetisi, perusahaan dapat membeli material dari banyak pemasok (Burke, Carrillo and Vakharia, 2007). Lebih lanjut, ketika pembeli akan mengadakan suatu material tetapi tidak ada satupun pemasok yang mampu memenuhi permintaan disebabkan berbagai keterbatasan seperti kapasitas, level kualitas, waktu pengiriman, harga pada pemasok, maka pembeli dapat mengadakan material dari banyak pemasok (Ware, Singh and Banwet, 2014). Oleh karena itu, keputusan tentang seleksi pemasok terbaik dan alokasi kuantitas pesanan terhadap pemasok terpilih adalah keputusan bisnis yang penting .

Pada permasalahan pemilihan pemasok, baik biaya pembelian dan biaya transportasi adalah elemen kunci yang membentuk biaya pengadaan (Mansini, Savelsbergh and Tocchella, 2012). Telah banyak peneliti yang mempertimbangkan biaya transportasi pada pemilihan pemasok pembelian produk tunggal. (Burke et al. 2007; Liao & Rittscher 2007; Aguezzoul & Ladet 2007; Choudhary & Shankar 2011; Choudhary & Shankar 2013; Choudhary & Shankar 2014). Namun demikian, hanya sedikit peneliti yang mempertimbangkan biaya transportasi pada pembelian multi periode, multi produk and multi pemasok(Rezaei & Davoodi 2011; Ware et al. 2014).

Model pemilihan pemasok yang diteliti adalah pembelian multi produk dari multi pemasok untuk multi periode dengan mempertimbangkan pengiriman yang terlambat dan produk cacat untuk gangguan supply chain. Dalam model ini, biaya transportasi turut dipertimbangkan menggunakan pengiriman truk dari pemasok ke pembeli. Jaringan transportasi dalam model ini menggunakan jaringan pengiriman truk langsung dimana pengiriman produk dari tiap pemasok dikirimkan langsung ke pembeli. Jaringan seperti ini memiliki keuntungan yaitu sederhana dalam koordinasi dan tidak membutuhkan *intermediate warehouse* (Chopra and Meindl, 2010).

Kontribusi penelitian ini adalah membangun model Mixed Integer Linear Programming (MILP) untuk permasalahan pemilihan pemasok dengan mempertimbangkan multi pemasok, multi produk, multi periode serta pengiriman dengan menggunakan truk. Sampai saat ini, model ini adalah yang pertama mengatasi permasalahan tersebut. Bab 4 memiliki susunan

sebagai berikut; bagian 4.2 menerangkan review literatur dari model atau teknik yang digunakan untuk mengatasi *dynamic supplier selection problem* (DSSP). Pada bagian 4.3, peneliti mengusulkan model *mixed integer linear programming* untuk menjawab permasalahan yang dipertimbangkan. Bagian 4.4 menyajikan contoh numerik untuk menguji model yang diusulkan. Pada bagian 4.5 ditampilkan kesimpulan dan saran untuk penelitian selanjutnya.

## 4.2 Telaah Literatur

Banyak peneliti telah mengusulkan bermacam-macam model matematika dan solusi untuk permasalahan pemilihan pemasok. Beberapa penulis telah menerbitkan permasalahan pemilihan pemasok untuk produk tunggal. Liao & Rittscher (2007a) mempelajari model pemilihan pemasok multi tujuan dengan kondisi permintaan tidak pasti untuk produk tunggal dan periode tunggal. Ustun & Demirtas (2008a) mengusulkan integrasi dari ANP dan *multi-period multi-objective mixed integer linear programming* (MOMILP). Ustun & Demirtas (2008b) mengusulkan pula integrasi ANP dan fungsi *additive achievement scalarizing* untuk memilih pemasok terbaik dan mengalokasikan kuantitas produk kepada pemasok terpilih dengan mempertimbangkan kriteria *tangible–intangible*. Demirtas & Ustun (2009) menyajikan pendekatan integrasi *Archimedean Goal Programming* (AGP) dan *Analytic Network Process* (ANP) dimana terdapat produk tunggal dan multi pemasok. (Jadidi, Zolfaghari and Cavalieri, 2014) memodelkan permasalahan pemilihan pemasok untuk produk tunggal dengan *multi-objective optimization problem* (MOOP) dimana harga, produk cacat dan *lead-time* dipertimbangkan sebagai tiga tujuannya.

Pada prakteknya, pamanufaktur akan sulit berkompetisi dengan kompetitornya jika terdapat pemasok yang tidak handal dalam hal kualitas, pengiriman, kapasitas dan lain-lain. Untuk mengatasi hal ini, pamanufaktur seharusnya mengadakan pembelian untuk multi produk, multi pemasok dan multi periode, dimana dalam literatur dikenal sebagai *Dynamic Supplier Selection Problem* (DSSP) (Ware, Singh and Banwet, 2014). Basnet & Leung (2005) telah mengusulkan model *inventory lot sizing* untuk multi periode, dimana terdapat multi produk dan multi pemasok. Rezaei & Davoodi (2008) meneliti model *mixed integer programming* multi periode untuk multi produk dan multi pemasok. Jolai et al. (2011) meneliti permasalahan pembeli tunggal yang memesan multi produk dari multi pemasok untuk multi periode dengan pendekatan *fuzzy multiple criteria decision making* (FMCDM) dan *multi-objective mixed integer linear programming* (MOMILP) untuk solusinya. Kara (2011) mengusulkan metode *fuzzy TOPSIS methods* dan model *two-stage stochastic*

*programming* untuk pembelian multi produk dari multi pemasok untuk jangka waktu multi periode. Cárdenas-Barrón, González-Velarde, & Treviño-Garza (2015) mengusulkan model *mixed integer linear programing* (MILP) untuk multi produk serta multi periode *inventory lot sizing* dengan permasalahan pemilihan pemasok.

Biaya transportasi memiliki dampak yang besar terhadap keputusan pengadaan, seperti memecah pesanan kepada multi pemasok akan membuat kuantitas pengiriman menjadi lebih kecil yang mengakibatkan biaya transportasi yang lebih besar (Aguzzoul and Ladet, 2007). Sehingga dapat dikatakan bahwa biaya transportasi merupakan salah satu kunci untuk membuat pengadaan yang lebih efisien. Namun demikian, sangat sedikit peneliti yang telah mengembangkan model pemilihan pemasok mempertimbangkan biaya transportasi. Beberapa peneliti telah mengusulkan pengadaan untuk produk tunggal, multi pemasok dan multi periode (Liao & Rittscher, 2007b; Choudhary & Shankar, 2011, 2013, 2014). Mansini et al. (2012) mengusulkan program integer dengan metode heuristics untuk mengatasi permasalahan ketika pemasok menawarkan diskon untuk pembeliannya dan biaya transportasi berdasarkan biaya pengiriman dengan truk untuk multi produk, multi pemasok dan multi periode.

Sangat sedikit peneliti yang telah mempublikasikan permasalahan pemilihan pemasok yang mempertimbangkan biaya transportasi untuk pembelian multi produk dari multi pemasok untuk jangka waktu multi periode yang disebut sebagai DSSP. Rezaei & Davoodi (2011) mengusulkan *multi-objective mixed integer non-linear program* (MOMINLP) permasalahan *lot sizing* multi pemasok untuk multi produk dan jangka waktu multi periode. Ware et al., (2014) telah mengembangkan *mixed-integer non-linear program* (MINLP) untuk menyelesaikan *dynamic supplier selection problem* (DSSP). Ahmad & Mondal (2016) telah mengusulkan model matematika dengan metode MINLP untuk menyelesaikan DSS untuk *two-echelon supply network* (TESN).

Tabel 4.1 menunjukkan posisi riset yang dilakukan diantara publikasi yang ada. Tabel tersebut merangkum literatur permasalahan pemilihan pemasok yang mempertimbangkan biaya transportasi dalam modelnya dan juga item produk (tunggal/multi), jumlah pemasok (tunggal/multi), jangka waktu periode (tunggal/multi) metodologi yang digunakan, pertimbangan keterlambatan untuk gangguan pada rantai pasok. Dari Tabel 4.1, dapat diambil kesimpulan diantara paper yang telah dipublikasikan belum ada yang menggunakan

pendekatan MILP untuk memodelkan pemilihan pemasok untuk multi produk, multi pemasok dan multi periode dengan mempertimbangkan gangguan pada rantai pasok.

Tabel 4.1 Kontribusi dari penelitian yang dilakukan

Paper	Item Product		Pemasok		Periode Waktu		Biaya	Angkutan	Metodologi	Keterlambatan
	Tunggal	Multi	Tunggal	Multi	Tunggal	Multi	Transportasi	Truk		Pengiriman
Liao & Rittscher (2007b)	√	--	--	√	--	√	√	--	MOP & GA	√
Aguezoull & Ladet (2007)	√	--	--	√	√	--	√	--	Non linear MOP	--
Rezaei & Davoodi (2011)	--	√	--	√	--	√	√	√	MOMINLP & GA	--
Choudhary & Shankar (2011)	√	--	--	√	--	√	√	--	ILP	√
Mansini et al. (2012)	--	√	--	√	√	--	√	√	Heuristic procedure	--
Choudhary & Shankar (2013)	√	--	--	√	--	√	√	--	ILP	√
Choudhary & Shankar (2014)	√	--	--	√	--	√	√	--	MOILP	√
Ware et al. (2014)	--	√	--	√	--	√	√	--	MINLP	√
Ahmad & Mondal, 2016	--	√	--	√	--	√	√	--	MINLP	√
This paper	--	√	--	√	--	√	√	√	MILP	√

### 4.3 Model DSSP Mempertimbangkan Beban Pengiriman Truk

Permasalahan yang diteliti adalah bagaimana pamanufaktur melakukan pengadaan untuk multi produk dari multi pemasok dalam jangka waktu multi periode dengan mempertimbangkan pengiriman *full truck load* (FTL) dari pemasok ke pamanufaktur. Ada beberapa pemasok yang menawarkan harga yang berbeda dengan kualitas dan kinerja pengiriman serta kapasitas yang berbeda pula. Kontrak diperlukan untuk menjamin kepastian hubungan antara pemasok dan pamanufaktur. Kapasitas pengiriman dengan truk diasumsikan sama karena menggunakan truk yang sama. Biaya transportasi dari pemasok ke pamanufaktur dapat berbeda tergantung lokasi pemasok. *Shortage* diperkenankan dan *backlog* dilakukan

ketika inventori yang tersedia pada periode tersebut tidak dapat memenuhi permintaan pada saat itu. Surplus dapat digunakan untuk periode berikutnya dimana produk dikenai biaya simpan. Kekurangan produk dibatasi oleh service level dari pemanufaktur serta inventori dibatasi oleh kapasitas penyimpanan pemanufaktur. Gangguan rantai pasok juga dipertimbangkan. Gangguan rantai pasok direpresentasikan dengan pengiriman terlambat serta penolakan produk karena cacat. Total pengadaan yang dilakukan harus mempertimbangkan adanya gangguan rantai pasok. Pada bagian selanjutnya akan disajikan model MILP untuk problem tersebut.

#### 4.3.1 Daftar Asumsi

Berikut ini adalah asumsi yang digunakan dalam model ini :

- Keterlambatan pengiriman diasumsikan akan diterima pada periode berikutnya
- Biaya keterlambatan pengiriman ditanggung oleh pemasok
- Kualitas dan keterlambatan pengiriman mengikuti periode penerimaan produk
- Produk dikemas dalam box sehingga dimensinya homogen
- Pemasok memiliki keterbatasan produksi
- *Shortage* diijinkan tetapi dikenakan biaya *shortage* dan diikuti *backlog*
- Biaya penyimpanan dikenakan pada tiap akhir periode
- Biaya pemesanan dikenakan tiap ada pesanan ke pemasok
- Biaya kontrak dikenakan untuk memformalkan hubungan dengan pemasok

#### 4.3.2 Parameter model dan variabel keputusan

Indek

T	Periode; 1,2,...,t
S	Pemasok; 1,2,...,s
P	Produk; 1,2,...,p

Parameter

$UP_{sp}$	: Harga per unit produk $p$ dari pemasok $s$
$TC_s$	: Biaya FTL dari pemasok $s$ ke pembeli
$NC_s$	: Biaya kontrak
$SOC_p$	: Biaya <i>shortage</i> per unit produk $p$
$C$	: Kapasitas FTL
$D_p$	: Permintaan produk $p$ untuk periode $t$

- $SC_{sp}$  : Kapasitas pemasok untuk produk  $p$   
 $l_{sp}$  : Persentase keterlambatan pengiriman produk  $p$  oleh pemasok  $s$   
 $d_{sp}$  : Persentase produk  $p$  cacat oleh pemasok  $s$   
 $P_p^l$  : Biaya penalti untuk keterlambatan  
 $P_p^d$  : Biaya penalti untuk produk cacat  
 $O_s$  : Biaya pesan untuk pemasok  $s$   
 $H_p$  : Biaya simpan produk  $p$  per unit  
 $Q_{tp}$  : Kapasitas penyimpanan pembeli untuk produk  $p$  periode  $t$   
 $\phi$  : Service level yang ditentukan pembeli pada periode  $t$  sehingga  $(1-\phi)$  adalah permintaan pembeli yang tidak dapat dipenuhi pemasok pada periode  $t$   
  
 $M$  : Bilangan besar

#### Variabel Keputusan

- $X_{tsp}$  : Jumlah produk  $p$  yang dipasok pemasok  $s$  pada periode  $t$   
 $S_{ts}$  : Frekuensi pengiriman oleh truk dari pemasok pada periode  $t$   
 $Z_{ts}$  : Variabel biner (1 jika pesanan diberikan pada pemasok  $s$  pada periode  $t$  sehingga biaya pesan dikenakan, 0 sebaliknya)  
 $W_s$  : Variabel biner untuk memilih pemasok baru  $s$  (1 jika kontrak dilakukan dengan pemasok  $s$ , 0 sebaliknya)  
 $i_{tp}^+$  : Inventori produk  $p$  pada periode  $t$   
 $i_{tp}^-$  : *Shortage* produk  $p$  pada periode  $t$

#### 4.3.3 Formulasi Matematika

Dengan mengambil parameter serta variabel keputusan di atas, model MILP diformulasikan sebagai berikut:

$$\text{Minimize } Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5 + Z_6 + Z_7 + Z_8 \quad (1)$$

$$Z_1 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P UP_{sp} * X_{tsp} \quad (1a)$$

$$Z_2 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S TC_s * S_{ts} \quad (1b)$$

$$Z_3 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S O_s * Z_{ts} \quad (1c)$$

$$Z_4 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S NC_s * W_s \quad (1d)$$

$$Z_5 = \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P h_p * i_{tp}^+ \quad (1e)$$

$$Z_6 = \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P SOC_p * i_{tp}^- \quad (1f)$$

$$Z_7 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P P_p^d * d_{sp} * X_{tsp} \quad (1g)$$

$$Z_8 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P P_p^l * l_{sp} * X_{tsp} \quad (1f)$$

Subject to:

$$i_{(t-1)p}^+ + \sum_{s=1}^S X_{tsp} + \sum_{s=1}^S l_{ps} X_{(t-1)sp} - \sum_{s=1}^S l_{ps} X_{tsp} - \sum_{s=1}^S d_{ps} X_{tsp} \geq D_{tp} + i_{(t-1)p}^- + i_{tp}^+ - i_{tp}^- \quad \forall t \in T, \forall p \in P \quad (2)$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S X_{tsp} \geq \sum_{t=1}^T D_{tp} \quad \forall p \in P \quad (3)$$

$$\left[ \frac{\sum_{p=1}^P X_{tsp}}{C} \right] \leq S_{ts} \quad \forall s \in S, \forall t \in T \quad (4)$$

$$X_{tsp} \leq SC_{sp} \quad \forall t \in T, \forall p \in P, \forall s \in S \quad (5)$$

$$\sum_{p=1}^P X_{tsp} \leq M * Z_{ts} \quad \forall t \in T, \forall s \in S \quad (6)$$

$$i_{tp}^+ \leq Q_p \quad \forall t \in T, \forall p \in P \quad (7)$$

$$\sum_{t=1}^T Z_{ts} \leq M * W_s \quad \forall s \in S \quad (8)$$

$$\sum_t i_{tp}^- \leq (1-\phi) \sum_t D_{tp} \quad \forall p \in P \quad (9)$$

$$X_{tsp}, S_{ts}, i_{tp}^+, i_{tp}^- \geq 0^*, \text{ integer} \quad (10)$$

$$Z_{ts}, W_s \in \{0,1\} \quad (11)$$

Fungsi tujuan (1) merepresentasikan tujuan meminimasi biaya pengadaan yang terdiri dari delapan bagian: (1a) biaya pembelian, (1b) biaya transportasi, (1c) biaya pesan, (1d) biaya kontrak, (1e) biaya simpan, (1f) biaya *shortage*, (1g) penalti karena produk cacat, (1h) penalti karena keterlambatan. Pembeli akan berusaha meminimasi fungsi tujuan dengan beberapa batasan berikut.

Batasan (2) menjamin bahwa permintaan produk pada periode  $t$  harus dipenuhi dari inventory yang tersedia dan pengiriman yang tiba pada periode tersebut. Dalam hal permintaan tidak dapat dipenuhi, *backlog* dapat dilakukan. Batasan (3) dibutuhkan agar permintaan selama horison perencanaan dapat dipenuhi. Batasan (4) pengiriman semua produk dari tiap pemasok tidak dapat melebihi kapasitas full truck load (FTL). Batasan (5) menjamin bahwa pesanan dari pamanufaktur tidak dapat melebihi kapasitas pemasok. Batasan (6) untuk memastikan pamanufaktur dikenai biaya pesan. Batasan (7) menjamin bahwa inventori pada periode  $t$  tidak dapat melebihi kapasitas penyimpanan pamanufaktur. Ketika pemasok baru terpilih maka dikenakan biaya kontrak. Batasan (8) menjamin bahwa pemasok baru dikenai biaya berkontrak. Batasan (9) menjamin bahwa kekurangan produk tidak dapat melebihi service level yang ditentukan pamanufaktur. Batasan (10) adalah non-negative dan integer untuk variabel keputusan. Batasan (11) menyatakan sebagai variabel biner.

#### 4.4 Contoh Numerik

Pada bagian ini, contoh numerik akan ditampilkan untuk menguji model matematika yang diusulkan. Tujuan eksperimen ini adalah untuk membuktikan apakah model dapat diselesaikan dengan baik. Lingo 15 digunakan untuk menyelesaikan permasalahan mixed integer linear programming (MILP). Lingo 15 dijalankan dalam sebuah notebook dengan spesifikasi intel (R) Core (TM) i3 CPU (2.40 GHz) and 4 GB RAM. Pada contoh numerik ini dilakukan dua eksperimen. Eksperimen pertama dijalankan dengan model yang telah dijelaskan sebelumnya. Sedangkan pada eksperimen kedua mempertimbangkan kebijakan untuk tidak melakukan *backorder* pada akhir periode perencanaan. Hal ini dilakukan dengan menambah batasan  $i_{ip}^-$  pada periode 6 sama dengan 0 pada model yang telah dijelaskan sebelumnya.

Eksperimen pertama mempertimbangkan skenario dengan tiga produk, empat pemasok untuk jangka waktu enam periode. Empat skenario permintaan dibangkitkan sebagai parameter. Parameter ini diasumsikan berdistribusi normal dengan nilai rata-rata 800 unit and koefisien variansi adalah 0, 0.16, 0.25, 0.38 and 0.5 untuk lima skenario secara berurutan. Lima skenario permintaan untuk tiga produk selama enam periode disajikan pada Tabel 4.2. Tabel 4.3 menyajikan harga per unit dari tiga produk ( $UP_{sp}$ ) dari masing-masing pemasok, biaya simpan ( $O_s$ ) dan biaya kontrak ( $NC_s$ ) dari empat pemasok. Terdapat skenario pemasok dengan pemasok 3 merupakan pemasok dengan kualifikasi termurah untuk harga per unitnya

kemudian diikuti oleh pemasok 1, sedangkan pemasok 2 dan pemasok 4 merupakan pemasok dengan harga per unit yang lebih mahal. Ada empat pemasok yang memiliki persentase keterlambatan pengiriman dan persentase produk cacat yang berbeda-beda sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.4. Pada Tabel 4.5, disajikan biaya transportasi menggunakan truk dari pemasok ke pamanufaktur. Setiap truk memiliki kapasitas 100 untuk mengirim produk dari pemasok ke pamanufaktur. Pada Tabel 4.6, biaya penalti untuk produk cacat ( $P_p^d$ ), biaya penalti untuk keterlambatan pengiriman ( $P_p^l$ ), biaya simpan produk p ( $H_p$ ), biaya *shortage* produk p ( $SOC_p$ ) dan kapasitas penyimpanan pamanufaktur untuk produk p pada periode t ( $Q_{tp}$ ) untuk tiga produk disajikan. Service level pamanufaktur ditentukan 90%.

Tabel 4.2 Skenario lima permintaan ( $D_{tp}$ ) tiga produk selama enam periode

Periode	CV = 0			CV = 0.16			CV = 0.25			CV = 0.38			CV = 0.5		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	800	800	800	688	835	675	826	780	699	744	776	502	808	677	885
2	800	800	800	827	901	766	716	857	736	494	981	578	960	1142	1261
3	800	800	800	748	740	830	705	661	887	972	596	505	661	998	547
4	800	800	800	844	719	882	844	850	806	777	1061	1430	727	732	112
5	800	800	800	800	775	911	775	802	893	1305	860	929	1009	542	754
6	800	800	800	893	830	736	934	850	779	508	526	856	635	709	1241

Tabel 4.3 Harga per unit ( $UP_{sp}$ ), biaya pesan ( $O_s$ ), biaya kontrak ( $NC_s$ ) untuk empat pemasok

Pemasok	Harga/Unit ( $UP_{sp}$ )			Biaya pesan ( $O_s$ )	Biaya kontrak ( $NC_s$ )
	1	2	3		
1	35	25	30	350	650
2	37	24	32	300	625
3	33	24	28	375	650
4	35	26	31	325	600

Tabel 4.4 Persentase keterlambatan, persentase cacat dan kapasitas pemasok untuk empat pemasok

Pemasok	Persentase keterlambatan			Persentase cacat			Kapasitas pemasok		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	0.02	0.00	0.03	0.06	0.09	0.07	600	1000	1200
2	0.01	0.01	0.00	0.06	0.05	0.05	1000	700	600
3	0.03	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	500	500	500
4	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.09	800	800	1000

Tabel 4.5 Biaya transportasi ( $TC_s$ ) dengan truk dari pemasok ke pamanufaktur

	Pemasok 1	Pemasok 2	Pemasok 3	Pemasok 4
Pamanufaktur	600	750	650	650

Tabel 4.6 nilai dari  $P_p^d, P_p^l, H_p, SOC_p$  and  $Q_{tp}$  untuk tiga produk

	Produk		
	1	2	3
$P_p^d$	4	3	5
$P_p^l$	10	12	15
$H_p$	1	1	1
$SOC_p$	1	1	1
$Q_{tp}$	2000	2500	3000

Karakteristik masing-masing pemasok dapat dijelaskan sebagai berikut; pemasok 1 adalah pemasok dengan jarak terdekat sehingga biaya transportasinya paling murah. Harga per unit produk yang ditawarkan pemasok 1 bernilai sedang namun demikian tingkat keterlambatan serta tingkat cacatnya tinggi. Kapasitas produksi pemasok 1 paling tinggi. Pemasok 2 merupakan pemasok yang posisinya paling jauh yang ditunjukkan dengan biaya transportasi yang paling tinggi. Kapasitas produksi pemasok 2 cukup besar namun demikian tingkat cacat dan keterlambatan memiliki nilai sedang. Harga per unit produk yang ditawarkan pemasok 2 bernilai sedang.

Pemasok 3 menawarkan harga per unit produk paling murah, namun demikian kapasitas produksinya sangat kecil sehingga tidak mampu memenuhi permintaan total. Lokasi pemasok 3 agak jauh sehingga biaya transportasi sedikit lebih tinggi dibanding pemasok 1. Tingkat cacat pemasok 3 paling kecil sedangkan tingkat keterlambatan paling tinggi. Pemasok 4 menawarkan harga per unit yang paling tinggi dengan tingkat keterlambatan paling kecil dimana lokasi pemasok 4 berdekatan dengan pemasok 3. Produk cacat yang dihasilkan pemasok 4 juga relatif kecil dengan kapasitas produksi yang cukup memenuhi permintaan total.

Hasil eksperimen pertama skenario 1 dirangkum pada Tabel 4.7. Dari Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa pamanufaktur pada periode 1 memilih dua pemasok yaitu  $S_1$  dan  $S_3$  dan mengalokasikan 354 unit produk 1, 390 unit produk 2, dan 356 unit produk 3 kepada pemasok 1. Selain itu, pemasok 3 memasok 500 unit produk 1, 500 unit produk 2 dan 500 unit produk 3. Sesuai karakteristik pemasok bahwa pemasok 3 merupakan pemasok dengan kualifikasi termurah dengan kapasitas terbatas dan berlokasi cukup jauh dari pembeli sedangkan pemasok 1 adalah pemasok termurah kedua dengan posisi paling dekat dengan pembeli. Hal ini menunjukkan bahwa harga per unit produk serta kapasitas produksi pemasok

memiliki peran yang sangat besar dalam penentuan alokasi pesanan. Nilai fungsi tujuan dari model pemilihan pemasok ini adalah sebesar 519611.

Tabel 4.7 Hasil eksperimen pertama untuk skenario permintaan 1

Period	Pemasok	Xtsp		
		p1	p2	p3
1	s1	354	390	356
	s2	0	0	0
	s3	500	500	500
	s4	0	0	0
2	s1	330	337	333
	s2	0	0	0
	s3	500	500	500
	s4	0	0	0
3	s1	330	336	334
	s2	0	0	0
	s3	500	500	500
	s4	0	0	0
4	s1	330	336	334
	s2	0	0	0
	s3	500	500	500
	s4	0	0	0
5	s1	456	401	443
	s2	0	0	0
	s3	500	500	500
	s4	0	0	0
6	s1	0	0	0
	s2	0	0	0
	s3	500	500	500
	s4	0	0	0

Selanjutnya dilakukan eksperimen kedua. Eksperimen kedua mempertimbangkan skenario dengan tiga produk, empat pemasok untuk jangka waktu enam periode. Skenario permintaan pada eksperimen kedua adalah 800 unit untuk semua produk. Sedangkan harga per unit dari tiga produk ( $UP_{sp}$ ) dari masing-masing pemasok, biaya simpan ( $O_s$ ) dan biaya kontrak ( $NC_s$ ) dari empat pemasok serta nilai parameter yang lain sama dengan eksperimen pertama. Pada eksperimen kedua terdapat kebijakan bahwa pada akhir periode perencanaan tidak diijinkan melakukan *backorder*, hal ini dilakukan karena akan membebani pengelolaan pada perencanaan periode berikutnya. Dengan tidak melakukan *backorder* maka *shortage* pada periode akhir ditentukan sama dengan nol. Pada Tabel 4.8 disajikan hasil eksperimen kedua.

## 4.5 Analisis Sensitivitas

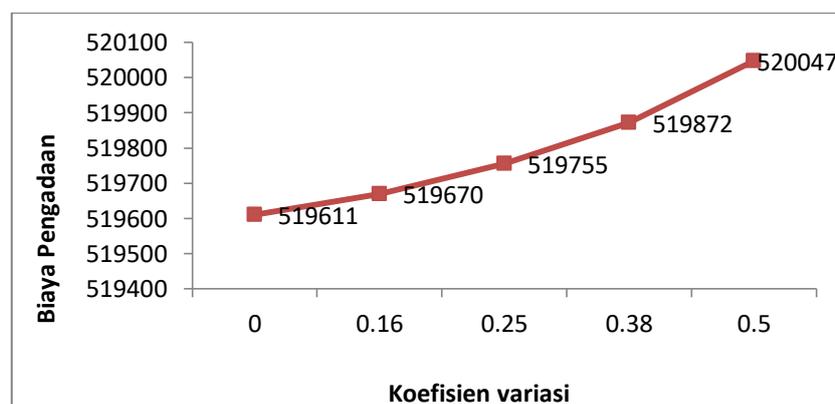
### 4.5.1 Pengaruh Fluktuasi Permintaan

Pada analisis sensitivitas kali ini akan diselidiki efek lima skenario permintaan pada eksperimen pertama yang ditunjukkan oleh perbedaan koefisien variasi (CV) yang dapat

dilihat pada Tabel 4.2. Sebagai catatan permintaan total adalah sama untuk setiap skenario sehingga dapat dilakukan perbandingan yang setara. Pada Gambar 4.1 dapat disaksikan bagaimana biaya pembelian dipengaruhi besarnya variasi permintaan. Hasilnya adalah biaya pengadaan semakin meningkat ketika koefisien variasinya semakin besar. Lebih lanjut, penyebab meningkatnya biaya pengadaan adalah karena meningkatnya biaya simpan. Tabel 4.9 menampilkan rincian tiap-tiap biaya. Semakin meningkatnya koefisien variasi yang menunjukkan semakin tingginya ketidakpastian permintaan, membuat pemanufaktur seharusnya menambah inventori untuk mengatasi ketidakpastian permintaan.

Tabel 4.8 Hasil eksperimen kedua untuk skenario permintaan 1

Period	Pemasok	Xtsp		
		p1	p2	p3
1	s1	0	0	600
	s2	0	0	0
	s3	500	500	500
	s4	300	300	0
2	s1	0	0	0
	s2	0	0	0
	s3	500	500	500
	s4	365	332	0
3	s1	0	0	600
	s2	0	0	0
	s3	500	500	500
	s4	290	310	0
4	s1	0	0	0
	s2	0	0	0
	s3	500	500	500
	s4	297	303	0
5	s1	0	0	800
	s2	0	0	0
	s3	500	500	500
	s4	360	325	0
6	s1	0	0	0
	s2	0	0	0
	s3	500	500	500
	s4	283	306	11



Gambar 4.1 Hubungan antara biaya pengadaan dan koefisien variasi

Tabel 4.9 Rincian biaya

Koefisien Variasi	0	0.16	0.25	0.38	0.5
Biaya pembelian	417000	417000	417000	417100	417000
Biaya transportasi	90900	90900	90900	90900	90900
Biaya pesan	4000	4000	4000	4000	4000
Biaya kontrak	1300	1300	1300	1300	1300
Biaya simpan	0	0	51	128	396
Biaya shortage	903	962	646	974	943
Biaya penalti cacat	2178	2178	2178	2202	2178
Biaya penalti terlambat	3330	3330	3330	3318	3330
Biaya total	519611	519670	519755	519872	520047

#### 4.5.2 Pengaruh Biaya Shortage dan Inventori

Pada bagian ini akan dianalisa efek perbedaan biaya *shortage* terhadap total biaya dan komponennya di eksperimen pertama. Biaya inventori ditentukan sebesar 1 sedangkan biaya *shortage* ditentukan sebesar 1,2,3 dan 5. Tabel 4.10 menunjukkan total biaya pengadaan mengalami kenaikan ketika biaya *shortage* semakin tinggi. Namun demikian, hanya dua komponen biaya saja yang dipengaruhi. Pertama biaya simpan ( $Z4$ ) dan kedua biaya *shortage* ( $Z8$ ). Biaya simpan meningkat karena tingginya penalti akibat *shortage* dan harus disikapi dengan meningkatkan inventori untuk menghindari *shortage*. Pada model ini ditemukan bahwa produk *shortage* selalu pada periode akhir yaitu periode enam. Hal ini menunjukkan bahwa model ini cenderung menyimpan inventori pada awal periode untuk mencukupi kebutuhan.

Pada eksperimen pertama, *shortage* diperkenankan pada akhir periode perencanaan dan kemudian akan dilanjutkan dengan *backorder*, sehingga pada awal periode perencanaan akan terdapat pesanan yang masuk akibat *shortage* pada perencanaan sebelumnya. Kondisi pada eksperimen pertama tersebut di atas pada prakteknya sering tidak dilakukan karena akan membebani pengelolaan pada awal periode perencanaan. Oleh karena itu, dilakukan eksperimen kedua dimana terdapat kebijakan pada akhir periode perencanaan tidak diperkenankan melakukan *backorder*. Berdasarkan Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 maka keputusan untuk memilih pemasok dan *lot size* pemesanan kepada pemasok terpilih selama enam periode akan berbeda antara kebijakan yang mengizinkan *backorder* pada periode akhir perencanaan dengan kebijakan yang tidak mengizinkan *backorder*.

Tabel 4.11 merangkum total biaya pengadaan dengan kebijakan tidak ada *backorder* pada akhir periode. Skenario ini dijalankan sesuai dengan parameter pada eksperimen pertama dengan biaya *shortage* 1 dan nilai permintaan 800. Berdasarkan perbandingan antara hasil

pada Tabel 4.10 dan Tabel 4.11 didapatkan bahwa biaya pengadaan dengan kebijakan tidak ada *backorder* pada periode akhir perencanaan lebih besar dibandingkan dengan kebijakan adanya *backorder*. Komponen yang mempengaruhi kenaikan biaya pengadaan antara lain biaya pembelian menjadi meningkat karena semua kebutuhan harus dipenuhi pada periode perencanaan. Selanjutnya, dengan meningkatnya jumlah pembelian akan berakibat pula pada kenaikan biaya transportasi, biaya pesan dan biaya kontrak. Sedangkan biaya *shortage* tentu saja akan menurun karena kebijakan *shortage* pada akhir periode tidak diperkenankan. Kemudian biaya inventori akan meningkat disebabkan *tradeoff* antara *shortage* dan inventori untuk memenuhi kebutuhan yang mengakibatkan perlunya penambahan inventory untuk menghindari *shortage*. Selanjutnya, biaya penalti karena keterlambatan dan biaya penalti karena cacat akan terdapat perubahan disebabkan perbedaan pilihan pemasok yang terpilih. Hal ini dikarenakan tiap pemasok memiliki persentase keterlambatan dan persentase cacat yang berbeda-beda.

Tabel 4.10 Total biaya pengadaan dengan perubahan biaya *shortage*

Biaya <i>Shortage</i>	1	2	3	5
Biaya pembelian	417000	417000	417000	417100
Biaya transportasi	90900	90900	90900	90900
Biaya pesan	4000	4000	4000	4000
Biaya kontrak	1300	1300	1300	1300
Biaya simpan	0	274	274	499
Biaya <i>shortage</i>	903	1258	1887	2910
Biaya penalti cacat	2178	2178	2178	2202
Biaya penalti terlambat	3330	3330	3330	3318
Biaya total	519611	519670	519755	519872

Tabel 4.11 Total biaya pengadaan dengan skenario tidak ada *backorder* pada akhir periode

Biaya pembelian	430442
Biaya transportasi	95200
Biaya pesan	5250
Biaya kontrak	1900
Biaya simpan	713
Biaya <i>shortage</i>	277
Biaya penalti cacat	1523.31
Biaya penalti terlambat	3285.12
Biaya total	538590.4

#### 4.6 Algoritma Genetik

Dengan menggunakan metode optimasi klasik menggunakan LINGO 16 akan didapatkan solusi tunggal dan diperbaiki hingga mendapatkan solusi optimal. Namun demikian, dengan bertambahnya variabel akan membuat solusi optimal metode optimasi

klasik tidak dapat didapatkan. Pada model ini telah dicoba eksperimen untuk 7 periode dan LINGO 16 tidak dapat menyelesaikannya. Jumlah indeks I (T, S, P) dapat digunakan untuk menggambarkan skala permasalahan. Skala permasalahan ini ditentukan oleh banyaknya variabel pada model. Jumlah variabel I (T, S, P) dapat dihitung sebagai berikut :

$$I(T,S,P) = (T \times P) + (T \times S \times P) + P + 2 \times (T \times S \times P)$$

Tabel 4.12 secara jelas menunjukkan tingkat skala permasalahan. Tabel 4.12 menggambarkan jika variabel I (T,S,P) akan meningkat seiring dengan peningkatan jumlah produk P, jumlah pemasok S dan jumlah periode T. Ketika T, S dan P semua semakin membesar, metode konvensional dipastikan tidak akan mampu menyelesaikannya (Rezaei & Davoodi, 2008). Untuk memperoleh solusi penyelesaian model dibutuhkan metode heuristik. Metode heuristik adalah pendekatan yang digunakan untuk memecahkan permasalahan dengan mengutamakan waktu komputasi tetapi tidak dijamin kebaikan dari solusinya, tetapi biasanya menghasilkan solusi yang bagus mendekati optimal. Pada model ini akan digunakan pendekatan Genetic Algorithm (GA) untuk menyelesaikan masalah.

Tabel 4.12 Jumlah variabel untuk permasalahan I (T,S,P)

		I = 2	I = 5	I = 10	I = 20	I = 50	I = 100	I = 200
T=6	J = 2	90	216	426	846	2.106	4.206	8.406
	J = 5	196	486	966	1.926	4.806	9.606	19.206
	J = 10	378	936	1.866	3.726	9.306	18.606	37.206
	J = 20	738	1.836	3.666	7.326	18.306	36.606	73.206
T=12	J = 2	180	432	852	1.692	4.212	8.412	16.812
	J = 5	396	972	1.932	3.852	9.612	19.212	38.412
	J = 10	756	1.872	3.732	7.452	18.612	37.212	74.412
	J = 20	1.476	3.672	7.332	14.652	36.612	73.212	146.412

*Genetic Algorithm* (GA) merupakan metode heuristik yang meniru proses evolusi alami. *Genetic Algorithm* (GA) merupakan teknik pencarian dan optimisasi probabilistik dengan menggunakan prinsip genetika dan seleksi alam. Metode ini mampu memberikan solusi yang mendekati optimal dari fungsi obyektif. *Genetic Algorithm* (GA) melakukan langkah evolusi dengan membuat populasi baru dengan mengambil populasi sebelumnya menggunakan seleksi, *crossover* dan mutasi (Santosa & Willy, 2011). Skema ini merupakan aturan yang dipakai untuk mendapatkan solusi. Untuk menyelesaikan DSSP dengan GA akan didefinisikan terminologi sebagai berikut :

- a. Kromosom

Kromosom merupakan vektor variabel keputusan  $x = [X_{isp}, S_{ts}, i_{tp}^+, i_{tp}^-, Z_{ts}, W_s]'$  Oleh karena itu, kromosom adalah vektor  $(t \times s \times p + t \times s + t \times p + t \times p + t \times s + s)$  dimana elemen pertama  $(t \times s \times p + t \times s + t \times p + t \times p)$  adalah integer dan elemen berikutnya  $(t \times s + s)$  adalah variabel biner.

b. Populasi

Sebuah populasi dalam GA merepresentasikan kumpulan kromosom dan ukuran populasi merepresentasikan jumlah kromosom dalam populasi. Semakin besar ukuran populasi, akan semakin besar pula kebutuhan komputer untuk menjalankan algoritma.

c. Fitness function

*Fitness function* digunakan untuk mengevaluasi kromosom. Karena permasalahan yang akan diselesaikan adalah permasalahan minimasi, maka *fitness function*

ditentukan sebagai  $F(x) = \frac{1}{1+f(x)}$  dimana  $f(x)$  adalah fungsi tujuannya.

Genetic Algorithm diterapkan untuk menyelesaikan model DSSP dengan mengikuti prosedur sebagai berikut:

a. *Initialitation*

Populasi awal dibangkitkan secara random dengan ukuran populasi ditentukan oleh pengambil keputusan. Karena model DSSP memiliki batasan, maka populasi awal dibangkitkan dengan mempertimbangkan populasi awal yang layak. Pada eksperimen ini, ukuran populasi ditentukan sebesar 100.

b. *Fitness scaling*

Populasi awal akan dievaluasi dengan menggunakan fungsi fitness. Kromosom-kromosom yang memiliki kesesuaian yang tinggi akan diseleksi untuk menjadi anggota populasi. Terdapat beberapa fitness scalling diantaranya *rank scales*, *proportional*, *top scales* dan *shift linear*. Pada eksperimen ini digunakan *rank scales*.

c. Seleksi

Proses seleksi dilakukan untuk memilih kromosom untuk menjadi anggota populasi. Proses seleksi akan mendapatkan kromosom sebagai parent (induk) atau kromosom yang menjadi anggota populasi berikutnya. Sebagian anggota populasi akan dipilih untuk proses reproduksi. Ada beberapa strategi seleksi diantaranya *roulette wheel selection*, *stochastic uniform selection* (SUS), *tournament*, *uniform* dan *remainder selection*. Pada seleksi ini digunakan *stochastic uniform selection* (SUS).

d. Reproduksi

Reproduksi dilakukan untuk menentukan bagaimana GA menciptakan keturunan pada setiap generasi baru. Reproduksi dilakukan dengan *elite count* dan *crossover fraction*. *Elite count* menentukan jumlah individu yang dijamin tetap ada pada generasi selanjutnya. *Elite count* bernilai integer positif dan harus lebih kecil atau sama dengan ukuran populasi. Pada eksperimen ini *elite count* ditentukan 10. *Crossover fraction* menentukan pembagian generasi selanjutnya dengan cara *crossover*. Sisanya individu pada generasi berikutnya menggunakan cara mutasi. Pada eksperimen ini nilai *crossover fraction* ditentukan sebesar 0,8.

e. Crossover

*Crossover* dilakukan untuk mendapatkan kombinasi yang lebih baik antara satu individu dengan individu yang lain dalam satu populasi. Beberapa strategi *crossover* yang biasa dilakukan adalah *arithmetic*, *heuristic*, *intermediate*, *scattered*, *single-point* dan *two-point strategy*. Pada eksperimen ini strategi *crossover* yang dipilih adalah *scattered*.

f. Mutation

Mutasi dilakukan untuk mendapatkan individu yang baru yang berbeda sama sekali dengan individu yang ada. Dalam konteks optimasi dimungkinkan muncul solusi baru agar bisa keluar dari local optimum. Beberapa strategi mutasi yang bisa dipakai adalah *adaptive feasible*, *constraint dependent*, *gaussian* dan *uniform strategy*. Pada eksperimen ini dipilih strategi mutasi *constraint dependent*.

g. Migration

Migrasi adalah perpindahan individu diantara sub populasi. Migrasi dapat terjadi jika ukuran populasi lebih dari satu. Individu terbaik dari sub populasi dapat menggantikan individu terburuk dari sub populasi lainnya. *Direction* pada migrasi yang dipakai dalam eksperimen ini adalah *forward* yang artinya migrasi menuju pada sub populasi terakhir. Sedangkan *fraction* pada migrasi sebesar 0,2 dimana jumlah pergerakan individu dalam sub populasi sebanyak 0,2 x migrasi. Disamping itu terdapat interval pada migrasi sebesar 10 yang artinya migrasi antara sub populasi terjadi setiap 10 generasi.

h. Termination

Proses GA bergerak dari generasi ke generasi untuk memilih dan mereproduksi induk sampai kriteria penghentian didapatkan. Kriteria yang biasa dipakai untuk menghentikan adalah jumlah maksimum generasi. Adapun kriteria penghentian lainnya antara lain solusi telah ditemukan dengan kriteria minimum, waktu komputasi telah dicapai, peringkat kesesuaian tertinggi telah tercapai sehingga iterasi berikutnya tidak akan menghasilkan solusi yang lebih baik, inspeksi manual atau kombinasi di atas. Kriteria penghentian yang dipakai dalam eksperimen ini adalah jumlah maksimum iterasi yang dijalankan adalah 10.000, *stall generation* sebesar 1.000 jika perubahan rata-rata bobot pada *fitness function* lebih kecil dari function tolerance  $1e-1000$  telah melebihi 1.000 maka algoritma dihentikan.

Selanjutnya data-data pada numerical example dengan menggunakan LINGO akan dijalankan dengan menggunakan algoritma genetik. Skenario yang dijalankan dengan menggunakan algoritma GA adalah 3 produk, 4 pemasok dan 6 periode. Percobaan running algoritma GA untuk menyelesaikan DSSP dilakukan sebanyak total 267 kali pada dua komputer desktop dengan spesifikasi processor Intel core i3 2.7 GHz (untuk kedua komputer) dan memory 4 GB untuk komputer pertama dan memory 2 GB untuk komputer kedua, serta kedua komputer menggunakan MATLAB R2017b 64 bit pada sistem operasi Windows 10. Pada Gambar 4.2 disajikan keputusan optimal dengan menggunakan GA.

Gambar 4.2 menampilkan keputusan optimal jumlah barang yang dibeli hasil dari GA. Nilai yang ditampilkan merupakan jumlah barang yang dibeli untuk masing-masing jenis produk untuk tiap periode waktu. Pada periode waktu 1, GA memberikan keputusan membeli kepada pemasok 1 sebanyak 238 unit produk P1, 373 unit produk P2 dan 362 unit produk P3, kepada pemasok 2 GA memberikan keputusan membeli 184 unit produk P1, 265 unit produk P2 dan 262 unit produk P3, sedangkan kepada pemasok 3 GA memberikan keputusan membeli 167 unit produk P1, 291 unit produk P2 dan 476 unit produk P3, dan kepada pemasok 4 GA memberikan keputusan membeli 549 unit produk P1, 52 unit produk P2 dan 44 unit produk P3. Sedangkan hasil 267 running GA disajikan pada lampiran.

Dengan menggunakan rumus error relatif  $e_r = \frac{x_{GA} - x_{LINGO}}{x_{LINGO}} \times 100\%$  untuk membandingkan keputusan optimal hasil LINGO dan GA, didapatkan nilai error relatif keputusan jumlah total barang yang dibeli untuk keseluruhan jenis produk dan error relatif nilai fungsi obyektif antara LINGO dan GA. Hasil perbandingan GA untuk DSSP tersebut

disajikan pada Tabel 4.13. Berdasarkan Tabel 4.13 maka GA dengan prosedur yang telah ditetapkan di atas dapat digunakan sebagai alternatif penyelesaian DSSP karena fungsi tujuan yang dihasilkan GA tidak terlalu berbeda dengan metode klasik menggunakan LINGO.

Tabel 4.13 Perbandingan hasil LINGO dan GA

Nilai	Waktu Komputasi	Fungsi Objektif		Total Produk yang Dipesan	
		Nilai	Error Relatif	Nilai	Error Relatif
Min (GA)	11 menit	519825.25	0,04%	13426	-7%
Max (GA)	24 menit	559302.05	7,64%	13933	-5%
Rata-rata (GA)	18 menit	531675.02	2,32%	13679	-3%
LINGO	1 menit	519611		14400	

Selanjutnya, masalah DSSP yang sama akan dijalankan kembali dengan meningkatkan permasalahan yaitu menambah pemasok S5 dimana semua parameter yang berkaitan dengan pemasok S5 nilainya sama dengan parameter pada pemasok S4 dan dengan tambahan periode waktu menjadi 10 periode waktu dengan nilai permintaan dibangkitkan secara acak yang berdistribusi normal dengan mean 800 dan varian 100 yang nilainya disajikan pada Tabel 4.14.

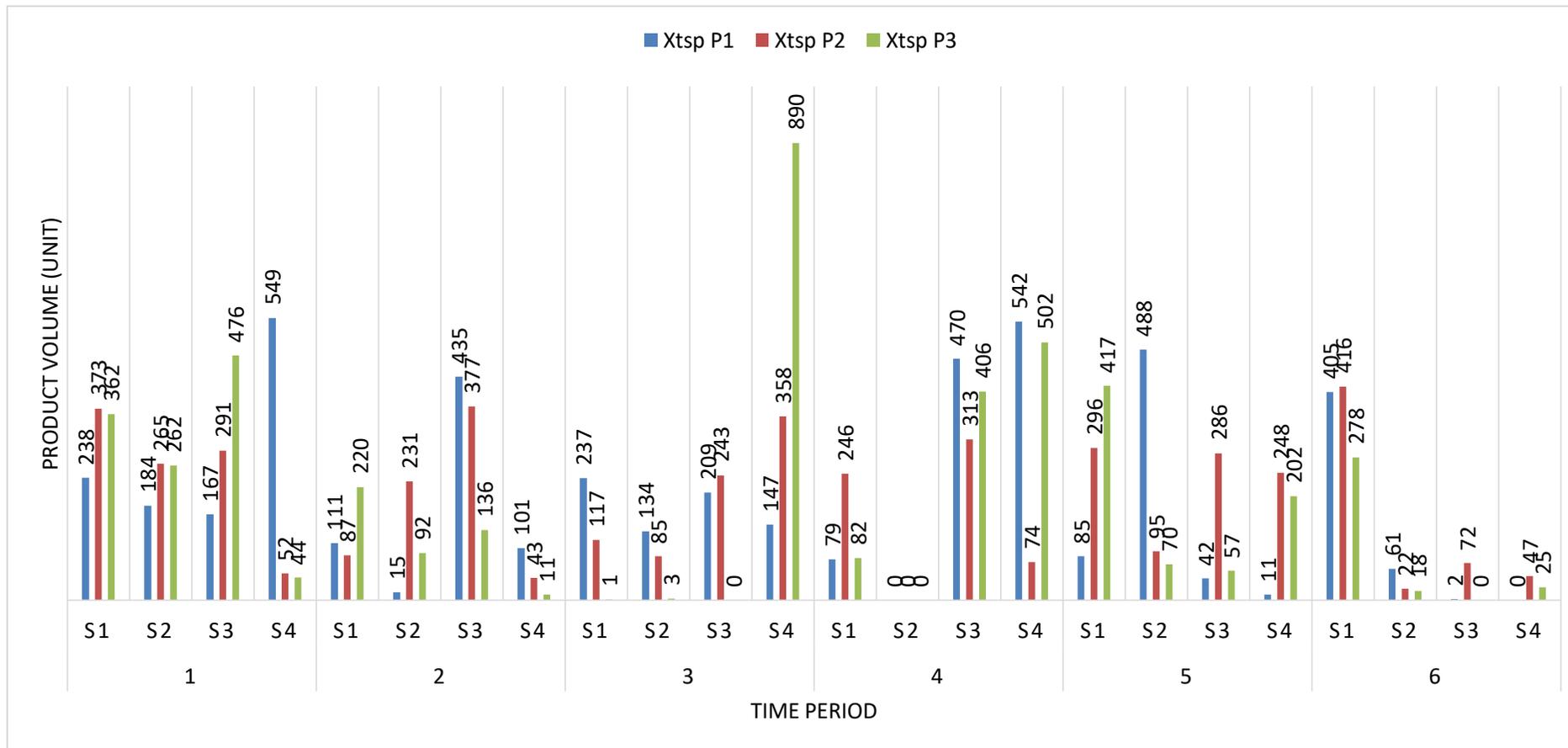
Dengan menggunakan GA pada Matlab, perhitungan berhenti dalam waktu 1.903,6 detik atau sekitar 31 menit yang memberikan nilai fungsi objektif sebesar 1.064.300,00 dimana solusinya disajikan pada Gambar 4.3.

Tabel 4.14 Nilai permintaan untuk 10 periode

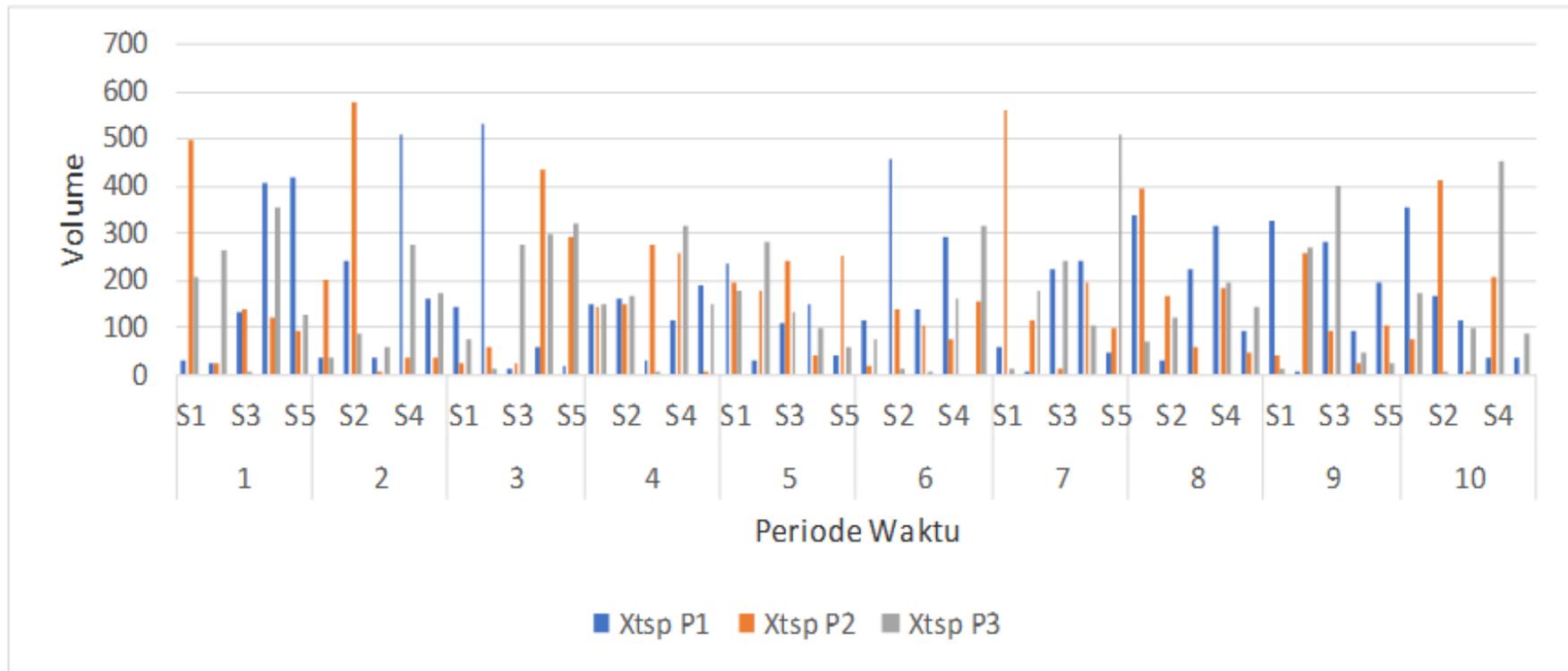
Periode	P1	P2	P3
1	763	866	774
2	847	860	743
3	883	744	876
4	820	832	741
5	700	720	834
6	787	778	832
7	763	866	774
8	847	860	743
9	883	744	876
10	820	832	741

Masalah DSSP tersebut juga dijalankan di LINGO 17.0 pada komputer yang sama. Dari hasil pengamatan, setelah 24 jam proses running, iterasi optimisasi pada program LINGO belum berhenti dan belum mendapatkan solusi optimalnya. Karena dianggap sudah

terlampau lama, sehingga iterasi pada LINGO dihentikan paksa (diinterupsi) dan belum menghasilkan solusi.



Gambar 4.2 Keputusan optimal jumlah barang yang dibeli hasil dari GA



Gambar 4.3 Keputusan optimal 3 produk 5 pemasok 10 periode hasil dari GA

#### 4.7 Kesimpulan

Pada permasalahan pengadaan, pengambil keputusan harus menentukan pemasok yang tepat dan memecah *lot size* pemesanan kepada pemasok terpilih selama horison waktu perencanaan. Permasalahan ini menjadi semakin rumit ketika pembeli harus melakukan pengadaan untuk multi produk untuk beberapa periode dari beberapa pemasok. Pada bab ini telah dimodelkan permasalahan di atas dengan *mixed integer linear programming* (MILP). Model yang diusulkan ini dapat diaplikasikan untuk menentukan *lot size* yang harus dibeli dari pemasok pada periode waktu yang ditentukan. Model ini telah dijalankan dengan dua eksperimen yaitu yang pertama terdapat kebijakan mengizinkan *shortage* pada akhir periode perencanaan dan yang kedua terdapat kebijakan tidak mengizinkan *shortage* pada akhir periode perencanaan. Hasilnya adalah jika seorang pembuat keputusan mengalami ketidakpastian permintaan yang dalam model ini yang direpresentasikan dengan besarnya koefisien variasi, maka biaya pengadaan akan semakin besar karena pembeli harus mempersiapkan inventori yang cukup untuk memenuhi permintaan.

Contoh numerik dari model yang diusulkan telah dapat diselesaikan dengan LINGO dan GA. Penyelesaian masalah tersebut di atas dengan metode klasik akan dihasilkan sebuah penyelesaian global optima. Dengan berkembangnya permasalahan, pengambil keputusan tentu tidak dapat mendapatkan solusi dengan metode klasik. Oleh karena itu dikembangkan metode GA untuk menyelesaikan permasalahan yang lebih besar. Meskipun solusi yang dihasilkan oleh GA hanya mendekati global optima, akan tetapi pengambil keputusan akan terbantu untuk menyelesaikan problem yang tidak terselesaikan dengan metode klasik. Hasil contoh numerik antar LINGO dan GA menunjukkan perbedaan yang tidak terlalu signifikan.

Penelitian ini masih dapat dilanjutkan dengan mempertimbangkan pilihan *carrier* yang akan mengirim produk dari pemasok ke pembeli. Ketersediaan truk kemungkinan memiliki perbedaan kapasitas dan dibutuhkan model untuk mengombinasikan truk dan pengirim.

## **BAB 5**

# **MODEL MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING UNTUK PERMASALAHAN DYNAMIC SUPPLIER DAN PEMILIHAN CARRIER**

Telah dibahas pada sebelumnya model pertama DSSP. Bab ini akan membahas model kedua DSSP yang dikembangkan dari model pertama. Model ini merepresentasikan situasi dunia nyata, dimana keputusan dinamis harus dibuat selama periode perencanaan yang terkait dengan pengadaan produk dan transportasinya dari pemasok. Model kedua DSSP bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan bagaimana pembeli melakukan pengadaan untuk multi produk dari multi pemasok selama multi periode dan menentukan *carrier* yang mengirim produk dari pemasok yang dapat meminimumkan biaya total pengadaan. Pembentukan model ini diawali pembuatan model konseptual dan kemudian dibuat model formalnya berupa formulasi dalam model *Mixed Integer Linear Programming* (MILP). Selanjutnya akan dilakukan *numeric example* untuk menguji keandalan model.

### **5.1 Latar Belakang**

Pada sebuah rantai pasok, kegiatan sourcing merupakan salah satu aspek strategis yang harus dipertimbangkan ketika perusahaan berusaha mereduksi biaya dan meningkatkan kompetisi dengan pesaing (Xia and Wu, 2007). Hal ini merupakan fakta yang tepat terutama pada industri manufaktur karena biaya komponen merupakan biaya terbesar pada pembuatan produk (Mendoza and Ventura, 2010). Biaya material mentah dan komponen yang didapatkan dari pemasok bisa mencapai lebih dari 50% pendapatan (Weber and Current, 1993), sehingga pengurangan pada pembelian material mentah dapat meningkatkan keuntungan perusahaan.

Salah satu kunci untuk mendapatkan material mentah dengan harga kompetitif adalah melalui pemilihan pemasok (Yadav and Sharma, 2016). Proses pemilihan pemasok dilakukan untuk memilih sekelompok pemasok dengan kriteria yang sesuai dengan strategi pemanufaktur untuk mendapatkan barang atau jasa (Mokadem, 2017). Oleh karena pentingnya peran pemilihan pemasok, akademisi telah banyak meneliti permasalahan pemilihan pemasok. Pemilihan pemasok sekarang ini tidak dapat hanya menggunakan satu kriteria namun kebanyakan peneliti menggunakan multi kriteria untuk menyelesaikan permasalahan pemilihan pemasok (Choudhary and Shankar, 2013). Proses pemilihan pemasok mungkin akan mendapatkan pemasok tunggal atau multi pemasok. Untuk

meminimasi resiko pengadaan dan menjaga lingkungan yang kompetitif, organisasi biasanya memilih multi pemasok walaupun hanya mengadakan sebuah produk. Ketika memilih multi pemasok, permasalahannya tidak hanya memilih pemasok tetapi juga mengalokasikan pesanan. Keputusan untuk memilih pemasok terbaik dan mengalokasikan pesanan untuk pemasok terpilih merupakan keputusan bisnis yang penting (Jolai *et al.*, 2011).

Permasalahan pemilihan pemasok telah banyak mendapatkan perhatian dari peneliti. Kebanyakan peneliti menggunakan model program matematika untuk memilih pemasok dan mengalokasikan pesanan untuk mendapatkan manajemen rantai pasok yang efektif (Gupta *et al.*, 2016). Secara umum ada dua model permasalahan pemilihan pemasok yaitu *Traditional Supplier Selection Problem* (TSSP) dan *Dynamic Supplier Selection Problem* (DSSP). Pada TSSP, semua permintaan dapat dipenuhi dari setiap pemasok terkait kuantitas, kualitas, waktu pengiriman dan lain-lain. Oleh karena itu permasalahannya hanya menentukan pemasok terbaik berdasarkan rangking yang dibuat. Setelah terpilih, diasumsikan bahwa periode berikutnya tinggal menjalankan rutinitasnya. Ada banyak publikasi yang terkait dengan TSSP (Burke *et al.* 2007; Liao & Rittscher 2007a; Aguezzoul & Ladet 2007; Choudhary & Shankar 2011; Mansini *et al.* 2012; Choudhary & Shankar 2013; Choudhary & Shankar 2014). Liao & Rittscher (2007a) membangun model multi tujuan permasalahan pemilihan pemasok mempertimbangkan produk dan periode tunggal dengan kondisi permintaan tidak pasti. Wadhwa & Ravindran (2007) meneliti model multi kriteria permasalahan pemilihan pemasok untuk produk tunggal dengan kondisi multi pembeli dan penjual serta adanya diskon.

DSSP terjadi ketika organisasi akan memilih pemasok yang berbeda-beda untuk setiap periode. Hal ini terjadi akibat terbatasnya kapasitas dimana pemasok tunggal tidak mampu memenuhi semua permintaan atau ada variasi kinerja pemasok sehingga pemasok terbaik di suatu periode belum tentu menjadi yang terbaik pada periode berikutnya. DSSP juga terjadi ketika pembeli akan mengadakan pembelian multi produk dan tiap produk mungkin dipasok dari beberapa pemasok. Sebagaimana dinyatakan Ware *et al.* (2014), DSSP adalah permasalahan pemilihan pemasok yang kondisinya multi produk, multi periode dan multi pemasok. Terdapat sedikit publikasi terkait DSSP. Rezaei & Davoodi (2011) menyajikan permasalahan *lot-sizing* dengan model multi tujuan *mixed integer non linear* untuk multi produk, multi periode dan multi pemasok. Ware *et al.* (2014) mengembangkan *mixed-integer non-linear program* (MINLP) untuk memecahkan *dynamic supplier selection problem* (DSSP).

Faktor lain yang meningkatkan kompleksitas permasalahan pemilihan pemasok adalah adanya resiko gangguan rantai pasok. Sebagaimana telah banyak dibahas dalam literatur, gangguan pasokan menimbulkan dampak yang besar pada kinerja rantai pasok (Kaur and Singh, 2017). Penggunaan multi pemasok adalah salah satu strategi menghadapi ketidakpastian rantai pasok. Ketika resiko rantai pasok meningkat, banyak perusahaan menggunakan multi pemasok untuk memasok produk. Sebagai contoh, Nokia dapat memenangkan persaingan dengan Ericsson karena Nokia memiliki rantai pasok yang tangkas yang menggunakan dua pemasok untuk memasok *radio frequency (RF) chips* (Lee, 2004). Oleh karena itu, keputusan pemilihan pemasok pada strategi manufaktur adalah dasar utama untuk mendapatkan rantai pasok yang sukses (Burke, Carrillo and Vakharia, 2007).

Salah satu isu penting dalam permasalahan pemilihan pemasok adalah hubungan antara organisasi, pemasok dan *Third Party Logistic* (Kafa et al., 2017). Salah satu isu penting permasalahan pemilihan pemasok saat ini adalah integrasi pemilihan pemasok dan pemilihan *carrier*. *Third party logistics* (3PL) merupakan salah satu usaha untuk mengoptimasi *inbound transportation* dari pemasok ke pamanufaktur (Choudhary and Shankar, 2013). Dengan integrasi permasalahan pemilihan pemasok dan pemilihan *carrier*, pembeli dapat mengelola biaya transportasi yang lebih efisien dan menegosiasikan diskon dengan *carrier* sehingga biaya transportasi dapat dioptimalkan. Sampai saat ini, hanya terdapat sedikit publikasi yang terkait integrasi pemilihan pemasok dan *carrier*, dan semuanya terkait dengan TSSP. Sepanjang pengetahuan penulis, belum ada publikasi yang memasukkan pemilihan *carrier* dalam DSSP.

Pada bab ini akan diintegrasikan pemilihan *carrier* dalam model DSSP dimana multi produk dibeli dari multi pemasok. Keputusan pemilihan dibuat untuk multi periode dan gangguan rantai pasok dalam bentuk keterlambatan pengiriman dan kualitas produk dimasukkan dalam pertimbangan. Kami mengasumsikan pemasok mengirimkan produknya langsung ke pembeli tanpa menggunakan *intermediate warehouse*.

Bab ini memiliki struktur sebagai berikut; bagian 5.2 menyajikan review literatur terkait model atau teknik dalam permasalahan pemilihan pemasok. Bagian 5.3 menyajikan permasalahan yang dibahas dan kerangka penelitian. Bagian 5.4 berisi model yang diusulkan. Bagian 5.5 berisi contoh numerik untuk menguji model yang diusulkan dilanjutkan dengan hasil dan analisa pada bagian 5.6. Pada bagian 5.7 disajikan kesimpulan, kontribusi, dampak manajerial dan peluang lanjutan riset ini.

## 5.2 Telaah Literatur

Industri manufaktur menggunakan concurrent sourcing yaitu membuat dan membeli produk yang sama secara simultan (Mols, 2017). Terdapat dua jenis permasalahan pemilihan pemasok. Yang pertama adalah *traditional supplier selection problem* (TSSP) dimana siapapun pemasok mampu memenuhi kebutuhan pembeli terkait dengan kualitas, kuantitas, pengiriman dan lain-lain. Dalam permasalahan ini, manajemen hanya menentukan satu pemasok terbaik. Yang kedua adalah *dynamic supplier selection problem* (DSSP) dimana tiap-tiap pemasok tidak mampu memenuhi semua permintaan pembeli dikarenakan adanya keterbatasan kapasitas, harga, tingkat kualitas dan waktu pengiriman. DSSP terjadi ketika pembeli melakukan pengadaan untuk multi produk dari multi pemasok dan menentukan keputusan untuk multi periode (Ware, Singh and Banwet, 2014).

Telah banyak peneliti membahas *traditional supplier selection problem* (TSSP) tetapi kebanyakan mereka membahas permasalahan untuk periode tunggal. Liao and Rittscher (2007a) mengembangkan model pemilihan pemasok multi tujuan yang mempertimbangkan produk tunggal dan periode tunggal dengan permintaan stokastik. Wadhwa and Ravindran (2007) mengusulkan model multi kriteria pemilihan pemasok untuk periode tunggal dengan multi pemasok serta multi pembeli dengan mempertimbangkan diskon. Guo and Li (2014) membuat model permasalahan pemilihan pemasok dan alokasi jumlah pesanan berdasarkan sistem inventori 2 eselon untuk produk tunggal dan periode tunggal. Jadidi, Zolfaghari, and Cavalieri (2014) mengusulkan permasalahan pemilihan pemasok untuk produk tunggal dan periode tunggal dengan optimasi multi tujuan berdasarkan kriteria harga, tingkat cacat dan lead time dengan mempertimbangkan pula kapasitas pemasok serta permintaan pembeli. Ayhan and Kilic (2015) mengusulkan integrasi *Fuzzy Analytical Hierarchy Process* (F-AHP) dan *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) untuk pemilihan pemasok multi produk, multi pemasok dengan periode tunggal. Program integer linear digunakan untuk periode tunggal untuk mengintegrasikan pemilihan pemasok dan alokasi pemesanan untuk pengadaan yang efisien (Trivedi et al., 2017).

Sampai saat ini, hanya sedikit peneliti yang mempertimbangkan periode multi dan *lot sizing* untuk optimasi rantai pasok (Mazdeh et al., 2015; Jauhari, et al., 2017). Untuk *traditional supplier selection problem* (TSSP), Hong et al. (2005) mengusulkan model matematika yang mempertimbangkan perubahan kapabilitas pemasok dan kebutuhan pelanggan untuk beberapa periode waktu. Ustun and Demirtas (2008a) mengusulkan integrasi *analytic network process* (ANP) dan *multi objective mixed integer linear programming* (MOMILP) multi periode. Ustun and Demirtas (2008b) mengembangkan integrasi *analytic*

*network process* (ANP) dan *Goal Programming Model* untuk skenario *lot sizing* inventori multi periode serta multi pemasok. Demirtas and Ustun (2009) memodelkan integrasi *Archimedean Goal Programming* (AGP) dan *Analytic Network Process* (ANP) untuk skenario *lot sizing* inventory multi periode dengan multi pemasok. Ghaniabadi and Mazinani (2017) mengusulkan MILP untuk permasalahan *lot sizing* yang dinamis dengan pemilihan pemasok dengan mempertimbangkan *backlogging* dan *quantity discount*. Hamdan and Cheaitou (2017) memodelkan pemilihan pemasok multi periode dan alokasi pemesanan dengan *all unit discounts*. Semua yang tersebut di atas hanya terkait permasalahan pemilihan pemasok untuk produk tunggal.

Adapun *dynamic supplier selection problem* (DSSP) telah dibahas oleh beberapa peneliti. Basnet and Leung (2005) mengembangkan model pemilihan pemasok multi produk dan multi pemasok dengan skenario *lot sizing* inventori multi periode. Rezaei and Davoodi (2008) mengusulkan program integer pemilihan pemasok untuk multi produk. Mereka mengombinasikan pemilihan pemasok dan model *lot sizing* inventori mempertimbangkan kualitas produk yang dibeli. Jolai et al. (2011) mengembangkan integrasi dua fase pemilihan pemasok dan permasalahan alokasi pesanan dalam lingkungan fuzzy. Pada fase pertama digunakan metode *fuzzy multi criteria decision making* (FMCDM) untuk memilih pemasok yang memenuhi kualifikasi. Pada fase kedua digunakan *multi objective mixed integer linear programming* (MOMILP) untuk menentukan jumlah pesanan. Kara (2011) mengembangkan model dua fase program stokastik dan metode *fuzzy TOPSIS* untuk pemilihan pemasok dengan permintaan yang tidak pasti. Ahmad and Mondal (2016) mengusulkan MILP untuk DSSP dengan *two-echelon supply network*. Model-model yang tersebut mencakup permasalahan multi produk, multi pemasok untuk multi periode.

Biaya transportasi dalam sangat berpengaruh dalam keputusan pemilihan pemasok (Liao and Rittscher 2007b; Mansini et al. 2012). Namun demikian, kebanyakan literatur saat ini yang terkait permasalahan pemilihan pemasok tidak mempertimbangkan biaya transportasi dalam modelnya (Aguezzoul and Ladet 2007; Mansini et al. 2012). Hanya sedikit peneliti yang memasukkan biaya transportasi dalam permasalahan pemilihan pemasok. Pada TSSP, Aguezzoul and Ladet (2007) mengembangkan *nonlinear multi objective programming* untuk memilih pemasok dan menentukan alokasi pesanan dengan mempertimbangkan biaya transportasi. Choudhary and Shankar (2011) memasukkan biaya transportasi dalam modelnya serta *lot sizing* untuk produk tunggal selama beberapa periode. Mansini et al. (2012) menyajikan model *Supplier Selection Problem with Quantity Discounts and Truckload*

*Shipping* (SSP-QDTS) yang dapat meminimalkan total pembelian dan biaya transportasi. Beberapa peneliti mengusulkan model TSSP yang mampu mengurangi biaya transportasi dengan mengintegrasikan keputusan pemilihan pemasok dan *carrier*. Biaya transportasi dapat menurun karena pembeli dapat memilih *carrier* yang tepat atau meminta diskon kepada *third party logistic* (3PL) (Choudhary and Shankar 2013). Lebih lanjut, skala ekonomi dapat dicapai dengan menggunakan *carrier* (Tinnilä and Kallio, 2017). Liao and Rittscher (2007b) mengusulkan *multi-objective programming model* yang mengintegrasikan pemilihan pemasok, *lot sizing* untuk pengadaan dan pemilihan *carrier* untuk pembelian produk tunggal selama beberapa periode waktu. Choudhary and Shankar (2013) mengembangkan model program linear untuk secara simultan menentukan waktu pengadaan, *lot sizing*, pemasok dan *carrier* yang dapat meminimalkan biaya total pengadaan selama horizon waktu yang ditentukan. Choudhary & Shankar (2014) mengusulkan model *goal programming* untuk menentukan waktu dan *lot sizing* pemesanan kepada pemasok dan *carrier* yang terpilih dalam tiap periode waktu.

Publikasi tersebut di atas yang mempertimbangkan biaya transportasi digolongkan dalam TSSP. Hanya sedikit peneliti yang memasukkan biaya transportasi yang digolongkan dalam DSSP, yaitu oleh Rezaei and Davoodi (2011) dan Ware et al. (2014). Rezaei and Davoodi (2011) mengusulkan *multi-objective mixed integer non-linear models* untuk permasalahan *lot-sizing* multi periode untuk multi produk selama multi periode. Fungsi tujuan terdiri dari biaya, kualitas dan *service level*. Biaya total meliputi pembelian, pemesanan, penyimpanan dan transportasi. Ware et al. (2014) mengusulkan *mixed-integer non-linear program* (MINLP) untuk menyelesaikan *dynamic supplier selection problem* (DSSP). Tabel 5.1 disajikan untuk menentukan posisi penelitian terhadap literatur saat ini yang terkait dengan permasalahan pemilihan pemasok. Tabel 5.1 menggolongkan literatur menjadi delapan atribut yang meliputi jumlah produk (tunggal/multi), jumlah pemasok (tunggal/multi), jumlah periode (tunggal/multi), tipe permasalahan pemilihan pemasok (TSSP/DSSP), pertimbangan biaya transportasi, pemilihan *carrier*, tipe model yang digunakan, dan gangguan *Supply Chain*. Tabel 5.1 menunjukkan kebanyakan literatur terkait dengan TSSP, sangat sedikit yang membahas DSSP. Di antara penelitian terkait DSSP, sangat sedikit yang mempertimbangkan biaya transportasi dan belum ada yang mengintegrasikan pemilihan pemasok dengan pemilihan *carrier*. Dapat disimpulkan bahwa belum ada paper yang mengintegrasikan pemilihan pemasok dan *carrier* dalam DSSP. Oleh karena itu diusulkan model *mixed integer linear program* (MILP) untuk permasalahan

pemilihan pemasok yang akan membantu pengambil keputusan untuk memilih pemasok dan *carrier* sehingga dapat meminimasi biaya pengadaan.

Tabel 5.1 Kajian literatur

Paper	Produk		Pemasok		Periode		Tipe Permasalahan	Biaya Transportasi	Pemilihan Carrier	Metodologi	Gangguan SC
	Single	Multi	Single	Multi	Single	Multi					
Basnet & Leung (2005)		√		√		√	DSSP	--	--	An enumerative search algorithm and a heuristic	--
Liao & Rittscher (2007a)	√			√	√		TSSP	--	--	MOP & GA	√
Liao & Rittscher (2007b)	√			√		√	TSSP	√	√	MOP & GA	√
Aguezzoul & Ladet (2007)	√			√	√		TSSP	√	--	Non linear MOP	--
Rezaei & Davoodi (2008)		√		√		√	DSSP	--	--	MIP & GA	√
Ustun & Demirtas (2008a)	√			√		√	TSSP	--	--	ANP & MOMILP	√
Ustun & Demirtas (2008b)	√			√		√	TSSP	--	--	ANP & GP	√
Demirtas & Ustun (2009)	√			√		√	TSSP	--	--	ANP & MOMILP	√
Rezaei & Davoodi (2011)		√		√		√	DSSP	√	--	MOMINLP & GA	√
Jolai et al. (2011)		√		√		√	DSSP	--	--	FMCDM & MOMILP	√
Kara (2011)		√		√		√	DSSP	--	--	Fuzzy TOPSIS & Two-Stage Stochastic model	√
Choudhary & Shankar (2011)	√			√		√	TSSP	√	--	ILP	√
Mansini et al. (2012)		√		√	√		TSSP	√	--	Heuristic procedure	--
Choudhary & Shankar (2013)	√			√		√	TSSP	√	√	ILP	√
Choudhary & Shankar (2014)	√			√		√	TSSP	√	√	MOILP	√
Ware et al. (2014)		√		√		√	DSSP	√	--	MINLP	√
Gou & Li (2014)		√		√	√		TSSP	--	--	MINLP	--
Jadidi et al. (2014)		√		√	√		TSSP	--	--	MOOP	√
Ayhan and Kilic (2015)		√		√	√		TSSP	--	--	FAHP & MILP	--
Mazdeh (2015)	√			√		√	TSSP	--	--	MINLP	--
Ahmad and Mondal (2016)		√		√		√	DSSP	√	--	MINLP	√
Ghaniabadi and Mazinani (2017)	√			√		√	TSSP	--	--	MILP	--
Hamdan and Cheaitou (2017)	√			√		√	TSSP	--	--	ILP	--
Trivedi <i>et al.</i> (2017)		√		√	√		TSSP	--	--	MOILP	--
This paper		√		√		√	DSSP	√	√	MILP	√

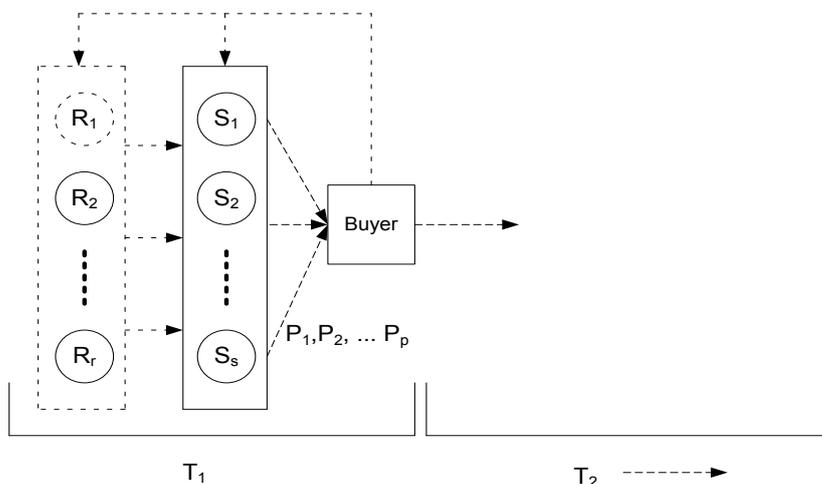
### 5.3 Permasalahan dan Kerangka Kerja Penelitian

#### 5.3.1 Permasalahan

Permasalahan yang dipertimbangkan disini adalah bagaimana pembeli melakukan pengadaan untuk multi produk dari multi pemasok selama multi periode dan menentukan *carrier* yang mengirim produk dari pemasok yang dapat meminimumkan biaya total pengadaan. Meskipun telah ada beberapa model matematika untuk DSSP namun demikian belum ada yang mempertimbangkan pemilihan *carrier*. Biaya pengadaan akan dipengaruhi biaya transportasi yang akan semakin meningkat ketika semakin banyak produk yang dikirim dari pemasok. Biaya transportasi dapat dikurangi jika pembeli menggunakan *carrier* untuk mengirim produk dari pemasok karena dimungkinkan konsolidasi pengiriman oleh *carrier*. Oleh karena itu, integrasi DSSP dan pemilihan *carrier* merupakan potensi pengurangan biaya pengadaan. Sehingga diperlukan model yang mampu mengintegrasikan DSSP dan pemilihan *carrier*.

#### 5.3.2 Kerangka Kerja Penelitian

Kerangka kerja yang diusulkan yang menintegrasikan DSSP dan pemilihan *carrier* diformulasikan dengan MILP. Gambar 5.1 menggambarkan kerangka penelitian yang diusulkan. Terdapat pembeli tunggal yang akan melakukan pengadaan untuk multi produk, dari multi pemasok untuk multi periode yang dalam literatur dikenal sebagai DSSP. *Carrier* sebagai entitas terpisah akan mengirim produk dari pemasok ke pembeli. Pembeli akan menentukan alokasi pesanan untuk pemasok dan *carrier* secara simultan yang akan meminimumkan biaya total pengadaan selama periode perencanaan.



Gambar 5.1. Ilustrasi DSSP

## 5.4 Model Usulan

Pada bagian ini akan ditampilkan model MILP untuk DSSP dan pemilihan *carrier*. Model ini mempertimbangkan multi produk, multi periode dan multi pemasok. Model ini memiliki tujuan memilih pemasok terbaik untuk memasok produk tiap periode waktu, menentukan jumlah produk yang harus dibeli dari pemasok dan menentukan jumlah produk yang dikirim oleh *carrier* dari pemasok ke pembeli sehingga total biaya pengadaan dapat minimal.

Pemasok memiliki keterbatasan kapasitas dan menawarkan produknya dengan harga pas. Model juga mempertimbangkan *supply disruptions*. Gangguan ini direpresentasikan dalam bentuk keterlambatan pengiriman dan cacat produk. Untuk menjamin pembeli dapat memesan produk, diperlukan kontrak. Model ini mengasumsikan adanya biaya tetap untuk melakukan kontrak dengan pemasok yang baru. Ada beberapa *carrier* yang menawarkan jasa pengiriman dari pemasok ke pembeli. Setiap *carrier* memiliki kapasitas yang berbeda dan menawarkan biaya transportasi yang berbeda pula.

Selama periode perencanaan, *shortage* diijinkan dan *backlog* dilakukan ketika inventori yang tersedia pada periode tersebut tidak mampu mencukupi permintaan. Sebaliknya, surplus dapat digunakan untuk memenuhi permintaan periode berikutnya namun dikenai biaya simpan. Kekurangan produk dibatasi oleh service level yang ditentukan oleh pembeli dan inventori dibatasi oleh kapasitas gudang pembeli. Total pengadaan produk dari pemasok terpilih harus mempertimbangkan gangguan yaitu produk cacat dan keterlambatan pengiriman. Model MILP dikembangkan untuk DSSP. Model ini dijalankan menggunakan data bangkitan dan diselesaikan dengan LINGO 16.

### 5.4.1 Daftar Asumsi

Berikut ini adalah asumsi yang digunakan dalam model ini :

- Keterlambatan pengiriman diasumsikan akan diterima pada periode berikutnya
- Biaya keterlambatan pengiriman ditanggung oleh pemasok
- Kualitas dan keterlambatan pengiriman mengikuti periode penerimaan produk
- Produk dikemas dalam box sehingga dimensinya homogen
- Keterlambatan pengiriman dilakukan oleh pemasok bukan oleh *carrier*
- Pemasok memiliki keterbatasan produksi

- *Shortage* diijinkan tetapi dikenakan biaya *shortage* dan diikuti *backlog*
- Biaya penyimpanan dikenakan pada tiap akhir periode
- Biaya pemesanan dikenakan tiap ada pesanan ke pemasok
- Biaya kontrak dikenakan untuk memformalkan hubungan dengan pemasok

#### 5.4.2 Daftar Indeks

T	Periode; 1,2,...,t
S	Pemasok; 1,2,...,s
P	Produk; 1,2,...,p
R	Carrier; 1,2,...,r

#### 5.4.3 Daftar Variabel Keputusan

$X_{tspr}$	: Jumlah produk $p$ yang dipasok pemasok $s$ untuk periode $t$ yang dikirim menggunakan carrier $r$
$Z_{ts}$	: Variabel biner (1 jika pesanan diberikan ke pemasok $s$ pada periode $t$ dan biaya pemesanan dikenakan, 0 sebaliknya)
$W_s$	: Variabel biner untuk pemasok baru (1 jika kontrak dilakukan dengan pemasok $s$ , 0 sebaliknya)
$i_{tp}^+$	: Inventori produk $p$ pada periode $t$
$i_{tp}^-$	: <i>Shortage</i> produk $p$ pada periode $t$

#### 5.4.4 Daftar Parameter

$UP_{sp}$	: Harga produk $p$ dari pemasok $s$
$TC_{spr}$	: Biaya transportasi per unit produk $p$ menggunakan carrier $r$ dari pemasok $s$
$NC_s$	: Biaya kontrak dengan pemasok $s$
$SOC_p$	: Biaya <i>shortage cost</i> per unit dari produk $p$
$C_r$	: Kapasitas carrier $r$
$D_p$	: Permintaan produk $p$ untuk periode $t$
$SC_{isp}$	: Kapasitas pemasok untuk produk $p$ pada periode $t$
$l_{sp}$	: Persentase keterlambatan pengiriman produk $p$ oleh pemasok $s$
$d_{sp}$	: Persentase produk cacat $p$ dari pemasok $s$
$P_p^l$	: Biaya penalti keterlambatan pengiriman
$P_p^d$	: Biaya penalti karena produk cacat

- $O_s$  : Biaya pemesanan pemasok  $s$   
 $H_p$  : Biaya simpan produk  $p$   
 $Q_{tp}$  : Kapasitas penyimpanan pembeli  
 $\phi$  : Service level yang ditentukan pembeli ( $1-\phi$ ) yaitu proporsi permintaan pembeli yang tidak dapat dipenuhi oleh pemasok  
 $M$  : *Big number*

#### 5.4.5 Formulasi Matematika

Sesuai dengan parameter dan variabel keputusan di atas, model *mixed integer linear program* disajikan sebagai berikut:

$$\text{Minimal } Z = Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4 + Z_5 + Z_6 + Z_7 + Z_8 \quad (1)$$

$$Z_1 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R UP_{sp} * X_{tspr} \quad (1a)$$

$$Z_2 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R TC_{spr} * X_{tspr} \quad (1b)$$

$$Z_3 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S O_s * Z_{ts} \quad (1c)$$

$$Z_4 = \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P h_p * i_{tp}^+ \quad (1d)$$

$$Z_5 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R P_p^l * l_{sp} * X_{tspr} \quad (1e)$$

$$Z_6 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R P_p^d * d_{sp} * X_{tspr} \quad (1f)$$

$$Z_7 = \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S NC_s * W_s \quad (1g)$$

$$Z_8 = \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P SOC_p * i_{tp}^- \quad (1f)$$

Fungsi tujuan (1) merepresentasikan tujuan meminimasi total biaya pengadaan yang terdiri dari delapan bagian yaitu; (1a) biaya pembelian, (1b) biaya transportasi oleh *carrier*, (1c) biaya pesan, (1d) biaya simpan, (1e) biaya penalti karena keterlambatan, (1f) biaya

penalti karena produk cacat, (1g) biaya kontrak, (1h) biaya *shortage*. Pembeli akan melakukan optimasi fungsi tujuan dengan batasan sebagai berikut:

1. Keseimbangan inventori. Batasan (2) menjamin permintaan produk pada periode t harus dipenuhi dari inventori yang tersedia dan produk yang dibeli pada periode tersebut. Ketika permintaan tidak dapat dipenuhi, *backlog* dapat dilakukan.

$$i_{(t-1)p}^+ + \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R X_{tspr} + \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R l_{sp} X_{(t-1)spr} - \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R l_{sp} X_{tspr} - \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R d_{sp} X_{tspr} \geq D_{tp} + i_{(t-1)p}^- + i_{tp}^+ - i_{tp}^- \quad \forall t \in T, \forall p \in P \quad (2)$$

2. Pemenuhan permintaan. Batasan (3) menjamin bahwa permintaan selama periode perencanaan harus dipenuhi.

$$\sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S X_{tspr} \geq \sum_{t=1}^T D_{tp} \quad \forall p \in P \quad (3)$$

3. Kapasitas *carrier*. Pengiriman semua produk dari setiap pemasok dikonsolidasikan oleh *carrier* dan kuantitas produk yang dikirim tidak dapat melebihi kapasitas *carrier*.

$$\sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P X_{tspr} \leq C_r \quad \forall t \in T, \forall r \in R \quad (4)$$

4. Kapasitas Pemasok. Pemesanan produk oleh pembeli tidak dapat melebihi kapasitas pemasok.

$$\sum_{r=1}^R X_{tspr} \leq SC_{ts} \quad \forall t \in T, \forall p \in P, \forall s \in S \quad (5)$$

5. Biaya Pemesanan. Batasan (6) menjamin biaya pesan dikenakan.

$$\sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R X_{tspr} \leq M * Z_{ts} \quad \forall t \in T, \forall s \in S \quad (6)$$

6. Kapasitas penyimpanan. Batasan (7) menjamin inventori periode t tidak dapat melebihi kapasitas penyimpanan pembeli.

$$i_{tp}^+ \leq Q_{tp} \quad \forall t \in T, \forall p \in P \quad (7)$$

7. Biaya kontrak. Ketika ditentukan ada pemasok baru, biaya kontrak dikenakan. Batasan (8) menjamin biaya kontrak dikenakan terhadap pemasok baru.

$$\sum_{t=1}^T Z_{ts} \leq M * W_s \quad \forall s \in S \quad (8)$$

8. *Service level. Shortage* tidak boleh melebihi service level yang ditentukan pembeli.

$$\sum_t i_{tp}^- \leq (1-\phi) \sum_t D_{tp} \quad \forall p \in P \quad (9)$$

9. Batasan integer dan non negatif.

$$X_{tspr}, i_{tp}^+, i_{tp}^- \geq 0 \quad (10)$$

10. Variabel biner.

$$Z_{ts}, W_s \in \{0,1\} \quad (11)$$

## 5.5 Contoh Numerik

Pada bagian ini akan disajikan contoh numerik. Tujuan dari eksperimen ini adalah membuktikan model dapat diselesaikan serta menunjukkan keefektifan model yang diusulkan. Kami menggunakan Lingo 16 untuk menyelesaikan model *mixed integer linear programming* (MILP). Lingo 16 dijalankan dalam notebook intel (R) Core (TM) i3 CPU (2.40 GHz) dan 4 GB RAM.

Eksperimen dijalankan untuk tiga produk, empat pemasok dengan enam periode perencanaan. Lima skenario permintaan dibangkitkan. Permintaan diasumsikan mengikuti distribusi normal dengan rata-rata 800 unit dengan koefisien variasi 0, 0.16, 0.25, 0.38, dan 0.5 untuk lima skenario secara berurutan. Lima skenario permintaan dari 3 produk untuk enam periode disajikan pada Tabel 5.2. Lima skenario permintaan memiliki rata-rata yang sama, masing-masing skenario hanya berbeda variasinya. Kegunaan dari lima skenario permintaan adalah untuk memberikan pemahaman efek dari variasi permintaan dari solusi yang dihasilkan oleh model. Tabel 5.3 menyajikan harga per unit ( $UP_{sp}$ ) yang ditawarkan masing-masing pemasok, biaya pesan ( $O_s$ ) dan biaya kontrak ( $NC_s$ ). Terdapat skenario pemasok dengan pemasok 3 merupakan pemasok dengan kualifikasi termurah untuk harga per unitnya kemudian diikuti oleh pemasok 1, sedangkan pemasok 2 dan pemasok 4 merupakan pemasok dengan harga per unit yang lebih mahal. Persentase keterlambatan produk, cacat produk, dan kapasitas pemasok dapat dilihat pada Tabel 5.4. Pada Tabel 5.5, disajikan biaya transportasi per unit menggunakan *carrier* r. Terdapat skenario harga untuk masing-masing *carrier*; dengan *carrier* 1 menawarkan biaya transportasi termurah sedangkan *carrier* 2 dan *carrier* 3 menawarkan harga transportasi yang lebih mahal. Setiap *carrier* memiliki kapasitas terbatas untuk mengirim produk dari pemasok ke pembeli yang ditampilkan pada Tabel 5.6. Tabel 5.7 merupakan biaya penalti untuk produk cacat ( $P_p^d$ ), Biaya penalti untuk keterlambatan

pengiriman ( $P_p^l$ ), Biaya simpan produk ( $H_p$ ), Biaya *shortage* produk p ( $SOC_p$ ) kapasitas penyimpanan pembeli ( $MS_{ip}$ ) untuk tiga produk. Service level diasumsikan 90%.

Tabel 5.2 Lima skenario permintaan

Periode	CV = 0			CV = 0.16			CV = 0.25			CV = 0.38			CV = 0.5		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	800	800	800	688	835	675	826	780	699	744	776	502	808	677	885
2	800	800	800	827	901	766	716	857	736	494	981	578	960	1142	1261
3	800	800	800	748	740	830	705	661	887	972	596	505	661	998	547
4	800	800	800	844	719	882	844	850	806	777	1061	1430	727	732	112
5	800	800	800	800	775	911	775	802	893	1305	860	929	1009	542	754
6	800	800	800	893	830	736	934	850	779	508	526	856	635	709	1241

Tabel 5.3 Harga per unit ( $UP_{sp}$ ), biaya pesan ( $O_s$ ), biaya kontrak ( $NC_s$ )

Pemasok	Harga per unit ( $UP_{sp}$ )			Biaya simpan ( $O_s$ )	Biaya kontrak ( $NC$ )
	1	2	3		
1	35	25	30	350	650
2	37	24	32	300	625
3	33	24	28	375	650
4	35	26	31	325	600

Tabel 5.4 Persentase keterlambatan produk, cacat produk, dan kapasitas pemasok

Pemasok	Persentase keterlambatan produk			Persentase cacat produk			Kapasitas pemasok		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	0.02	0.00	0.03	0.06	0.09	0.07	600	1000	1200
2	0.01	0.01	0.00	0.06	0.05	0.05	1000	700	600
3	0.03	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	500	500	500
4	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.09	800	800	1000

Tabel 5.5 Biaya transportasi per unit menggunakan *carrier* r

Produk	Pemasok 1			Pemasok 2			Pemasok 3			Pemasok 4		
	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>	r <sub>1</sub>	r <sub>2</sub>	r <sub>3</sub>
1	6	7	6.5	6.5	6	7.5	5	6	5.5	6.5	6.5	7.5
2	6	7	6.5	6.5	6	7.5	5	6	5.5	6.5	6.5	7.5
3	6	7	6.5	6.5	6	7.5	5	6	5.5	6.5	6.5	7.5

Tabel 5.6 Kapasitas *carrier*

	Carrier 1	Carrier 2	Carrier 3
Kapasitas	750	1000	1250

Tabel 5.7 Nilai  $P_p^d$ ,  $P_p^l$ ,  $H_p$ ,  $SOC_p$  and  $MS_{tp}$

	Produk		
	1	2	3
$P_p^d$	4	3	5
$P_p^l$	10	12	15
$H_p$	1	1	1
$SOC_p$	1	1	1
$MS_{tp}$	2000	2500	3000

## 5.6 Hasil dan Analisis

### 5.6.1 Hasil Eksperimen

Hasil eksperimen didapatkan setelah model dijalankan di Lingo 16. Tabel 5.8 menampilkan hasil skenario permintaan pertama dimana permintaannya konstan. Dari isian Tabel 5.8 didapatkan jumlah produk p yang dipasok pemasok s pada periode t yang dikirim oleh *carrier* r. Sebagai contoh, pada periode 1 produk 1 dipasok oleh pemasok 1 dan pemasok 3 dan dikirim oleh *carriers* 1 serta 3. Untuk produk 2, pesanan periode 1 dipecah untuk pemasok 1 dan 3 dan untuk tiap pemasok menggunakan *carrier* yang berbeda. Berdasarkan tabel 5.8, dua dari empat pemasok menerima pesanan yaitu pemasok 1 dan pemasok 3 dan semua *carrier* melakukan pengiriman. Hal ini sesuai skenario yang dijalankan

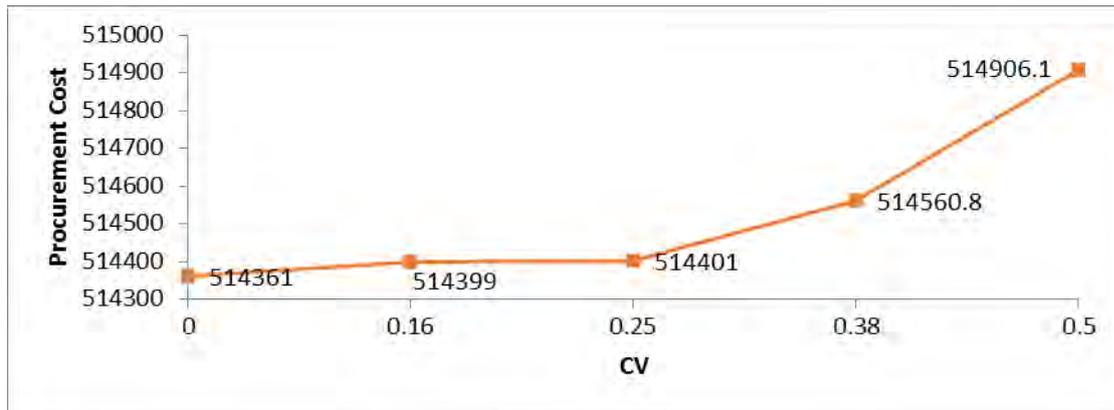
dimana pemasok 3 merupakan pemasok dengan kualifikasi termurah sedangkan pemasok 1 adalah pemasok termurah kedua. Sedangkan untuk pemilihan *carrier* semua mendapat alokasi karena keterbatasan kapasitas *carrier* 1 yang merupakan *carrier* termurah pada biaya transportasi begitu pula *carrier* 2 dengan kualifikasi sedang mendapatkan pula alokasi pemesanan. Karena kapasitas *carrier* 1 ditambah *carrier* 2 tidak mencukupi untuk memenuhi permintaan maka *carrier* 3 diberikan pula alokasi pengiriman. Proses optimasi ini menghasilkan nilai fungsi tujuan 514361.

Tabel 5.8 Hasil akhir pemilihan pemasok dan *carrier* untuk skenario permintaan 1

Periode	Pemasok	$X_{tspr}$								
		$D_1$			$D_2$			$D_3$		
		$r_1$	$r_2$	$r_3$	$r_1$	$r_2$	$r_3$	$r_1$	$r_2$	$r_3$
1	s1	250	0	104	0	456	0	0	0	356
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	500	0	0	0	500	0	0	0	500
	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	s1	0	0	330	0	336	0	0	0	333
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	500	0	0	0	500	0	250	0	250
	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	s1	0	0	330	0	336	0	250	0	84
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	500	0	0	0	500	0	0	0	500
	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	s1	0	0	330	0	336	0	250	0	84
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	500	0	0	0	500	0	0	0	500
	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	s1	250	0	206	0	336	0	0	0	443
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	500	0	0	0	500	0	0	0	500
	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	s1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	250	0	250	0	500	0	500	0	0
	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Kemudian akan dibandingkan biaya pengadaan dari masing-masing skenario permintaan. Gambar 5.2 memperlihatkan total biaya pengadaan meningkat ketika pola permintaannya semakin berfluktuasi. Total permintaan selama horizon waktu perencanaan adalah sama untuk semua skenario permintaan. Hasil pengamatan didapatkan kenaikan total biaya pengadaan yang diakibatkan oleh tingginya biaya inventori akibat fluktuasi permintaan. Untuk mencapai service level yang ditentukan, tingkat inventori yang tinggi dibutuhkan untuk menghadapi fluktuasi permintaan. Disamping itu, tambahan satu pemasok dibutuhkan ketika menghadapi pola permintaan yang sangat fluktuatif. Pada kasus ini dua pemasok digunakan ketika menghadapi permintaan yang relatif stabil (koefisien variasi 0, 0.16 dan

0.25) tetapi tiga pemasok diperlukan ketika permintaannya lebih fluktuatif (koefisien variasi 0.38 dan 0.50). Dengan kata lain, fleksibilitas kapasitas pasokan harus lebih tinggi ketika ketidakpastiannya lebih tinggi.



Gambar 5.2 Hubungan antara biaya pengadaan dengan koefisien variasi

## 5.6.2 Analisis Sensitivitas

### 5.6.2.1 Efek Biaya Shortage

Pada bagian ini akan dianalisa efek perbedaan biaya *shortage* pada total biaya dan komponennya. Tabel 5.9 menunjukkan total biaya pengadaan mengalami kenaikan ketika biaya *shortage* semakin tinggi. Namun demikian, hanya dua komponen biaya saja yang dipengaruhi. Pertama biaya simpan (Z4) dan kedua biaya *shortage* (Z8). Biaya simpan meningkat karena tingginya penalti akibat *shortage* dan harus disikapi dengan meningkatkan inventori untuk menghindari *shortage*.

Tabel 5.9 Efek biaya *shortage*

Shortage	0	1	2
Z1	417000.0	417000.0	417000.0
Z2	85650.5	85650.0	85650
Z3	4000.0	4000.0	4000.0
Z4	0	1.0	319
Z5	3330.0	3330.0	3330.0
Z6	2178	2178.0	2178
Z7	1300.0	1300.0	1300.0
Z8	0.0	902.0	1168
TC	513458.5	514361.0	514945.0

### 5.6.2.2 Efek dari Ketidakhandalan Kinerja Pengiriman

Selanjutnya akan diteliti efek kinerja pengiriman yang terdiri dari persentase keterlambatan dan persentase produk cacat terhadap keputusan pembelian. Tiga skenario disusun untuk menggambarkan kinerja pengiriman dari pemasok. Sebagai catatan permintaan selama horison perencanaan adalah 800 dan harga per unit dibuat sama yaitu 30 sehingga dapat dilakukan perbandingan yang setara.

Tabel 5.10 menampilkan strategi pembelian dan biaya pengadaan dipengaruhi oleh kinerja pengiriman. Hasilnya adalah ketika kinerja pengiriman dari pemasok semakin tidak handal maka pembeli akan memilih pemasok yang memiliki kinerja pengiriman yang lebih baik.

Tabel 5.10 Efek dari *unreliable delivery performance*

Skenario	Pemasok	Persentase terlambat			Persentase cacat			Pemasok Terpilih	Biaya Total
		p1	p2	p3	p1	p2	p3		
1	1	0	0	0	0	0	0	Yes	519255
	2	0.2	0.01	0.02	0.2	0.01	0.02	No	
	3	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	Yes	
	4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	No	
2	1	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	No	527280
	2	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	No	
	3	0	0	0	0	0	0	Yes	
	4	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	Yes	
3	1	0	0	0	0	0	0	Yes	522105
	2	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	Yes	
	3	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	No	
	4	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	No	

## 5.7 Kesimpulan dan Penelitian Berikutnya

Model *mixed integer linear programming* (MILP) diusulkan untuk mengintegrasikan *dynamic supplier selection problem* dengan pemilihan *carrier*. Multi produk dipasok dari multi pemasok dengan mempertimbangkan keterlambatan pengiriman dan ketidaksempurnaan kualitas produk yang dikirim. Keputusan pengadaan dibuat untuk multi periode dan *shortage* diikuti dengan *backlog*. Integrasi permasalahan pemilihan pemasok dan pemilihan *carrier* sangat penting karena pembeli dapat mengelola biaya transportasi dengan efisien dan menegosiasikan diskon dengan *carrier* sehingga biaya transportasi dapat dioptimalkan. Penelitian ini memiliki kontribusi dalam literatur karena belum ada penelitian sebelumnya yang mempertimbangkan pemilihan *carrier* pada model DSSP.

Model ini merepresentasikan situasi dunia nyata, dimana keputusan dinamis harus dibuat selama periode perencanaan yang terkait dengan pengadaan produk dan transportasinya dari pemasok. Pada faktanya, permintaan tidak pernah konstan dan pengiriman tidak 100% diandalkan, oleh karena itu mempertimbangkan keterlambatan dan kualitas menjadi hal yang penting. Situasi dinamis pada rantai pasok juga mengakibatkan manajer harus menentukan tingkat fleksibiliti pada sistem yang dikelola. Fleksibiliti ini dapat berupa kemampuan untuk merubah tanggal pengiriman, kuantitas pesanan, dan pemasok yang akan memasok produk serta *carrier* yang akan mengirim pesanan. Angkiriwang et al. (2014) mengusulkan strategi untuk menghadapi ketidakpastian pada rantai pasok melalui fleksibiliti. Model yang diusulkan mencakup beberapa ide fleksibiliti sebagai contoh mengijinkan *carrier* terpilih berbeda-beda dari tiap-tiap periode atau *carrier* diijinkan mengirim dari pemasok yang berbeda-beda.

Model yang diusulkan ini dapat diaplikasikan untuk menentukan secara simultan *lot size* pembelian kepada pemasok terpilih dan *carrier* yang mengirim produk dari pemasok terpilih. Model ini mengijinkan *backlog* untuk mencapai service level yang dikehendaki. Untuk mencapai service level yang ditentukan, model akan mampu melakukan *trade-off* antara menyimpan banyak inventori dengan frekuensi melakukan pemesanan kepada pemasok. Hasilnya adalah penggunaan multi pemasok lebih baik ketika permintaan semakin tinggi fluktuasinya.

Model yang diusulkan memiliki keterbatasan. Sebagai contoh, keterlambatan pengiriman hanya disebabkan oleh pemasok bukan juga oleh carrier. Pemasok dapat merupakan penyebab keterlambatan pengiriman karena permasalahan produksi atau lainnya. Pada faktanya, *carrier* juga bisa menjadi penyebab keterlambatan misalkan karena kemacetan atau gangguan dalam jalur pengiriman. Model ini mengabaikan keterlambatan pengiriman oleh *carrier*, yang dapat menjadi peluang penelitian yang akan datang. Isu yang menarik lainnya adalah meneliti perilaku ketidakpastian dalam rantai pasok dan keandalan tiap pihaknya. Pertanyaan manakah *carrier* yang harus dipilih ketika masing-masing memiliki keandalan yang berbeda-beda memerlukan penelitian lebih lanjut.

## **BAB 6**

### **DYNAMIC SUPPLIER SELECTION DAN STRATEGI OPTIMALNYA MEMPERTIMBANGKAN FULL TRUCK LOAD DAN PERMINTAAN FUZZY**

Telah dibahas pada Bab 4 model pertama DSSP. Bab ini akan membahas model ketiga DSSP yang dikembangkan dari model pertama. Model ini merepresentasikan situasi dunia nyata, dimana keputusan dinamis harus dibuat selama periode perencanaan yang terkait dengan pengadaan produk dan transportasinya dari pemasok. Model ketiga DSSP bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan bagaimana pembeli melakukan pengadaan untuk multi produk dari multi pemasok selama multi periode dengan mempertimbangkan ketidakpastian permintaan yang dapat meminimumkan biaya total pengadaan. Pembentukan model ini diawali pembuatan model konseptual dan kemudian dibuat model formalnya. DSSP mempertimbangkan *full truck load* dan ketidakpastian permintaan diformulasi dalam model matematika pada optimasi linier fuzzy. Nilai harapan yang digunakan berdasarkan program fuzzy untuk menyelesaikan permasalahan optimasi dan menentukan strategi pengadaan yang optimal. Selanjutnya akan dilakukan *numeric example* untuk menguji keandalan model.

#### **6.1 Latar Belakang**

Perusahaan manufaktur pada umumnya mengalami permasalahan dalam memilih pemasok terutama terkait dengan keputusan menentukan pemasok yang terbaik dari beberapa alternatif calon pemasok. Keputusan yang optimal harus dapat memenuhi permintaan dan menyediakan produk atau jasa yang berkualitas untuk perusahaan manufaktur (Izadikhah, 2012; Christopher, 2011). Pada organisasi yang cukup besar, pemilihan pemasok biasa dilakukan untuk multi periode, multi produk serta multi pemasok dengan senantiasa menjaga tingkat kualitas yang baik dan lead time. Fenomena ini dinamakan Dynamic Supplier Selection Problem (DSSP) (Ware, Singh and Banwet, 2014). Mereka menjelaskan dalam papernya perbedaan antara Traditional Supplier Selection Problem (TSSP) dan Dynamic Supplier Selection Problem (DSSP). DSSP adalah pendekatan yang lebih realistis dibanding TSSP dalam hal penggunaan parameter yang dinamis terkait periode waktu perencanaan dan sekelompok pemasok yang menggantikan pemasok tunggal untuk memenuhi permintaan (Ahmad and Mondal, 2016).

Dampak biaya transportasi pada DSSP sangat besar (Mansini, Savelsbergh and Tocchella, 2012). Ketika pembeli memecah pemesanan diantara multi pemasok, kuantitas

pengiriman dari pemasok ke pembeli menjadi lebih kecil. Hal ini mengakibatkan biaya transportasi yang lebih besar (Aguezoul and Ladet, 2007). Namun demikian, kebanyakan peneliti terkait dengan permasalahan pemilihan pemasok tidak mempertimbangkan biaya transportasi dalam modelnya. Mereka biasanya memasukkan biaya transportasi dalam harga produknya. Oleh karena itu, mempertimbangkan biaya transportasi dalam menentukan kuantitas pesanan pada DSSP menjadi penting untuk meningkatkan efisiensi supply chain (Pazhani, Ventura and Mendoza, 2016).

Pada permasalahan pemilihan pemasok, permintaan pada saat sekarang biasanya diketahui dengan pasti, sedangkan permintaan yang akan datang tidak pasti besarnya. Keputusan yang optimal pemilihan pemasok dan penentuan alokasi pesanan ke pemasok terpilih dengan mempertimbangkan ketidakpastian permintaan adalah kajian yang lebih menarik (Cárdenas-Barrón, González-Velarde and Treviño-Garza, 2015; Choudhary and Shankar, 2011, 2013, 2014). Ada beberapa pendekatan untuk menyelesaikan permasalahan pemilihan pemasok seperti pendekatan optimasi dengan perspektif resiko dan integrasi pemilihan pemasok dengan manajemen inventori dan manajemen resiko. Pemilihan pemasok dengan mempertimbangkan ketidakpastian telah beberapa publikasi diterbitkan yang kebanyakan diselesaikan dengan menggunakan program stokastik (Amorim *et al.*, 2016; Moghaddam, 2015; Memon, Lee and Mari, 2015).

Pada teori uncertainty, nilai ketidakpastian dapat didekati dengan dua cara yaitu dibangkitkan frekuensi dengan sampel (data historis atau uji coba) dan evaluasi tingkat keyakinan oleh pembuat keputusan (Liu, 2007). Pendekatan frekuensi menggunakan teori probabilitas dapat diaplikasikan ketika sampel tersedia yang digunakan untuk menentukan distribusi probabilitasnya. Namun demikian, banyak kasus yang tidak tersedia sampel untuk menentukan distribusi probabilitas. Pada kasus seperti ini, teori *belief degree* dapat digunakan untuk memperkirakan nilai ketidakpastian dari variabel. Pendekatan *belief degree* yang sederhana adalah dengan menggunakan variabel *fuzzy*. Nilai ketidakpastian dapat didekati dengan fungsi keanggotaan yang ditentukan oleh pembuat keputusan. Jika sebuah permasalahan optimasi berisi paling tidak satu variabel *fuzzy* (atau parameter), kemudian program *fuzzy* dapat digunakan untuk penyelesaian.

Program *fuzzy* merupakan metode yang handal untuk menangani permasalahan optimasi dengan variabel *fuzzy* dimana konsep *fuzzy* diawali oleh Zadeh pada tahun 1965 (Liu, 2009). Semua bentuk optimasi seperti program linier, program kuadrat, program non linier dapat ditangani ketika parameter *fuzzy* digunakan. Model umum permasalahan program linier *fuzzy* dapat diinterpretasikan sebagai permasalahan program linier dengan semua

parameter adalah variabel *fuzzy* yang biasa dikenal sebagai *fully fuzzy linear programming problem*. Ada beberapa kasus diantaranya (1) fungsi tujuan bersifat tegas (2) beberapa atau semua batasan bersifat tegas, (3) beberapa atau semua batasan memiliki batasan lemah dan kombinasi darinya (Rommelfanger, 1996). Pada paper ini menggunakan tipe 3 yaitu fungsi tujuan bersifat tegas dan beberapa batasan adalah batasan lemah yang akan digunakan untuk menyelesaikan permasalahan pemilihan pemasok dengan permintaan *fuzzy*. Untuk menyelesaikannya akan digunakan nilai harapan berdasarkan program fuzzy (Liu and Liu, 2002).

Pada bab ini akan dimodelkan *dynamic supplier selection problem* mempertimbangkan *full truck load* dengan nilai permintaan tidak pasti dan memformulasi model matematika pada optimasi linier fuzzy. Nilai harapan digunakan berdasarkan program fuzzy untuk menyelesaikan permasalahan optimasi dan menentukan strategi yang optimal. Kemudian beberapa percobaan numerik akan disajikan.

## 6.2 Model

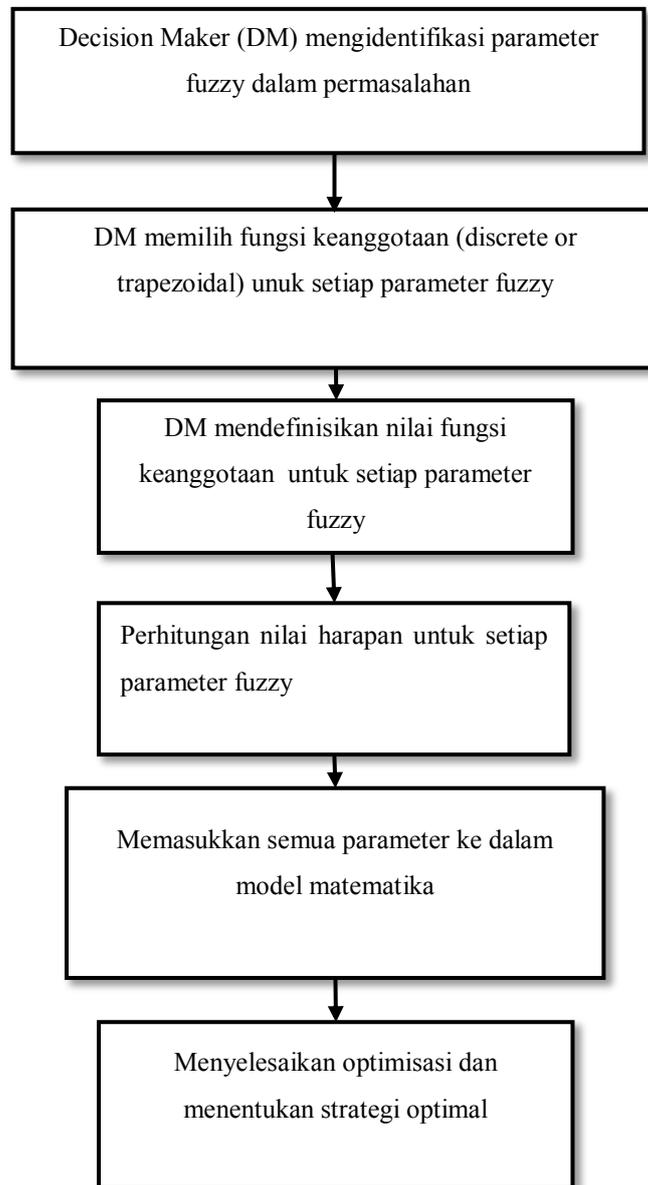
Model *dynamic supplier selection problem* mempertimbangkan *full truck load* dengan nilai permintaan tidak pasti akan dijalankan dengan optimasi linier fuzzy. Untuk menyelesaikan permasalahan optimasi serta menentukan strategi yang optimal diperlukan prosedur penyelesaian. Gambar 6.1 menunjukkan prosedur penyelesaian masalah yang digunakan. Dalam tiga langkah awal, DM memiliki peran yang penting yaitu harus mendefinisikan nilai fungsi keanggotaan untuk setiap parameter fuzzy. DM menggunakan intuisi berdasarkan pengalamannya untuk menentukan nilai fungsi keanggotaan.

Model yang dikembangkan adalah permasalahan pemilihan pemasok untuk multi produk, multi pemasok dan multi periode. Model ini memiliki asumsi dan formulasi sebagai berikut;

Asumsi :

- Keterlambatan pengiriman diasumsikan akan diterima pada periode berikutnya
- Biaya keterlambatan pengiriman ditanggung oleh pemasok
- Kualitas dan keterlambatan pengiriman mengikuti periode penerimaan produk
- Produk dikemas dalam box sehingga dimensinya homogen
- Pemasok memiliki keterbatasan produksi
- *Shortage* diijinkan tetapi dikenakan biaya *shortage* dan diikuti *backlog*
- Biaya penyimpanan dikenakan pada tiap akhir periode

- Biaya pemesanan dikenakan tiap ada pesanan ke pemasok
- Biaya kontrak dikenakan untuk memformalkan hubungan dengan pemasok



Gambar 6.1 Prosedur penyelesaian masalah

Indeks :

- T : Periode waktu : 1,2,3, ...,  $t$   
 S : Pemasok : 1,2,3, ...,  $s$   
 P : Tipe produk : 1,2,3, ...,  $p$

Variabel keputusan :

- $X_{isp}$  : Jumlah (unit) produk  $p$  yang dibeli dari pemasok  $s$  pada periode  $t$
- $S_{ts}$  : Jumlah pengiriman truk dari pemasok  $s$  pada periode  $t$
- $Z_{ts}$  : Bilangan biner yang menunjukkan apakah pemasok  $s$  dikenakan biaya pesan (1) atau tidak (0) pada periode  $t$
- $W_s$  : Bilangan biner yang menunjukkan apakah pemasok  $s$  dipilih sebagai pemasok baru (1) atau tidak (0)
- $i_{ip}^+$  : Level inventori produk  $p$  pada periode  $t$
- $i_{ip}^-$  : Level shortage level produk  $p$  pada periode  $t$

Parameter :

- $UP_{sp}$  : Harga per unit produk  $p$  dipasok oleh pemasok  $s$  untuk tiap-tiap periode
- $TC_s$  : Biaya FTL dari pemasok  $s$  menuju ke pembeli untuk tiap periode
- $NC_s$  : Biaya kontrak untuk memilih pemasok baru  $s$
- $SOC_{ip}$  : Biaya *shortage* produk  $p$  pada periode  $t$
- $C$  : Kapasitas FTL
- $D_{ip}$  : Permintaan produk  $p$  pada periode  $t$
- $SC_{isp}$  : Kapasitas pemasok  $s$  untuk produk  $p$  pada periode  $t$
- $l_{sp}$  : Persentase keterlambatan pengiriman produk  $p$  dari pemasok  $s$  pada tiap periode
- $de_{sp}$  : Persentase produk cacat  $p$  dari pemasok  $s$  pada tiap periode
- $P_p^l$  : Biaya penalti keterlambatan pengiriman produk  $p$  pada tiap periode
- $P_p^d$  : Biaya penalti produk cacat  $p$  pada tiap periode
- $O_s$  : Biaya pesan pemasok  $s$
- $h_p$  : Biaya simpan per unit produk  $p$  pada tiap periode
- $Q_{ip}$  : Kapasitas penyimpanan pamanufaktur untuk produk  $p$  pada tiap periode  $t$
- $\phi_{ip}$  : Service level pamanufaktur pada tiap periode yaitu  $(1-\phi)$  yang merupakan proporsi permintaan produk  $p$  yang tidak dapat dipenuhi oleh pemasok pada tiap periode  $t$

Misalkan  $\tilde{D}_{ip}$  menyatakan variabel fuzzy dari nilai permintaan produk  $p$  saat periode waktu  $t$ . Solusi dari masalah pemilihan pemasok harus memenuhi permintaan, yaitu total produk yang dibeli harus lebih besar atau sama dengan permintaan. Akan tetapi, jika nilai permintaan adalah tidak pasti yang kemudian didekati menggunakan variabel fuzzy, maka total produk yang dibeli harus lebih besar atau sama dengan variabel fuzzy yang menyatakan

nilai permintaan tersebut. Kondisi ini termasuk masalah *not-well-defined* karena daerah layak tidak menghasilkan himpunan tegas yang artinya tidak dapat ditentukan nilai optimumnya. Oleh karena itu, strategi/keputusan optimal tidak dapat ditentukan sebagai nilai tegas. Supaya suatu variabel fuzzy menghasilkan suatu nilai tegas, maka digunakan nilai ekspektasi fuzzy untuk mendekati nilai tegas dari permintaan fuzzy. Ada beberapa cara untuk mendefinisikan nilai ekspektasi dari suatu variabel fuzzy. Nilai ekspektasi yang digunakan didefinisikan dalam (Liu and Liu, 2002) dimana untuk sebarang  $t$  dan  $p$ , nilai ekspektasi dari permintaan fuzzy  $\tilde{D}_p$  didefinisikan sebagai

$$E[\tilde{D}_p] = \int_0^\infty Cr\{\tilde{D}_p \geq r\} dr - \int_{-\infty}^0 Cr\{\tilde{D}_p \leq r\} dr \quad (1)$$

dengan syarat paling tidak satu dari dua suku integral diatas adalah berhingga dimana  $Cr[\cdot]$  menyatakan nilai kredibilitas. Definisi pada persamaan (1) dapat digunakan untuk menentukan nilai ekspektasi dari sebarang variabel fuzzy menggunakan fungsi keanggotaannya. Untuk variabel fuzzy diskrit  $\xi$  yang fungsi keanggotaannya dinyatakan oleh

$$\mu_\xi(x) = \begin{cases} \mu_1, & \text{if } x = x_1 \\ \mu_2, & \text{if } x = x_2 \\ \vdots \\ \mu_m, & \text{if } x = x_m \end{cases} \quad (2)$$

dengan  $x_1, x_2, \dots, x_m$  adalah bilangan-bilangan real berbeda dan  $x_1 < x_2 < \dots < x_m$ , nilai ekspektasi dari  $\xi$  adalah

$$E[\xi] = \sum_{i=1}^m w_i x_i \quad (3)$$

dengan

$$w_i = \frac{1}{2} \left( \max_{1 \leq j \leq i} \mu_j - \max_{1 \leq j < i} \mu_j + \max_{i \leq j \leq m} \mu_j - \max_{1 < j \leq m} \mu_j \right) \quad (4)$$

untuk  $i = 1, 2, \dots, m$ . Suatu variabel fuzzy trapezoidal  $\tilde{T} = (a, b, c, d)$  memiliki nilai ekspektasi

$$E[\tilde{T}] = \frac{a + b + c + d}{4}. \quad (5)$$

Permasalahan pemilihan pemasok dengan permintaan fuzzy yang dibahas memiliki fungsi tujuan meminimumkan biaya pengadaan dan batasan-batasan yang dapat memenuhi

permintaan fuzzy beserta batasan lain yang relevan. Model matematikanya adalah sebagai berikut ;

$$\begin{aligned}
\min Z = & \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P U_{sp} \cdot X_{tsp} + \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S O_s \cdot Z_{ts} \\
& + \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S NC_s \cdot W_s + \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P h_p \cdot i_{tp}^+ \\
& + \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P SOC_p \cdot i_{tp}^- + \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S TC_s \cdot S_{ts} \\
& + \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P P_p^d \cdot de_{sp} \cdot X_{tsp} \\
& + \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P P_p^l \cdot l_{sp} \cdot X_{tsp}
\end{aligned} \tag{6}$$

Batasan

$$\begin{aligned}
& i_{(t-1)p}^+ - i_{tp}^+ + \sum_{s=1}^S X_{tsp} + \sum_{s=1}^S l_{ps} X_{(t-1)sp} \\
& - \sum_{s=1}^S l_{ps} X_{tsp} - \sum_{s=1}^S d_{ps} X_{tsp} - i_{(t-1)p}^- \\
& + i_{tp}^- \geq E[\tilde{D}_{tp}], \forall t \in T, \forall p \in P;
\end{aligned} \tag{7}$$

$$\frac{i_{tp}^-}{(1 - \phi_{tp})} \leq E[\tilde{D}_{tp}], \forall p \in P, \forall t \in T; \tag{8}$$

$$\left[ \frac{\sum_{p=1}^P X_{tsp}}{C} \right] \leq S_{ts}, \forall s \in S, \forall t \in T; \tag{9}$$

$$X_{tsp} \leq SC_{tsp}, \forall t \in T, \forall s \in S, \forall p \in P; \tag{10}$$

$$\sum_{p=1}^P X_{tsp} \leq M \cdot Z_{ts}, \forall t \in T, \forall s \in S; \tag{11}$$

$$i_{tp}^+ \leq Q_{tp}, \forall t \in T, \forall p \in P; \tag{12}$$

$$\sum_{t=1}^T Z_{ts} \leq M \cdot W_s, \forall s \in S; \tag{13}$$

$$X_{tsp}, S_{ts}, i_{tp}^+, i_{tp}^- \text{ integer}; \tag{14}$$

$$Z_{ts}, W_s \in \{0,1\}. \tag{15}$$

Batasan (7)-(15) dapat dijelaskan secara beruntun sebagai berikut. Batasan 7 digunakan untuk mengelola inventori dan pemenuhan permintaan. Batasan 8 terkait service level yang ditentukan, sedangkan batasan 9 adalah kondisi *full truck load*. Batasan 10 sampai 15 berkaitan dengan kapasitas pemasok, biaya pemesanan, kapasitas penyimpanan, indikator pemasok baru, kendala integer dan kendala biner untuk variabel keputusan secara berurutan.

### 6.3 Hasil dan Diskusi

#### 6.3.1 Contoh Numerik

Pada bagian ini, model (6) akan dievaluasi menggunakan data-data yang ada pada Tabel 6.1-6.6. Tiga produk, empat pemasok dan sepuluh periode waktu dipertimbangkan dalam menjalankan model. Tabel 6.1 disajikan harga per unit ( $UP_{tsp}$ ) yang ditawarkan oleh masing-masing pemasok. Tabel 6.2 menunjukkan kapasitas tiap-tiap pemasok. Tabel 6.3 menyajikan nilai parameter antara lain kasitas penyimpanan, penalti cacat, penalti keterlambatan, biaya simpan dan biaya *shortage*. Tabel 6.4 menghadirkan nilai parameter pemasok yang terdiri dari biaya pesan, biaya kontrak, dan biaya transportasi. Tingkat produk cacat masing-masing pemasok ditunjukkan pada Tabel 6.5. Tabel 6.6 menyajikan tingkat keterlambatan dari masing-masing pemasok.

Tabel 6.1 Unit Price

Periode	Pemasok	Produk		
		P1	P2	P3
Semua	S1	40	82	61
	S2	42	83	62
	S3	41	82	62
	S4	41	81	61

Tabel 6.2 Kapasitas Pemasok

Periode	Pemasok	Produk		
		P1	P2	P3
Semua	S1	1200	400	750
	S2	1000	350	650
	S3	950	300	800
	S4	900	450	850

Tabel 6.3 Nilai Parameter Untuk Semua Periode

Parameter	P1	P2	P3
Kapasitas penyimpanan	1200	1000	1000
Penalti cacat	1	2	1
Penalti keterlambatan	0.5	0.01	0.02
Biaya simpan	0.2	0.8	0.4
Biaya shortage	1	1	2

Tabel 6.4 Nilai Parameter Pemasok untuk Semua Periode

Pemasok	Biaya	Biaya	Biaya
S1	12	45	120
S2	10	50	120
S3	14	45	120
S4	12	40	120

Tabel 6.5 Tingkat Produk Cacat Untuk Semua Periode

Pemasok	P1	P2	P3
S1	0.04	0.02	0.03
S2	0.04	0.04	0.00
S3	0.04	0.00	0.05
S4	0.03	0.02	0.05

Tabel 6.6 Tingkat Keterlambatan Untuk Semua Periode

Pemasok	P1	P2	P3
S1	0.02	0.01	0.03
S2	0.00	0.04	0.05
S3	0.02	0.00	0.00
S4	0.04	0.03	0.02

**Contoh Numerik 1 (Fungsi keanggotaan diskret).** Pemanufaktur akan membeli 3 produk yaitu P1, P2 dan P3 dari pemasok S1, S2, S3 dan S4 dimana permintaannya tidak pasti. Diasumsikan bahwa pengambil keputusan memiliki nilai ketidakpastian permintaan yang direpresentasikan dengan variabel fuzzy yang fungsi keanggotaannya adalah diskret. Fungsi diskret didefinisikan sebagai berikut :

$$\mu_{\tilde{D}_{l=1,4,p=1,2,3}} = \begin{cases} 0.25 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 480; 0.40 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 490; \\ 0.70 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 510; 1.00 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 530; \\ 0.90 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 550; 0.88 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 570; , \\ 0.75 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 590; 0.60 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 610; \\ 0.50 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 630; 0.45 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 650; \end{cases}$$

$$\mu_{\tilde{D}_{l=2,5,p=1,2,3}} = \begin{cases} 0.25 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 130; 0.40 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 140; \\ 0.70 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 150; 1.00 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 160; \\ 0.90 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 170; 0.88 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 180; , \\ 0.75 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 190; 0.60 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 200; \\ 0.50 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 210; 0.45 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 220; \end{cases}$$

$$\mu_{\tilde{D}_{l=3,p=1,2,3}} = \begin{cases} 0.25 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 370; 0.40 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 395; \\ 0.70 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 410; 1.00 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 430; \\ 0.90 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 450; 0.88 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 460; , \\ 0.75 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 465; 0.60 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 475; \\ 0.50 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 480; 0.45 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 490; \end{cases}$$

$$\mu_{\tilde{D}_{l=6,9,p=1,2,3}} = \begin{cases} 0.22 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 430; 0.58 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 440; \\ 0.65 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 460; 0.75 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 480; \\ 1.00 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 500; 0.99 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 520; \\ 0.62 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 540; 0.50 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 560; \\ 0.35 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 580; 0.25 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 600; \end{cases}$$

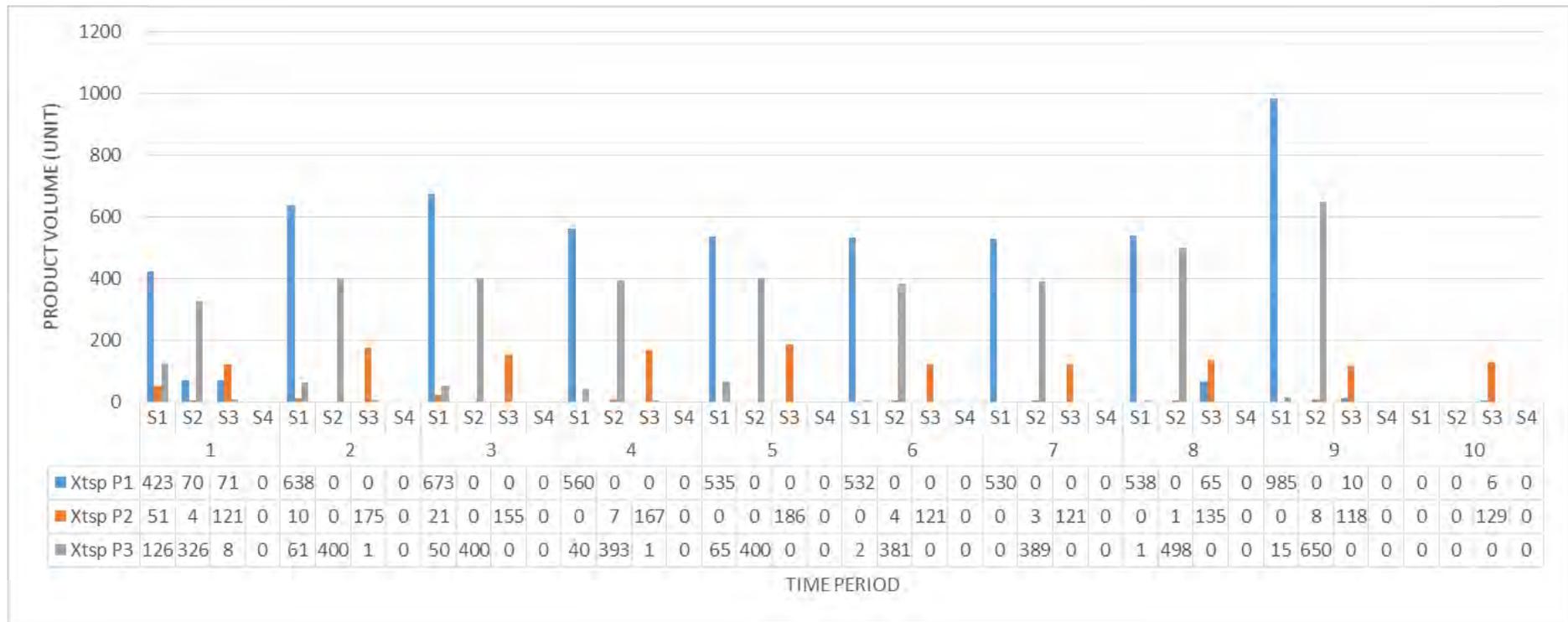
$$\mu_{\tilde{D}_{l=7,10,p=1,2,3}} = \begin{cases} 0.25 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 80; 0.54 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 90; \\ 0.60 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 100; 0.72 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 110; \\ 0.85 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 120; 0.92 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 130; , \\ 1.00 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 140; 0.85 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 150; \\ 0.75 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 160; 0.40 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 170; \end{cases}$$

$$\mu_{\tilde{D}_{l=8,p=1,2,3}} = \begin{cases} 0.10 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 320; 0.54 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 345; \\ 0.72 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 370; 0.75 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 380; \\ 1.00 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 400; 0.90 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 410; . \\ 0.80 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 415; 0.65 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 425; \\ 0.52 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 430; 0.45 \text{ if } \tilde{D}_{tp} = 440. \end{cases}$$

Fungsi (6) dengan 10 periode diselesaikan dengan LINGO 16.0 pada sistem operasi Windows 8 dengan 4 GB memori dan AMD A6 2.7 GHz of processor. Hasilnya disajikan pada Gambar. 6.2.

Gambar 6.2 menggambarkan keputusan optimal alokasi pembelian untuk tiap-tiap pemasok sehingga didapatkan total biaya yang paling minimum. Sebagai contoh pada periode 1, P1 dibeli sebanyak 423 unit dari pemasok 1, 70 unit dari pemasok 3 dan 71 unit dari pemasok 4. Untuk produk 2, pesanan pada periode 1 diberikan kepada pemasok 1 sebanyak 51 unit, pemasok 2 sebanyak 4 unit dan pemasok 3 sebanyak 121 unit. Sedangkan untuk P3, pemasok 1 mendapat alokasi 126 unit, pemasok 2 sebanyak 326 unit dan pemasok 3 sebanyak 8 unit. Total biaya procurement adalah 613468.

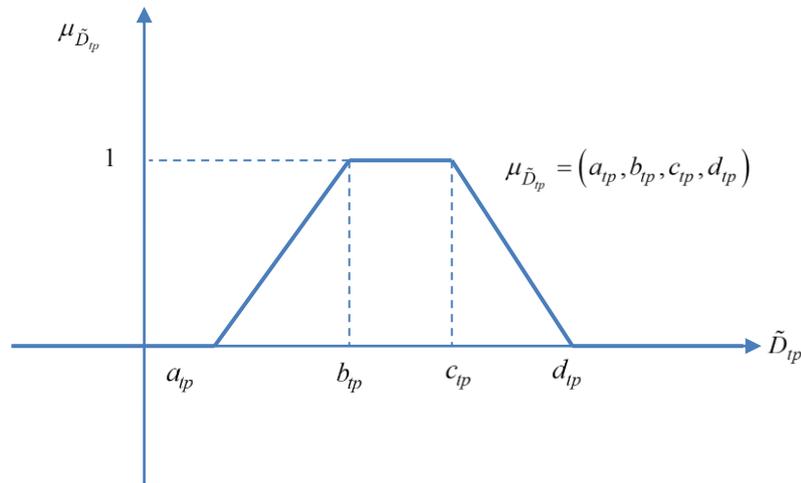
**Contoh Numerik 2 (Fungsi keanggotaan trapezoidal).** Permintaan  $\tilde{D}_{ip}$  adalah variabel *fuzzy* dengan fungsi keanggotaan trapezoidal seperti digambarkan Gambar. 6.3 dengan nilai-nilai dari  $a_{ip}, b_{ip}, c_{ip}, d_{ip}$  tersedia pada Tabel 6.7. Dengan melakukan evaluasi fungsi (6) untuk 10 periode dimana permintaan mengikuti fungsi keanggotaan trapezoidal seperti pada Gambar 6.3, didapatkan strategi pembelian yang optimal seperti pada Gambar 6.4. Dari Gambar 6.4, pada periode 1 pemasok 1 mendapatkan alokasi sebanyak 273 unit P1 dan 1 unit P2. Pemasok 2 mendapatkan alokasi sebanyak 180 unit P3. Sedangkan pemasok 4 mendapatkan alokasi sebanyak 1 unit P1 dan 76 unit P2. Strategi yang optimal untuk periode 1 sampai dengan 10 didapatkan seperti cara tersebut. Biaya total procurement untuk semua periode adalah 259288.



Gambar. 6.2 Alokasi produk untuk tiap pemasok periods 1 - 10.

Tabel 6.7 Fungsi Keanggotaan Trapezoidal dari  $\tilde{D}_{ip}$

Periode	Produk	Fungsi Keanggotaan Trapezoidal dari $\tilde{D}_{ip}$ i.e.				Nilai Expektasi
		$a_{ip}$	$b_{ip}$	$c_{ip}$	$d_{ip}$	
1	P1	100	200	250	350	225
	P2	40	60	70	120	72.5
	P3	50	150	200	280	170
2	P1	100	200	250	350	225
	P2	40	60	70	120	72.5
	P3	50	150	200	280	170
3	P1	100	200	250	350	225
	P2	40	60	70	120	72.5
	P3	50	150	200	280	170
4	P1	100	200	250	350	225
	P2	40	60	70	120	72.5
	P3	50	150	200	280	170
5	P1	100	200	250	350	225
	P2	40	60	70	120	72.5
	P3	50	150	200	280	170
6	P1	100	200	250	350	225
	P2	40	60	70	120	72.5
	P3	50	150	200	280	170
7	P1	100	200	250	350	225
	P2	40	60	70	120	72.5
	P3	50	150	200	280	170
8	P1	100	200	250	350	225
	P2	40	60	70	120	72.5
	P3	50	150	200	280	170
9	P1	100	200	250	350	225
	P2	40	60	70	120	72.5
	P3	50	150	200	280	170
10	P1	100	200	250	350	225
	P2	40	60	70	120	72.5
	P3	50	150	200	280	170



Gambar 6.3 Fungsi Keanggotaan Trapezoidal  $\mu_{\tilde{D}_p} = (a_p, b_p, c_p, d_p)$

### 6.3.2 Diskusi

Permintaan pada model pertama ditentukan dengan mengubah-ubah koefisien variansi agar permintaan tidak stasioner. Hal ini dapat dilakukan jika data-data permintaan masa lalu tersedia sehingga akan dapat ditentukan rata-rata permintaan beserta variansinya. Sedangkan pada model ketiga, permintaan didapatkan dari pengambil kebijakan menentukan parameter fuzzy, sehingga jika pengambil kebijakan tidak memiliki data-data permintaan masa lampau maka permintaan tetap dapat ditentukan. Pendekatan yang digunakan adalah teori *belief degree* untuk memperkirakan nilai ketidakpastian dari variabel. Penggunaan variabel *fuzzy* merupakan pendekatan *belief degree* yang sederhana. Pembuat keputusan dapat menentukan nilai ketidakpastian dengan pendekatan fungsi keanggotaan.

Dari dua contoh diatas dapat dibuat diskusi sebagai berikut; untuk contoh pertama pengambil keputusan harus memutuskan beberapa nilai diskret dari permintaan dengan nilai keanggotaan positif serta nilai keanggotaan nol. Pada contoh 2, pengambil keputusan harus menentukan fungsi keanggotaan dari permintaan yang mengikuti segmen garis pada bentuk trapezoidal. Contoh pertama menggunakan fungsi keanggotaan diskret akan lebih mudah diaplikasikan karena pengambil keputusan hanya perlu menentukan permintaan dan nilai keanggotaannya. Untuk contoh 2, pengambil keputusan harus menentukan batas bawah yang memiliki nilai keanggotaan 0, pertengahan batas bawah dan pertengahan batas atas yang memiliki nilai keanggotaan 1 dan batas atas yang memiliki nilai keanggotaan 0 dengan mengikuti fungsi trapezoidal. Artinya fungsi keanggotaan untuk permintaan diantara titik-titik tersebut tidak ditentukan oleh pengambil keputusan, karena mengikuti fungsi trapezoidal seperti Gambar 6.3. Oleh karena itu tidak merepresentasikan kondisi aktual.

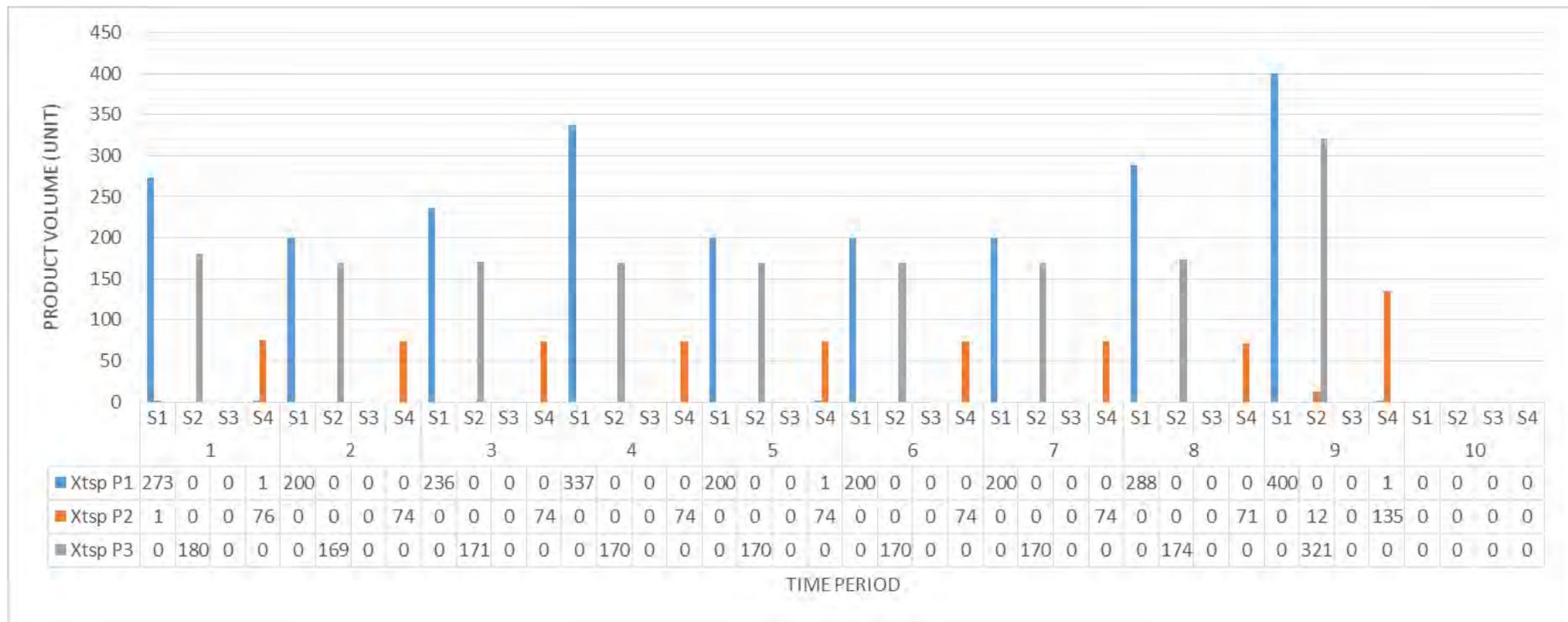
Jika dibandingkan penentuan permintaan antara model pertama dan ketiga, maka model ketiga lebih tepat diaplikasikan pada dunia nyata, karena peran pengambil keputusan sangat penting untuk merespon permintaan yang dinamis. Sedangkan jika digunakan permintaan pada model pertama yang didasarkan pada data masa lampau akan dihasilkan permintaan yang cenderung statis. Sehingga jika permintaan suatu produk memiliki ketidakpastian yang tinggi, maka lebih tepat jika penentuan permintaan menggunakan variabel fuzzy.

#### **6.4 Kesimpulan**

Dynamic supplier selection problem memepertimbangkan full truck load dengan permintaan fuzzy telah berhasil diselesaikan. Model matematika pada *expected value based fuzzy programming* digunakan untuk menentukan strategi yang optimal yaitu volume produk yang optimal dibeli dari pemasok terpilih untuk setiap periode.

Langkah-langkah penyelesaian masalah adalah pertama-tama pengambil kebijakan harus mengidentifikasi parameter *fuzzy*, kemudian mennetukan nilai fungsi keanggotaan pada tiap-tiap parameter fuzzy. Kemudia dihitung nilai harapan untuk tiap-tiap parameter fuzzy serta kemudian memasukkannya ke dalam model matematik. Dua contoh numerik telah dijalankan. Dan hasilnya, permasalahan dapat diselesaikan dengan model usulan dan keputusan optimal dapat dicapai.

Model ketiga ini lebih tepat diaplikasikan ketika permintaan memiliki ketidakpastian yang tinggi, karena pengambil keputusan akan dapat merespon dengan cepat perubahan-perubahan yang terjadi pada permintaan. Sehingga dalam prakteknya, pengambil kebijakan akan dapat dengan tepat memenuhi permintaan pelanggan yang tidak pasti.



Gambar 6.4 Volume alokasi produk yang optimal pada contoh 2

## BAB 7

### DISKUSI, RINGKASAN DAN KESIMPULAN

Pada bagian ini akan dijelaskan diskusi dari model pertama, model kedua dan model ketiga. Diskusi ini menjelaskan keterkaitan antara model DSSP yang diusulkan serta menjawab pertanyaan penelitian pada Bab 1. Disamping itu dipaparkan pula kesimpulan dari hasil penelitian, kontribusi teoritis penelitian, penelitian selanjutnya yang dapat dikerjakan serta implikasi manajerial dari penelitian.

#### 7.1 Diskusi dan Ringkasan

Penelitian ini mengangkat tema model optimasi *dynamic supplier selection problem*. Model pertama pada Bab IV membahas permasalahan bagaimana pamanufaktur melakukan pengadaan untuk multi produk dari multi pemasok dalam jangka waktu multi periode dengan mempertimbangkan pengiriman *full truck load* (FTL) dari pemasok ke pamanufaktur. Model kedua pada Bab V membahas bagaimana pamanufaktur melakukan pengadaan untuk multi produk dari multi pemasok dalam jangka waktu multi periode diintegrasikan dengan pemilihan *carrier*. Sedangkan pada model 3 membahas *dynamic supplier selection problem* mempertimbangkan *full truck load* dengan dan permintaan tidak pasti dengan memformulasi model matematika pada optimasi linier *fuzzy*.

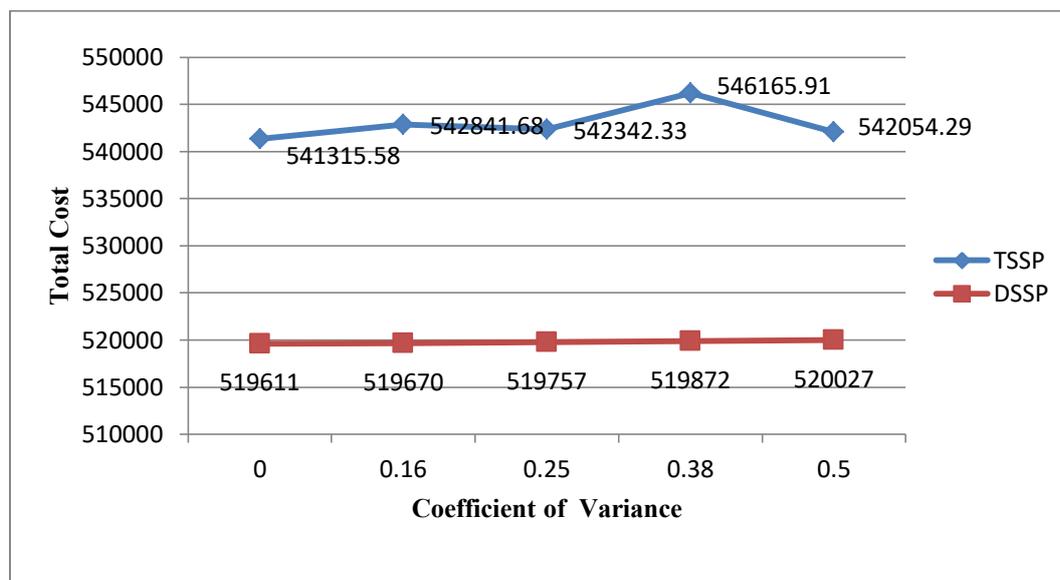
Model 1 pada Bab IV digunakan untuk menjawab pertanyaan penelitian pertama yaitu apakah sebaiknya menggunakan DSPP atau TSSP pada kondisi dimana permintaan mengikuti pola permintaan *non stationary* seperti yang direpresentasikan dengan semakin besarnya *coefficient of variance*. DSSP pada kasus ini adalah pengadaan yang dilakukan dengan mempertimbangkan horizon multi periode, sehingga pengadaan untuk tiap-tiap periode sangat dinamis perubahannya. DSSP dijalankan pada model 1 dengan melakukan optimasi untuk 6 periode sekaligus dengan menggunakan software LINGO. Hasil dari optimasi DSSP dapat dilihat pada lampiran.

Sedangkan pada kasus TSSP, pengadaan dilakukan untuk tiap satu periode. TSSP dijalankan pada model 1 dengan melakukan optimasi tiap periode. Hasil optimasi pada periode pertama digunakan sebagai masukan optimasi periode kedua dan seterusnya sampai

dengan periode 6. Model TSSP dijalankan menggunakan software LINGO dan hasilnya dapat dilihat pada lampiran.

Model 1 DSSP selanjutnya dikembangkan menjadi model 2 DSSP. Model 1 DSSP menggunakan tiga indeks yaitu pemasok, produk dan periode sedangkan pada model 2 DSSP menggunakan 4 indeks yaitu pemasok, produk, periode dan *carrier*. Perbedaan model 1 dan model 2 terdapat pula pada biaya transportasi. Biaya transportasi pada model 1 menggunakan biaya *full truck load* (FTL), sehingga total biaya transportasi dihitung dari frekuensi pengiriman oleh truk dikalikan biaya FTL dari pemasok ke pembeli. Model 1 tidak terdapat konsolidasi pengiriman diantara pemasok. Sedangkan biaya transportasi model 2 DSSP dihitung menggunakan biaya transportasi per unit produk menggunakan *carrier* dari pemasok dikalikan dengan jumlah produk yang dipesan dari pemasok. Sehingga konsolidasi pengiriman pada model 2 akan dapat dijalankan.

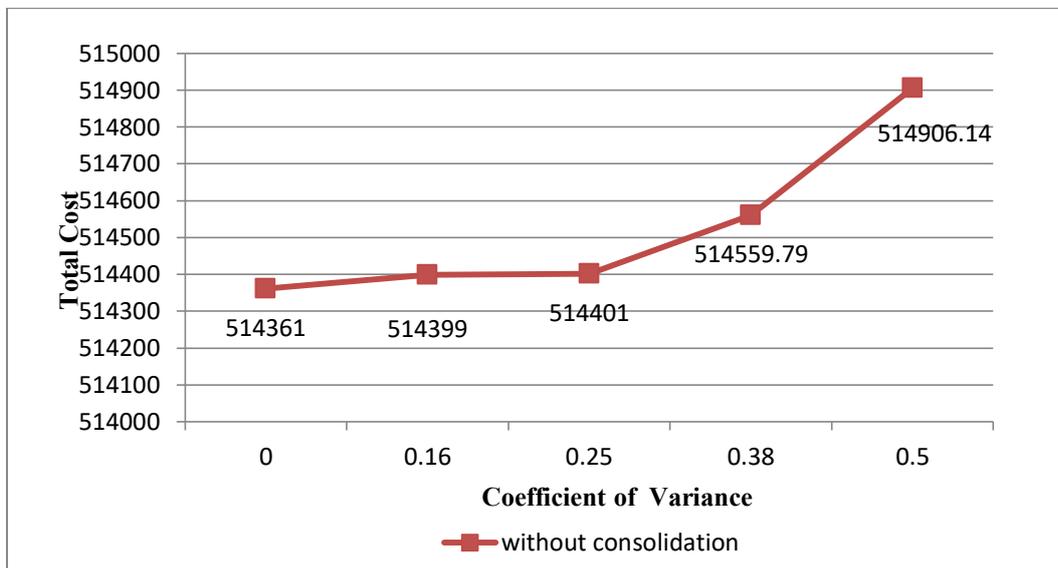
Berdasarkan *numerical example* pada Bab IV, didapatkan hasil perbandingan antara DSSP dengan TSSP yang dapat dilihat pada Gambar 7.1. Baik untuk TSSP maupun DSSP, biaya pengadaan akan semakin meningkat dengan meningkatnya *coefficient of variance*, hal ini dapat diartikan dengan pola permintaan yang makin tidak teratur akan meningkatkan biaya pengadaan. Sedangkan total biaya pengadaan untuk DSSP lebih kecil dibandingkan dengan TSSP untuk semua tingkat *coefficient of variance*.



Gambar 7.1 Perbandingan DSSP dengan TSSP

Pada model 2 parameter input permintaan *non stationary* dimasukkan ke dalam model 2 dengan konsolidasi pengiriman antar semua pemasok oleh *carrier* yang mengikuti pola permintaan seperti *sinusoidal*, *life cycle* dan *erratic* yang direpresentasikan dengan semakin besarnya *coefficient of variance*. Pada Gambar 5.2 disajikan pengaruh pola permintaan pada model 2 dengan konsolidasi. Hasilnya adalah biaya pengadaan akan semakin meningkat dengan meningkatnya *coefficient of variance*, hal ini dapat diartikan dengan pola permintaan yang makin tidak teratur akan meningkatkan biaya pengadaan.

Parameter input permintaan *non stationary* dimasukkan pula ke dalam model 2 dengan tidak ada konsolidasi pengiriman antar pemasok dengan *carrier* yang mengikuti pola permintaan seperti *sinusoidal*, *life cycle* dan *erratic* yang direpresentasikan dengan semakin besarnya *coefficient of variance*. Pada Gambar 7.2 disajikan pengaruh pola permintaan pada model 2 dengan tanpa konsolidasi. Hasilnya adalah biaya pengadaan akan semakin meningkat dengan meningkatnya *coefficient of variance*, hal ini dapat diartikan dengan pola permintaan yang makin tidak teratur akan meningkatkan biaya pengadaan.



Gambar 7.2 Pengaruh *coefficient of variance* model 2 tanpa konsolidasi

Kemudian, dilakukan analisis sensitivitas untuk menjawab pertanyaan penelitian ke dua yaitu apakah pembelian FOB Origin sebaiknya dilakukan dengan konsolidasi atau tanpa konsolidasi dengan membandingkan menggunakan model 2. Konsolidasi pada kasus ini adalah pengiriman untuk semua produk dari semua pemasok dikonsolidasikan oleh tiap-tiap *carrier* sedangkan non konsolidasi pada kasus ini adalah pengiriman pesanan semua produk dari setiap pemasok dikirim oleh *carrier* terpilih.

Berdasarkan numerical example yang dilakukan pada Bab V didapatkan hasil, perbedaan biaya pengadaan antara konsolidasi dengan tanpa konsolidasi pengiriman tidak berbeda signifikan untuk tiap *coefficient of variance*. Namun demikian pesanan untuk pemasok dan pemilihan *carrier* yang akan mengirim produk dari pemasok untuk konsolidasi dan non konsolidasi hasilnya berbeda dengan rincian dapat dilihat dalam lampiran. Sehingga dari model 2 ini, masih perlu dikembangkan untuk menangkap fenomena konsolidasi dan non konsolidasi. Salah satu yang belum dipertimbangkan dalam model ini adalah jarak antara pemasok dengan pembeli, yang akan signifikan jika ditinjau menjadi salah satu biaya penentu konsolidasi. Disamping itu, model DSSP dengan *carrier* yang mempertimbangkan FTL perlu dikembangkan lebih lanjut agar fenomena konsolidasi dapat diaplikasikan.

Model 3 dikembangkan dari model 1 mempertimbangkan kondisi ketidakpastian permintaan dengan menggunakan variabel fuzzy. Berdasarkan model ini pengambil keputusan harus memutuskan beberapa nilai fungsi keanggotaan diskret dari permintaan dengan nilai keanggotaan positif serta nilai keanggotaan nol. Lebih lanjut, bisa juga pengambil keputusan menentukan fungsi keanggotaan dari permintaan yang mengikuti segmen garis pada bentuk trapezoidal. Fungsi keanggotaan diskret akan lebih mudah diaplikasikan karena pengambil keputusan hanya perlu menentukan permintaan dan nilai keanggotaannya. Sedangkan fungsi trapezoidal, pengambil keputusan harus menentukan batas bawah yang memiliki nilai keanggotaan 0, pertengahan batas bawah dan pertengahan batas atas yang memiliki nilai keanggotaan 1 dan batas atas yang memiliki nilai keanggotaan 0 dengan mengikuti fungsi trapezoidal. Artinya fungsi keanggotaan untuk permintaan diantara titik-titik tersebut tidak ditentukan oleh pengambil keputusan, karena mengikuti fungsi trapezoidal, oleh karena itu tidak merepresentasikan kondisi aktual.

## 7.2 Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

- Menghasilkan tiga model DSSP yang pertama adalah model DSSP yang mempertimbangkan pengiriman FTL, yang kedua adalah model DSSP yang diintegrasikan dengan pemilihan *carrier*, sedangkan yang ketiga adalah model DSSP yang mempertimbangkan pengiriman FTL dan permintaan yang tidak pasti.
- DSSP akan lebih baik dilakukan untuk praktisi pengadaan dibandingkan TSSP pada kondisi permintaan mengikuti pola permintaan *non stationary* karena biaya yang

pengadaan yang dihasilkan melalui DSSP lebih kecil dibandingkan jika menggunakan TSSP.

- Model DSSP dengan pemilihan *carrier* menghasilkan alokasi pesanan kepada pemasok dan pemilihan *carrier* yang berbeda antara strategi konsolidasi dan non konsolidasi, namun demikian biaya procurement yang dikeluarkan tidak berbeda signifikan diantara dua strategi tersebut.
- Genetic Algorithm dan prosedurnya dapat digunakan untuk menyelesaikan DSSP yang ukurannya lebih besar dengan semakin bertambahnya jumlah periode, produk dan pemasok yang akan mengakibatkan software komersial tidak mampu menyelesaikannya.

### 7.3 Kontribusi Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa kontribusi teoritis diantaranya :

- Penelitian ini mengusulkan model *mixed integer linear programming* (MILP) untuk mengintegrasikan *dynamic supplier selection problem* dengan pemilihan *carrier*. Penelitian ini memiliki kontribusi dalam literatur karena belum ada penelitian sebelumnya yang mempertimbangkan pemilihan *carrier* pada model DSSP.
- Penelitian ini telah mengembangkan *genetic algorithm* dan prosedurnya untuk menyelesaikan DSSP yang pada literatur sebelumnya belum ada yang menyelesaikan DSSP dengan metode heuristic.
- Untuk menyikapi ketidakpastian permintaan, model *dynamic supplier selection problem* mempertimbangkan *full truck load* telah dikembangkan dengan optimasi linier fuzzy.

### 7.4 Penelitian Berikutnya

Penelitian ini masih terdapat beberapa keterbatasan yang menjadi peluang untuk penelitian berikutnya. Penelitian berikutnya dapat dilakukan sebagai berikut :

- Mengembangkan model DSSP dengan seleksi *carrier* mengabaikan keterlambatan pengiriman oleh *carrier*, yang dapat menjadi peluang penelitian yang akan datang.
- Mengembangkan model DSSP dengan seleksi *carrier* yang mempertimbangkan FTL.
- Mengembangkan model DSSP dengan seleksi *carrier* yang mempertimbangkan *discount*.
- Mengembangkan model DSSP dengan seleksi *carrier* dengan penyelesaian heuristic

- Meneliti perilaku ketidakpastian dalam rantai pasok dan keandalan tiap pihaknya. Pertanyaan manakah *carrier* yang harus dipilih ketika masing-masing memiliki keandalan yang berbeda-beda memerlukan penelitian lebih lanjut.

## 7.5 Implikasi Manajerial

Beberapa implikasi manajerial yang dapat diuraikan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Model yang diusulkan pada Bab IV berusaha menyelesaikan bagaimana pamanufaktur melakukan pengadaan untuk multi produk dari multi pemasok dalam jangka waktu multi periode dengan mempertimbangkan pengiriman *full truck load* (FTL) dari pemasok ke pamanufaktur. Pengambil keputusan dapat menentukan pemasok yang tepat dan memecah *lotsize* pemesanan kepada pemasok terpilih dengan mempertimbangkan pengiriman *Full Truck Load* selama horison waktu perencanaan.
2. Model yang diusulkan pada Bab V dapat diaplikasikan untuk menentukan secara simultan *lot size* pembelian kepada pemasok terpilih dan *carrier* yang mengirim produk dari pemasok terpilih. Model ini merepresentasikan situasi dunia nyata, dimana keputusan dinamis harus dibuat selama periode perencanaan yang terkait dengan pengadaan produk dan transportasinya dari pemasok. Pada faktanya, permintaan tidak pernah konstan dan pengiriman tidak 100% diandalkan, oleh karena itu mempertimbangkan keterlambatan dan kualitas menjadi hal yang penting.
3. Model yang diusulkan pada Bab VI dapat menangani ketidakpastian permintaan yang dialami oleh pengambil keputusan. Model matematika pada *expected value based fuzzy programming* dapat diterapkan untuk menentukan strategi yang optimal yaitu volume produk yang optimal dibeli dari pemasok terpilih untuk setiap periode.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aguezzoul, A. and Ladet, P. (2007) 'A nonlinear multiobjective approach for the supplier selection integrating transportation policies', *Journal of Modelling in Management*, 2(2), pp. 157–169.
- Ahmad, M. T. and Mondal, S. (2016) 'Dynamic supplier selection model under two-echelon supply network', *Expert Systems with Applications*, 65, pp. 255–270.
- Aissaoui, N., Haouari, M. and Hassini, E. (2007) 'Supplier selection and order lot sizing modeling: A review', *Computer & operation research*, 34, pp. 3516–3540. doi: 10.1016/j.cor.2006.01.016.
- Amorim, P., Curcio, E., Almada-Lobo, B., Barbosa-Póvoa, A. P. F. D. and Grossmann, I. E. (2016) 'Supplier selection in the processed food industry under uncertainty', *European Journal of Operational Research*, 252(3), pp. 801–814. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.02.005>.
- Angkiriwang, R., Pujawan, I. N., & Santosa, B. (2014) 'Managing uncertainty through supply chain flexibility: reactive vs. proactive approaches', *Production & Manufacturing Research*, Vol. 2, No. 1, pp. 50-70.
- Awasthi, A., Chauhan, S. S., Goyal, S. K. and Proth, J. (2009) 'Supplier selection problem for a single manufacturing unit under stochastic demand', *Intern. Journal of Production Economics*, 117, pp. 229–233.
- Ayhan, M. B. and Kilic, H. S. (2015) 'A two stage approach for supplier selection problem in multi-item multi-supplier environment with quantity discounts', *Computers & Industrial Engineering*. Elsevier Ltd, 85, pp. 1–12. doi: 10.1016/j.cie.2015.02.026.
- Ballou, R. H. (2003) *Business Logistics/Supply Chain Management*. 5th edn. Prentice Hall.
- Basnet, C. and Leung, J. M. Y. (2005) 'Inventory lot-sizing with supplier selection', *Computer & Operation Research*, 32, pp. 1–14. doi: 10.1016/S0305-0548(03)00199-0.
- Bilsel, R. U. and Ravindran, A. (2011) 'A multiobjective chance constrained programming model for supplier selection under uncertainty', *Transportation Research Part B: Methodological*. Elsevier Ltd, 45(8), pp. 1284–1300. Available at:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.trb.2011.02.007>.

Boer, L. De, Labro, E. and Morlacchi, P. (2001) 'A review of methods supporting supplier selection', *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 7(2), pp. 75–89.

Burke, G. J., Carrillo, J. E. and Vakharia, A. J. (2007) 'Single versus multiple supplier sourcing strategies', *European Journal of Operational Research*, 182, pp. 95–112.

Cárdenas-Barrón, L. E., González-Velarde, J. L. and Treviño-Garza, G. (2015) 'A new approach to solve the multi-product multi-period inventory lot sizing with supplier selection problem', *Computers & Operations Research*. Elsevier, 64, pp. 225–232. doi: 10.1016/j.cor.2015.06.008.

Chopra, S. and Meindl, P. (2010) *Supply chain management: Strategy, planning, and operations*. 4th editio. New Jersey: Prentice-Hall.

Choudhary, D. and Shankar, R. (2011) 'Modeling and analysis of single item multi-period procurement lot-sizing problem considering rejections and late deliveries', *Computers & Industrial Engineering*. Elsevier Ltd, 61, pp. 1318–1323. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2011.08.005>.

Choudhary, D. and Shankar, R. (2013) 'Joint decision of procurement lot-size, supplier selection and carrier selection', *Journal of Purchasing and Supply Management*. Elsevier, 19, pp. 16–26. doi: 10.1016/j.pursup.2012.08.002.

Choudhary, D. and Shankar, R. (2014) 'A goal programming model for joint decision making of inventory lot-size, supplier selection and carrier selection', *Computers & Industrial Engineering*. Elsevier Ltd, 71, pp. 1–9. doi: 10.1016/j.cie.2014.02.003.

Christopher, M. (2011) *Logistics & Supply Chain Management*. fourth edi. Dorset: Prentice Hall.

Das, S. K. and Abdel-malek, L. (2003) 'Modeling the flexibility of order quantities and lead-times in supply chains', *International Journal of Production Economics*, 85(2), pp. 171–181.

Demirtas, E. A. and Ustun, O. (2009) 'Analytic network process and multi-period goal programming integration in purchasing decisions', *Computers & Industrial Engineering*. Elsevier Ltd, 56(2), pp. 677–690. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2006.12.006>.

Dickson, G. W. (1966) 'An analysis of vendor selection systems and decisions', *Journal of purchasing*, 2(1), pp. 5–17.

Ganeshan, R., Tyworth, J. E. and Guo, Y. (1999) 'Dual sourced supply chains : the discount supplier option', *Transportation Research Part E*, 35, pp. 11–23.

Gentry, J. J. and Farris, M. T. (1992) 'The Increasing Importance of Purchasing in Transportation Decision Making', *Transportation Journal*, 32(1), pp. 61–71.

Ghaniabadi, M. and Mazinani, A. (2017) 'Dynamic lot sizing with multiple suppliers, backlogging and quantity discounts', *Computers and Industrial Engineering*, 110, pp. 67–74.

Ghodsypour, S. H. and Brien, C. O. (2001) 'The total cost of logistics in supplier selection, under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity constraint', *Intern. Journal of Production Economics*, 73, pp. 15–27.

Gottfredson, M., Puryear, R. and Phillips, S. (2005) 'Strategic Sourcing From Periphery to the Core', *Harvard Business Review*, February, pp. 1–10.

Guo, C. and Li, X. (2014) 'A multi-echelon inventory system with supplier selection and order allocation under stochastic demand', *Intern. Journal of Production Economics*. Elsevier, 151, pp. 37–47. doi: 10.1016/j.ijpe.2014.01.017.

Gupta, P., Govindan, K., Mehlawat, M. K. and Kumar, S. (2016) 'A weighted possibilistic programming approach for sustainable vendor selection and order allocation in fuzzy environment', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 86, pp. 1785–1804.

Hamdan, S. and Cheaitou, A. (2017) 'Dynamic green supplier selection and order allocation with quantity discounts and varying supplier availability', *Computers & Industrial Engineering*, 110, pp. 573–589.

Hong, G. H., Park, S. C., Jang, D. S. and Rho, H. M. (2005) 'An effective supplier selection method for constructing a competitive supply-relationship', *Expert Systems With Applications*, 28, pp. 629–639.

Hong, J. and Hayya, J. C. (1992) 'Just-In-Time purchasing : Single or multiple sourcing?', *Intern. Journal of Production Economics*, 27, pp. 175–181.

Izadikhah, M. (2012) 'Group decision making process for supplier selection with TOPSIS method under interval-valued intuitionistic fuzzy numbers', *Advances in Fuzzy Systems*, 2012(January).

Jadidi, O., Zolfaghari, S. and Cavalieri, S. (2014) 'A new normalized goal programming model for multi-objective problems: A case of supplier selection and order allocation', *Intern. Journal of Production Economics*. Elsevier, 148, pp. 158–165. doi: 10.1016/j.ijpe.2013.10.005.

Jauhari, W. A., Dwicahyani, A. R. and Kurdhi, A. N. (2017) 'Lot sizing decisions in a close-loop supply chain system with remanufacturing', *International Journal of Procurement Management*, 10(3), pp. 381–409.

Jolai, F., Ahmad, S., Shahanaghi, K. and Azari, M. (2011) 'Integrating fuzzy TOPSIS and multi-period goal programming for purchasing multiple products from multiple suppliers', *Journal of Purchasing and Supply Management*. Elsevier, 17, pp. 42–53. doi: 10.1016/j.pursup.2010.06.004.

Kafa, N., Hani, Y. and El Mhamedi, A. (2017) 'Evaluating and selecting partners in sustainable supply chain network: a comparative analysis of combined fuzzy multi-criteria approaches', *Opsearch*, pp. 1–36.

Kara, S. S. (2011) 'Supplier selection with an integrated methodology in unknown environment', *Expert Systems With Applications*. Elsevier Ltd, 38, pp. 2133–2139. doi: 10.1016/j.eswa.2010.07.154.

Karimia, B., Ghomia, S. M. T. F. and Wilson, J. M. (2003) 'The capacitated lot sizing problem: a review of models and algorithms', *Omega*, 31, pp. 365–378.

Kaur, H. and Singh, S. P. (2017) 'Flexible dynamic sustainable procurement model', *Annals of Operations Research*, pp. 1–41.

Kraljic, P. (1983) 'Purchasing must become supply management', *Harvard Business Review*, September.

Landry, M., Malouin, J.-L. and Oral, M. (1983) 'Model validation in operations research', *European Journal of Operational Research*, 14, pp. 207–220.

Lee, H. L. (2004) 'The Triple-A Supply Chain', *Harvard Business Review*, October, pp. 1–

12.

Liao, Z. and Rittscher, J. (2007a) 'A multi-objective supplier selection model under stochastic demand conditions', *Intern. Journal of Production Economics*, 105, pp. 150–159.

Liao, Z. and Rittscher, J. (2007b) 'Integration of supplier selection, procurement lot sizing and carrier selection under dynamic demand conditions', *Intern. Journal of Production Economics*, 107, pp. 502–510.

Liu, B. (2007) *Uncertainty Theory, Studies in Fuzziness and Soft Computing*. doi: 10.1007/978-3-662-44354-5.

Liu, B. (2009) *Theory and Practice of Uncertain Programming*. 2nd edn. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Liu, B. and Liu, Y. K. (2002) 'Expected value of fuzzy variable and fuzzy expected value models', *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 10(4), pp. 445–450. doi: 10.1109/TFUZZ.2002.800692.

Luo, X., Wu, C., Rosenberg, D. and Barnes, D. (2009) 'Supplier selection in agile supply chains: An information-processing model and an illustration', *Journal of Purchasing and Supply Management*. Elsevier, 15, pp. 249–262. doi: 10.1016/j.pursup.2009.05.004.

Mansini, R., Savelsbergh, M. W. P. and Tocchella, B. (2012) 'The supplier selection problem with quantity discounts and truckload shipping', *Omega*. Elsevier, 40, pp. 445–455. doi: 10.1016/j.omega.2011.09.001.

Mazdeh, M. M., Emadikhiav, M. and Parsa, I. (2015) 'A heuristic to solve the dynamic lot sizing problem with supplier selection and quantity discounts', *Computers and Industrial Engineering*, 85, pp. 33–43.

Meena, P. L. and Sarmah, S. P. (2013) 'Multiple sourcing under supplier failure risk and quantity discount: A genetic algorithm approach', *Transportation Research Part E*. Elsevier Ltd, 50, pp. 84–97. doi: 10.1016/j.tre.2012.10.001.

Memon, M. S., Lee, Y. H. and Mari, S. I. (2015) 'Group multi-criteria supplier selection using combined grey systems theory and uncertainty theory', *Expert Systems with Applications*. Elsevier Ltd, 42(21), pp. 7951–7959. doi: 10.1016/j.eswa.2015.06.018.

Mendoza, A. and Ventura, J. A. (2010) 'A serial inventory system with supplier selection and order quantity allocation', *European Journal of Operational Research*. Elsevier B.V., 207, pp. 1304–1315. doi: 10.1016/j.ejor.2010.06.034.

Moghaddam, K. S. (2015) 'Fuzzy multi-objective model for supplier selection and order allocation in reverse logistics systems under supply and demand uncertainty', *Expert Systems with Applications*. Elsevier Ltd, 42(15–16), pp. 6237–6254. doi: 10.1016/j.eswa.2015.02.010.

Mokadem, M. El (2017) 'The classification of supplier selection criteria with respect to lean or agile manufacturing strategies Mohamed', *Journal of Manufacturing Technology Management*, 28(2), pp. 232–249.

Mols, N. P. (2017) 'Concurrent sourcing and supplier opportunism', *International Journal of Procurement Management*, 10(1), pp. 89–105.

Naim, M. M., Potter, A. T., Mason, R. J. and Bateman, N. (2006) 'The role of transport flexibility in logistics provision', *The International Journal of Logistics Management*, 17(3), pp. 297–311.

Pazhani, S., Ventura, J. A. and Mendoza, A. (2016) 'A serial inventory system with supplier selection and order quantity allocation considering transportation costs', *Applied Mathematical Modelling*. Elsevier Inc., 40(1), pp. 612–634. doi: 10.1016/j.apm.2015.06.008.

Pujawan, I. N. (2004) 'Assessing supply chain flexibility: a conceptual framework and case study', *International Journal Integrated Supply Management*, 1(1), pp. 79–97.

Pujawan, I. N. and Er, M. (2010) *Supply Chain Management*. 2nd edn. Edited by I. K. Gunarta. Surabaya: Guna Widya.

Rezaei, J. and Davoodi, M. (2008) 'A deterministic multi-item inventory model with supplier selection and imperfect quality', *Applied Mathematical Modelling*, 32, pp. 2106–2116. doi: 10.1016/j.apm.2007.07.009.

Rezaei, J. and Davoodi, M. (2011) 'Multi-objective models for lot-sizing with supplier selection', *Intern. Journal of Production Economics*. Elsevier, 130, pp. 77–86. doi: 10.1016/j.ijpe.2010.11.017.

Rommelfanger, H. (1996) 'Fuzzy linear programming and applications', 2217(95).

Santosa, B. and Willy, P. (2011) *Metoda metaheuristik; konsep dan implementasi*. 1st edn. Surabaya: Guna Widya.

Silver, E. A., Pyke, D. F. and Peterson, R. (1998) *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. 3th edn. New York: John Wiley & Sons.

Simchi-Levi, D., Kaminski, P. and Simchi-Levi, E. (2000) *Designing and managing the supply chain: Concept, strategies, and case studies*. Irwin McGraw-Hill.

Sturgeon, T. J. (2002) *Modular Production Networks : A New American model of Industrial Organization*. Cambridge.

Swenseth, S. R. and Godfrey, M. R. (2002) 'Scott R. Swenseth, Michael R. Godfrey, Incorporating transportation costs into inventory replenishment decisions', *International Journal of Production Economics*, 77(2), pp. 113–130.

Tinnilä, M. and Kallio, J. (2017) 'Division of activities and tasks - challenges and efficient structures for market-based procurement of public transport services', *International Journal of Procurement Management*, 10(3), pp. 360–380.

Trivedi, A., Chauhan, A., Sing, S. P. and Kaur, H. (2017) 'A multi objective integer linear program to integrate supplier selection and order allocation with market demand in a supply chain', *International Journal of Procurement Management*, 10(3), pp. 335–359.

Tunc, H., Kilic, O. A., Tarim, S. A. and Eksioglu, B. (2011) 'The cost of using stationary inventory policies when demand is non-stationary', *Omega*. Elsevier, 39, pp. 410–415. doi: 10.1016/j.omega.2010.09.005.

Tyworth, J. E. and Ruiz-torres, A. (2000) 'Transportation's role in the sole- versus dual-sourcing decision', *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 30(2), pp. 128–144.

Ustun, O. and Demirtas, E. A. (2008a) 'An integrated multi-objective decision-making process for multi-period lot-sizing with supplier selection', *Omega*, 36, pp. 509–521. doi: 10.1016/j.omega.2006.12.004.

Ustun, O. and Demirtas, E. A. (2008b) 'Multi-period lot-sizing with supplier selection using achievement scalarizing functions', *Computers & Industrial Engineering*, 54, pp. 918–931. doi: 10.1016/j.cie.2007.10.021.

- Wadhwa, V. and Ravindran, A. R. (2007) 'Vendor selection in outsourcing', *Computers & operations research*, 34, pp. 3725–3737. doi: 10.1016/j.cor.2006.01.009.
- Ware, N. R., Singh, S. P. and Banwet, D. K. (2014) 'A mixed-integer non-linear program to model dynamic supplier selection problem', *Expert Systems With Applications*. Elsevier Ltd, 41(2), pp. 671–678. doi: 10.1016/j.eswa.2013.07.092.
- Weber, C. A. and Current, J. R. (1993) 'A multiobjective approach to vendor selection', *European Journal of Operational Research*, 68, pp. 173–184.
- Weber, C. A., Current, J. R. and Benton, W. C. (1991) 'Vendor selection criteria and methods', *European Journal of Operational Research*, 50, pp. 2–18.
- Wu, C. and Barnes, D. (2011) 'A literature review of decision-making models and approaches for partner selection in agile supply chains', *Journal of Purchasing and Supply Management*. Elsevier, 17, pp. 256–274. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pursup.2011.09.002>.
- Wu, W., Sukoco, M. B., Li, C. and Chen, S. H. (2009) 'An integrated multi-objective decision-making process for supplier selection with bundling problem', *Expert Systems With Applications*. Elsevier Ltd, 36, pp. 2327–2337. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2007.12.022>.
- Xia, W. and Wu, Z. (2007) 'Supplier selection with multiple criteria in volume discount environments', *Omega*, 35(5), pp. 494–504. doi: 10.1016/j.omega.2005.09.002.
- Yadav, V. and Sharma, M. K. (2016) 'Multi-criteria supplier selection model using the analytic hierarchy process approach', *Journal of Modelling in Management*, 11(1), pp. 326–354.
- Yang, S., Yang, J. and Abdel-malek, L. (2007) 'Sourcing with random yields and stochastic demand: A newsvendor approach', *Computers & operations research*, 34, pp. 3682–3690. doi: 10.1016/j.cor.2006.01.015.
- Zhang, J. and Zhang, M. (2011) 'Supplier selection and purchase problem with fixed cost and constrained order quantities under stochastic demand', *Intern. Journal of Production Economics*. Elsevier, 129, pp. 1–7.

## LAMPIRAN

### FORMULASI MATEMATIKA GENETIC ALGORITHM

$$\begin{aligned}
 \min Z &= \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P X_{tsp} * UP_{sp} + \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S TC_s * S_{ts} + \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S O_s * Z_{ts} + \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S NC_s * W_s + \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P h_p * i_{tp}^+ \\
 &+ \sum_{t=1}^T \sum_{p=1}^P SOC_p * i_{tp}^- + \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P P_p^d * d_{sp} * X_{tsp} + \sum_{t=1}^T \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P P_p^l * l_{sp} * X_{tsp} \\
 &= \left[ UP_{sp} + P_p^d * d_{sp} + P_p^l * l_{sp}, \quad TC_s, \quad O_s, \quad NC_s, \quad h_p, \quad SOC_p \right] \begin{bmatrix} X_{tsp} \\ S_{ts} \\ Z_{ts} \\ W_s \\ i_{tp}^+ \\ i_{tp}^- \end{bmatrix} \\
 &= c'x
 \end{aligned}$$

(1a)

dimana  $x = [X_{tsp}, S_{ts}, Z_{ts}, W_s, i_{tp}^+, i_{tp}^-]'$  dan

$$c = [UP_{sp} + P_p^d * d_{sp} + P_p^l * l_{sp}, \quad TC_s, \quad O_s, \quad NC_s, \quad h_p, \quad SOC_p]'$$

dengan batasan:

$$\begin{aligned}
 t = 1: & \sum_{s=1}^S (1 - l_{tsp} - d_{tsp}) X_{tsp} - i_{tp}^+ + i_{tp}^- \geq D_{tp}, \forall p; \\
 \Leftrightarrow t = 1: & \begin{bmatrix} \underbrace{1 - l(0p+1) - d(0p+1), 0_{1,p-1}, 1 - l(1p+1) - d(1p+1), 0_{1,p-1}, \dots, 1 - l((s-1)p+1) - d((s-1)p+1), 0_{1,p-1}}_{s \text{ times}}, \\ 0_{1,tsp-sp}, 0_{1,t \times s + t \times s + s}, -1, 0_{t \times p-1}, 1, 0_{t \times p-1}; \\ \underbrace{0, 1 - l(2) - d(2), 0_{1,p-2}, 0, 1 - l(p+2) - d(p+2), 0_{1,p-2}, \dots, 0, 1 - l(ps-p+1) - d(ps-p+1), 0_{1,p-2}}_{s \text{ times}}, \\ 0_{1,tsp-sp}, 0_{1,t \times s + t \times s + s}, 0, -1, 0_{t \times p-2}, 0, 1, 0_{t \times p-2}; \\ \vdots \\ \underbrace{0, 0, \dots, 1 - l(p) - d(p), 0, 0, \dots, 1 - l(2p) - d(2p), \dots, 0, 0, \dots, 1 - l(sp) - d(sp)}_{p \text{ times}}, \\ \underbrace{0_{1,tsp-sp}, 0_{1,t \times s + t \times s + s}, 0, 0, \dots, -1, 0_{tp-tp}, 0, 0, \dots, 1, 0_{tp-tp}}_{s \text{ times}}, \\ \underbrace{\hspace{10em}}_{t \times p} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{tsp} \\ S_{ts} \\ Z_{ts} \\ W_s \\ i_{tp}^+ \\ i_{tp}^- \end{bmatrix} \geq D_{tp} \\
 t > 1: & \sum_{s=1}^S l_{(t-1)sp} X_{(t-1)sp} + \sum_{s=1}^S (1 - l_{tsp} - d_{tsp}) X_{tsp} + i_{(t-1)p}^+ - i_{tp}^+ - i_{(t-1)p}^- + i_{tp}^- \geq D_{tp};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \dots \\
\Leftrightarrow t > 1: & \left[ \begin{array}{l}
\underbrace{l(1), 1-l(2)-d(2), 0_{1,p-2}, l(p+1), (1-l(p+2)-d(p+2), 0_{1,p-2}, \dots, l((s-1)p+1), 1-l(ps-p+2)-d(ps-p+2), 0_{1,p-2}}_{s \text{ times}} \\
, 0_{1,isp-sp}, 0_{1,t \times s+t \times s+s}, 1, 0_{1,p-1}, -1, 0_{1,p-1}, 0_{t \times p-2p}, -1, 0_{1,p-1}, 1, 0_{1,p-1}, 0_{t \times p-2p}; \\
\underbrace{0, l(2), 1-l(3)-d(3), 0_{1,p-3}, l(p+2), (1-l(p+3)-d(p+3), 0_{1,p-3}, \dots, l(ps-p+2), 1-l(ps-p+3)-d(ps-p+3), 0_{1,p-3}}_{s \text{ times}} \\
, 0_{1,isp-sp}, 0_{1,t \times s+t \times s+s}, 0, 1, 0_{1,p-2}, -1, 0_{1,p-2}, 0_{t \times p-2p}, 0, -1, 0_{1,p-2}, 1, 0_{1,p-2}, 0_{t \times p-3p}; \\
\underbrace{0, 0, l(3), 1-l(4)-d(4), 0_{1,p-4}, l(p+3), (1-l(p+4)-d(p+4), 0_{1,p-4}, \dots, l(ps-p+3), 1-l(ps-p+4)-d(ps-p+4), 0_{1,p-4}}_{s \text{ times}} \\
, 0_{1,isp-sp}, 0_{1,t \times s+t \times s+s}, 0, 0, 1, 0_{1,p-3}, -1, 0_{1,p-3}, 0_{t \times p-2p}, 0, 0, -1, 0_{1,p-3}, 1, 0_{1,p-3}, 0_{t \times p-4p}; \\
\vdots \\
\underbrace{0, 0, \dots, l(p-1), 1-l(p)-d(p), 0_{1,p-p}, l(2p-1), (1-l(2p)-d(2p), 0_{1,p-p}, \dots, l(ps-1), 1-l(ps)-d(ps), 0_{1,p-p}}_{s \text{ times}} \\
, 0_{1,isp-sp}, 0_{1,t \times s+t \times s+s}, 0, \dots, 0, 1, 0_{1,p-p}, -1, 0_{1,p-p}, 0_{t \times p-2p}, 0, \dots, 0, -1, 0_{1,p-p}, 1, 0_{1,p-p}, 0_{t \times p-p}
\end{array} \right] \begin{array}{l} X_{tsp} \\ S_{ts} \\ Z_{ts} \\ W_s \\ i_{tp}^+ \\ i_{tp}^- \end{array} \geq D_p
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
-\sum_{s=1}^S X_{tsp} \leq -D_{tp} & \Leftrightarrow \left[ \begin{array}{l}
\underbrace{1, 0_{1,p-1}, 1, 0_{1,p-1}, \dots, 0_{1,isp-sp}, 0_{1,t \times s+t \times s+s+t \times p+t \times p}}_{s \text{ times}} \\
\underbrace{0, 1, 0_{1,p-2}, 0, 1, 0_{1,p-2}, \dots, 0_{1,isp-sp}, 0_{1,t \times s+t \times s+s+t \times p+t \times p}}_{s \text{ times}} \\
\vdots \\
\underbrace{0, 0, \dots, 1, 0, \dots, 1, 0_{1,isp-sp}, 0_{1,t \times s+t \times s+s+t \times p+t \times p}}_{p \text{ times}} \\
\underbrace{0_{1,sp}, 1, 0_{1,p-1}, 1, 0_{1,p-1}, \dots, 0_{1,isp-2sp}, 0_{1,t \times s+t \times s+s+t \times p+t \times p}}_{s \text{ times}} \\
\underbrace{0_{1,sp}, 0, 1, 0_{1,p-2}, 0, 1, 0_{1,p-2}, \dots, 0_{1,isp-2sp}, 0_{1,t \times s+t \times s+s+t \times p+t \times p}}_{s \text{ times}} \\
\vdots \\
\underbrace{0_{1,sp}, 0, 0, \dots, 1, 0, \dots, 1, 0_{1,isp-2sp}, 0_{1,t \times s+t \times s+s+t \times p+t \times p}}_{p \text{ times}} \\
\vdots
\end{array} \right] \begin{array}{l} X_{tsp} \\ S_{ts} \\ Z_{ts} \\ W_s \\ i_{tp}^+ \\ i_{tp}^- \end{array} \leq -\sum_{t=1}^T D_{tp}
\end{aligned}$$

$$\left[ \frac{\sum_{p=1}^P X_{tsp}}{C} \right] \leq S_{ts} \Leftrightarrow \left[ \begin{array}{c} 1_{1,p}, 0_{1,(t \times s \times p)-p}, -C, 0_{1,(t \times s)+(t \times s)+s+(t \times p)+(t \times p)-1}; \\ 0_{1,p}, 1_{1,p}, 0_{1,(t \times s \times p)-2p}, 0, -C, 0_{1,(t \times s)+(t \times s)+s+(t \times p)+(t \times p)-2}; \\ 0_{1,p}, 0_{1,p}, 1_{1,p}, 0_{1,(t \times s \times p)-3p}, 0, 0, -C, 0_{1,(t \times s)+(t \times s)+s+(t \times p)+(t \times p)-3}; \\ \vdots \end{array} \right]_{(t \times s) \text{ times}} \left[ \begin{array}{c} X_{tsp} \\ S_{ts} \\ Z_{ts} \\ W_s \\ i_{tp}^+ \\ i_{tp}^- \end{array} \right] \leq S_{ts}$$

$$X_{tsp} \leq SC_{tsp} \Leftrightarrow I_{(t \times s \times p), (t \times s \times p)}, 0_{(t \times s \times p), (t \times s + t \times s + s + t \times p + t \times p)} \left[ \begin{array}{c} X_{tsp} \\ S_{ts} \\ Z_{ts} \\ W_s \\ i_{tp}^+ \\ i_{tp}^- \end{array} \right] \leq SC_{tsp}$$

$$\sum_{p=1}^P X_{tsp} \leq M * Z_{ts} \Leftrightarrow \sum_{p=1}^P X_{tsp} - M * Z_{ts} \leq 0 \Leftrightarrow \left[ \begin{array}{c} 1_{1,p}, 0_{1,(t \times s \times p)-p}, -M, 0_{1,(t \times s)+(t \times s)+s+(t \times p)+(t \times p)-1}; \\ 0_{1,p}, 1_{1,p}, 0_{1,(t \times s \times p)-2p}, 0, -M, 0_{1,(t \times s)+(t \times s)+s+(t \times p)+(t \times p)-2}; \\ 0_{1,p}, 0_{1,p}, 1_{1,p}, 0_{1,(t \times s \times p)-3p}, 0, 0, -M, 0_{1,(t \times s)+(t \times s)+s+(t \times p)+(t \times p)-3}; \\ \vdots \end{array} \right]_{(t \times s) \text{ times}} \left[ \begin{array}{c} X_{tsp} \\ S_{ts} \\ Z_{ts} \\ W_s \\ i_{tp}^+ \\ i_{tp}^- \end{array} \right] \leq 0_{ts,1}$$

$$i_{tp}^+ \leq MS_{tp} \Leftrightarrow 0_{(t \times p), ((t \times s \times p) + (t \times s) + (t \times s) + s)}, I_{(t \times p), (t \times p)}, 0_{(t \times p), (t \times p)} \left[ \begin{array}{c} X_{tsp} \\ S_{ts} \\ Z_{ts} \\ W_s \\ i_{tp}^+ \\ i_{tp}^- \end{array} \right] \leq MS_{tp}$$

$$\sum_{t=1}^T Z_{ts} \leq M * W_s \Leftrightarrow \sum_{t=1}^T Z_{ts} - M * W_s \leq 0 \Leftrightarrow \left[ \begin{array}{c} 0_{1,(t \times s \times p) + (t \times s)}, \underbrace{1, 0_{1,s-1}, 1, 0_{1,s-1}, \dots}_{t \text{ times}}, -M, 0_{1,s-1+t \times p+t \times p}; \\ 0_{1,(t \times s \times p) + (t \times s)}, \underbrace{0, 1, 0_{1,s-2}, 0, 1, 0_{1,s-2}, \dots}_{t \text{ times}}, 0, -M, 0_{1,s-2+t \times p+t \times p}; \\ \vdots \\ 0_{1,(t \times s \times p) + (t \times s)}, \underbrace{0, 0, \dots, 1, 0, \dots, 1, 0, 0, \dots}_{s \text{ times}}, \underbrace{-M, 0_{1,t \times p+t \times p}}_{s \text{ times}}; \end{array} \right]_{t \text{ times}} \left[ \begin{array}{c} X_{tsp} \\ S_{ts} \\ Z_{ts} \\ W_s \\ i_{tp}^+ \\ i_{tp}^- \end{array} \right] \leq 0_{s,1}$$

$$i_{tp}^- \leq (1-\phi) \sum_t D_{tp} \Leftrightarrow 0_{(t \times p), ((t \times s \times p) + (t \times s) + (t \times s) + s + (t \times p))}, I_{(t \times p), (t \times p)} \left[ \begin{array}{c} X_{tsp} \\ S_{ts} \\ Z_{ts} \\ W_s \\ i_{tp}^+ \\ i_{tp}^- \end{array} \right] \leq (1-\phi_t) D_{tp}$$

$$\begin{bmatrix} X_{tsp} \\ \sum_{p=1}^P X_{tsp} \\ i_{tp}^+ \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} SC_{tsp} \\ M * Z_{ts} \\ MS_{tp} \end{bmatrix} \Leftrightarrow \begin{bmatrix} I_{(t \times s \times p), (t \times s \times p)}, 0_{(t \times s \times p), (t \times s + t \times s + s + t \times p + t \times p)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{tsp} \\ S_{ts} \\ Z_{ts} \\ W_s \\ i_{tp}^+ \\ i_{tp}^- \end{bmatrix} \leq \begin{bmatrix} 0_{ts,1} \end{bmatrix}, \forall p \in P$$

$$\begin{bmatrix} \begin{bmatrix} 1, 0'_{t \times s + t \times s + s + t \times p + t \times p} \end{bmatrix}_{t \times s \times p} \\ \begin{bmatrix} 0'_{t \times s \times p + t \times s + t \times s + s}, 1, 0'_{t \times p} \end{bmatrix}_{t \times p} \\ \begin{bmatrix} 0'_{t \times s \times p + t \times s + t \times s + s + t \times p}, 1 \end{bmatrix}_{t \times p} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{tsp} \\ S_{ts} \\ Z_{ts} \\ W_s \\ i_{tp}^+ \\ i_{tp}^- \end{bmatrix} \geq 0_{t \times s \times p + t \times p + t \times p}$$

$$Z_{ts}, W_s \in \{0,1\}$$

### Perbandingan DSSP vs TSSP

	Coefficient of variance = 0		Coefficient of variance = 0.16		Coefficient of variance = 0.25		Coefficient of variance = 0.38		Coefficient of variance = 0.5	
	TSSP	DSSP	TSSP	DSSP	TSSP	DSSP	TSSP	DSSP	TSSP	DSSP
Purchasing cost	433507	417000	433214	417000	432952	417000	436484	417100	433040	417000
Transportation cost	95900	90900	96250	90900	96550	90900	96500	90850	95850	90900
Ordering cost	4250	4000	4975	4000	4625	4350	4650	4000	4925	4000
Contract cost	1900	1300	1900	1300	1900	1300	1900	1300	1900	1300
Holding cost	0	0	0	0	0	70	0	103	0	405
Shortage cost	1330	903	1333	962	1325	629	1309	999	1286	914
Penalty defect cost	1895.85	2178	1960.6	2178	1956.29	2178	2152.09	2202	1917.36	2178
Penalty late cost	2532.73	3330	3209.08	3330	3034.04	3330	3170.82	3318	3135.93	3330
<b>Total cost</b>	<b>541315.58</b>	<b>519611</b>	<b>542841.68</b>	<b>519670</b>	<b>542342.33</b>	<b>519757</b>	<b>546165.91</b>	<b>519872</b>	<b>542054.29</b>	<b>520027</b>

### Hasil Lingo Alokasi Pesanan DSSP vs TSSP

DSSP CV 0					TSSP CV 0						
Periode		p1	X tsp			Periode		p1	X tsp		
			p2	p3					p2	p3	
1	s1		354	390	356	1	s1		300	300	300
	s2		0	0	0		s2		0	0	0
	s3		500	500	500		s3		500	500	500
	s4		0	0	0		s4		0	0	0
2	s1		330	337	333	2	s1		320	300	323
	s2		0	0	0		s2		0	0	0
	s3		500	500	500		s3		500	500	500

3	s4	0	0	0	3	s4	0	0	0
	s1	330	336	334		s1	0	0	0
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	500	500	500
4	s4	0	0	0	4	s4	329	314	352
	s1	330	336	334		s1	0	0	0
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	295	500	500
5	s4	0	0	0	5	s4	525	320	352
	s1	456	401	443		s1	0	0	0
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	295	500	500
6	s4	0	0	0	6	s4	525	320	352
	s1	0	0	0		s1	0	0	0
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	295	500	500
	s4	0	0	0		s4	525	320	352
DSSP CV 0.16					TSSP CV 0.16				
Periode		X tsp			Periode		X tsp		
		p1	p2	p3			p1	p2	p3
1	s1	303	380	217	1	s1	188	335	175
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	500	500	500
	s4	0	0	0		s4	0	0	0
2	s1	369	531	300	2	s1	339	401	276
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	500	500	500
	s4	0	0	0		s4	0	0	0
3	s1	273	334	393	3	s1	306	291	382
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	500	500	500
	s4	0	0	0		s4	0	0	0
4	s1	430	247	423	4	s1	0	13	431
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	500	500	500
	s4	0	0	0		s4	363	227	10
5	s1	425	308	467	5	s1	0	22	476
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	500	500	500

6	s4	0	0	0	6	s4	333	267	0
	s1	0	0	0		s1	0	0	0
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	496	500	500
	s4	0	0	0		s4	417	345	302
DSSP CV 0.25					TSSP CV 0.25				
Periode		X tsp			Periode		X tsp		
		p1	p2	p3			p1	p2	p3
1	s1	382	364	254	1	s1	326	280	199
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	500	500	500
	s4	0	0	0		s4	0	0	0
2	s1	238	376	286	2	s1	242	357	248
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	500	500	500
	s4	0	0	0		s4	0	0	0
3	s1	229	166	405	3	s1	252	203	436
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	500	500	500
	s4	0	0	0		s4	0	0	0
4	s1	380	387	333	4	s1	0	0	0
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	485	500	500
	s4	0	0	0		s4	373	352	368
5	s1	307	341	452	5	s1	275	302	393
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	500	500	500
	s4	0	0	0		s4	0	0	0
6	s1	264	166	70	6	s1	0	0	0
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	488	500	500
	s4	0	0	0		s4	459	366	342
DSSP CV 0.38									
Periode		X tsp			Periode		X tsp		
		p1	p2	p3			p1	p2	p3
1	s1	293	316	91	1	s1	244	276	2
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	500	500	500
	s4	0	0	0		s4	0	0	0

2	s1	0	533	67	2	s1	0	481	78
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	494	500	500
	s4	0	0	0		s4	0	0	0
3	s1	523	111	66	3	s1	472	96	5
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	500	500	500
	s4	0	0	0		s4	0	0	0
4	s1	384	622	1094	4	s1	350	576	953
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	500	500	500
	s4	0	0	0		s4	0	0	0
5	s1	600	318	482	5	s1	193	15	556
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	500	500	500
	s4	0	0	0		s4	612	388	0
6	s1	0	0	0	6	s1	0	0	0
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	400	500		s3	399	500	500
	s4	0	0	0		s4	205	73	421

DSSP CV 0.5

Periode		X tsp			Periode		X tsp		
		p1	p2	p3			p1	p2	p3
1	s1	350	200	450	1	s1	308	177	385
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	500	500	500
	s4	0	0	0		s4	0	0	0
2	s1	507	712	881	2	s1	160	642	794
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	500	500	500
	s4	0	0	0		s4	300	0	0
3	s1	176	590	34	3	s1	0	0	0
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	496	500	500
	s4	0	0	0		s4	217	519	153
4	s1	254	246	0	4	s1	0	0	0
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	438	500	162
	s4	0	0	0		s4	308	277	0

5	s1	513	52	435	5	s1	0	0	0
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	497	500	500
	s4	0	0	0		s4	514	74	254
6	s1	0	0	0	6	s1	0	11	768
	s2	0	0	0		s2	0	0	0
	s3	500	500	500		s3	500	500	500
	s4	0	0	0		s4	199	199	0

### HASIL PERBANDINGAN CONSOLIDATION Vs NON CONSOLIDATION

	Coefficient of variance = 0		Coefficient of variance = 0.16		Coefficient of variance = 0.25		Coefficient of variance = 0.38		Coefficient of variance = 0.5	
	with consolidation	without consolidation	with consolidation	without consolidation	with consolidation	without consolidation	with consolidation	without consolidation	with consolidation	without consolidation
Purchasing cost	417000	417000	417000	417000	417000	417000	417769	417769	417804	417804
Transportation cost	85650	85650	85650	85650	85650	85650	84643	84643	84632.5	84632.5
Ordering cost	4000	4000	4350	4350	4350	4350	4275	4275	4275	4275
Holding cost	0	198	0	0	0	0	415	412	448	448
Penalty late cost	3330	3330	3330	3330	3330	3330	3062.48	3062.28	3173.48	3173.48
Penalty defect cost	2178	2178	2178	2178	2178	2178	1656.71	1656.51	1756.16	1756.16
Contract cost	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1900	1900	1900	1900
Shortage cost	903	705	591	591	593	593	840	842	917	917
<b>Total cost</b>	<b>514361</b>	<b>514361</b>	<b>514399</b>	<b>514399</b>	<b>514401</b>	<b>514401</b>	<b>514561.19</b>	<b>514559.79</b>	<b>514906.14</b>	<b>514906.14</b>

Hasil Lingo Alokasi Pesanan Konsolidasi vs non Konsolidasi

KONSOLIDASI CV 0										NON KONSOLIDASI CV 0											
Periode		X tsp									Periode		X tsp								
		r1	p1 r2	r3	r1	p2 r2	r3	r1	p3 r2	r3			r1	p1 r2	r3	r1	p2 r2	r3	r1	p3 r2	r3
1	s1	250	0	104	0	456	0	0	0	356	1	s1	0	0	354	0	341	0	250	0	114
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	500	0	0	0	500	0	0	0	500		s3	500	0	0	0	500	0	0	0	500
	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	s1	0	0	330	0	336	0	0	0	333	2	s1	0	0	330	0	336	0	250	0	83
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		s2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	s3	500	0	0	0	500	0	250	0	250		s3	0	0	500	0	500	0	500	0	0
	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	s1	0	0	330	0	336	0	250	0	84	3	s1	330	0	0	0	336	0	334	0	0
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		s2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	s3	500	0	0	0	500	0	0	0	500		s3	0	0	500	0	500	0	86	0	414
	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	s1	0	0	330	0	336	0	250	0	84	4	s1	250	0	80	0	336	0	0	0	334
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		s2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	s3	500	0	0	0	500	0	0	0	500		s3	0	0	500	0	500	0	500	0	0
	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	s1	250	0	206	0	336	0	0	0	443	5	s1	0	0	456	0	451	0	435	0	0
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		s2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	s3	500	0	0	0	500	0	0	0	500		s3	0	0	500	0	500	0	315	0	185
	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	s1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	s1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		s2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	s3	250	0	250	0	500	0	500	0	0		s3	250	0	250	0	500	0	500	0	0
	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0

KONSOLIDASI CV 0.16										NON KONSOLIDASI CV 0.16											
Periode		X tsp									Periode		X tsp								
		r1	p1 r2	r3	r1	p2 r2	r3	r1	p3 r2	r3			r1	p1 r2	r3	r1	p2 r2	r3	r1	p3 r2	r3
1	s1	232	0	0	0	380	0	0	0	217	1	s1	232	0	0	0	380	0	19	0	198
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		s2	0	0	0	0	0	0	0	0	
	s3	18	0	482	0	500	0	500	0	0		s3	0	0	500	0	500	0	499	0	1

2	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	
	s1	362	0	0	0	447	0	0	0	300		s1	4	0	358	0	447	0	0	0	300
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	388	0	112	0	500	0	0	0	500		s3	250	0	250	0	500	0	496	0	4
3	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	s1	273	0	0	0	270	0	0	0	368	s1	0	0	273	0	270	0	0	0	368	
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	s3	477	0	23	0	500	0	0	0	500	s3	500	0	0	0	500	0	250	0	250	
4	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	s1	0	0	379	0	247	0	0	0	424	s1	0	0	379	0	247	0	0	0	424	
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	s3	250	0	250	0	500	0	500	0	0	s3	500	0	0	0	500	0	250	0	250	
5	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	s1	329	0	0	0	308	0	0	0	454	s1	250	0	79	0	308	0	0	0	454	
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	s3	0	0	500	0	500	0	421	0	79	s3	500	0	0	0	500	0	0	0	500	
6	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	s1	225	0	0	0	148	0	25	0	12	s1	0	0	225	0	148	0	37	0	0	
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	s3	500	0	0	0	500	0	0	0	500	s3	500	0	0	0	500	0	213	0	287	
s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		

KONSOLIDASI CV 0.25

NON KONSOLIDASI CV 0.25

Periode		X tsp									Periode		X tsp								
		r1	p1 r2	r3	r1	p2 r2	r3	r1	p3 r2	r3			r1	p1 r2	r3	r1	p2 r2	r3	r1	p3 r2	r3
1	s1	0	0	382	0	319	0	2	0	242	1	s1	0	0	382	0	319	0	0	0	244
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	500	0	0	0	500	0	248	0	252		s3	250	0	250	0	500	0	500	0	0
	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	s1	0	0	238	0	398	0	0	0	266	2	s1	238	0	0	0	398	0	0	0	266
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	250	0	250	0	500	0	500	0	0		s3	500	0	0	0	500	0	12	0	488
	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	s1	0	0	229	0	183	0	250	0	183	3	s1	0	0	229	0	183	0	21	0	412
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0		s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	0	0	500	0	500	0	500	0	0		s3	500	0	0	0	500	0	229	0	271
	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0		s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	s1	0	0	380	0	391	0	0	0	337	4	s1	0	0	380	0	391	0	1	0	336

5	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	500	0	0	0	500	0	250	0	250
	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s1	0	0	302	0	338	0	250	0	187
6	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	500	0	0	0	500	0	0	0	500
	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s1	250	0	19	0	171	0	0	0	83
5	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	500	0	0	0	500	0	0	0	500
	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s1	250	0	19	0	171	0	0	0	83
6	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	0	0	500	0	500	0	500	0	0
	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### KONSOLIDASI CV 0.38

### NON KONSOLIDASI CV 0.38

Periode		X tsp								
		p1			p2			p3		
		r1	r2	r3	r1	r2	r3	r1	r2	r3
1	s1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	250	0	250	0	500	0	500	0	0
	s4	0	276	0	0	0	295	0	0	0
2	s1	0	0	0	0	531	0	219	0	85
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	500	0	0	31	469	0	0	0	500
	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	s1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	473	0	27	277	223	0	0	0	500
	s4	0	777	0	0	0	217	0	0	0
4	s1	0	0	0	0	500	0	250	0	750
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	500	0	0	0	500	0	0	0	500
	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	s1	1	0	0	0	0	0	4	0	492
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	499	0	1	246	254	0	0	0	500
	s4	0	746	0	0	0	257	0	0	0
6	s1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	500	0	0	0	500	0	250	0	250
	s1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	s1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	250	0	250	0	500	0	500	0	0
	s4	0	276	0	0	0	295	0	0	0
2	s1	0	0	0	0	531	0	219	0	304
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	219	0	281	31	469	0	500	0	0
	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	s1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	473	0	27	277	223	0	0	0	500
	s4	0	777	0	0	0	217	0	0	0
4	s1	0	0	0	0	500	0	250	0	1000
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	250	0	250	0	500	0	500	0	0
	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	s1	0	0	0	0	0	0	0	0	496
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	0	0	500	247	253	0	246	0	254
	s4	0	747	0	257	0	0	0	0	0
6	s1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	250	0	250	0	500	0	500	0	0
	s1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

KONSOLIDASI CV 0.5											NON KONSOLIDASI CV 0.5												
X tsp											X tsp												
Periode	p1			p2			p3			s4	r1	r2	r3	s4	r1	r2	r3	s4	r1	r2	r3		
	r1	r2	r3	r1	r2	r3	r1	r2	r3													r1	r2
1	s1	0	0	362	0	408	0	0	0	450			s1	0	0	362	0	408	0	450	0	0	
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0			s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	500	0	0	0	500	0	250	0	250			s3	0	0	500	0	500	0	300	0	200	
	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0			s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	s1	149	0	0	0	509	0	92	0	750			s1	149	0	0	0	509	0	0	0	842	
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0			s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	500	0	0	9	491	0	0	0	500			s3	500	0	0	9	491	0	92	0	408	
	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0			s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	s1	0	0	0	0	0	0	0	0	0			s1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0			s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	250	0	250	0	500	0	500	0	0			s3	0	0	500	0	500	0	500	0	0	0
	s4	0	500	0	0	0	519	0	0	0			s4	0	500	0	250	0	269	0	0	0	0
4	s1	0	0	0	0	0	0	0	0	0			s1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0			s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	11	0	489	0	500	0	500	0	0			s3	500	0	0	0	500	0	250	0	250	
	s4	0	240	0	239	0	0	0	0	0			s4	0	240	0	0	0	239	0	0	0	0
5	s1	0	0	0	0	0	0	0	0	0			s1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0			s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	500	0	0	25	475	0	179	0	321			s3	500	0	0	25	475	0	179	0	321	
	s4	0	525	0	46	0	0	0	0	0			s4	0	525	0	46	0	0	0	0	0	0
6	s1	24	0	0	0	79	0	226	0	282			s1	0	0	24	0	79	0	0	0	508	
	s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0			s2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	s3	0	0	500	0	500	0	500	0	0			s3	500	0	0	0	500	0	250	0	250	
	s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0			s4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## LAMPIRAN

### CODE LINGO MODEL 1

```
SETS:
TIME/1..6/;
SUPPLIER/1..4/: O, W, NC, TC;
PRODUCT/1..3/: Pl, Pd, h, MS, SOC, prev_inv, prev_shortage;
TS(TIME,SUPPLIER): Z, St;
TP(TIME,PRODUCT): iplus, imin, De;
SP(SUPPLIER,PRODUCT): lt, d, UP, SC;
TSP(TIME,SUPPLIER,PRODUCT): X;
ENDSETS

DATA:
UP, SC, d, lt, Pl, Pd, De, h, MS, TC, O, NC, SOC, prev_inv, prev_shortage
= @ole ('6 periode CV 0.xlsx');
@ole ('6 periode CV 0.xlsx') = X,iplus,imin,Z;

M = 9999;
sigma=0.9;
C=100;
ENDDATA

!Fungsi Tujuan;
MIN=Z1+Z2+Z3+Z4+Z5+Z6+Z7+Z8;

Z1=@SUM(TSP(t,s,p): X(t,s,p)*UP(s,p));
Z2=@SUM(TS(t,s): TC(s)*St(t,s));
Z3=@SUM(TS(t,s): O(s)*Z(t,s));
Z4=@SUM(SUPPLIER(s): NC(s)*W(s));
Z5=@SUM(TP(t,p): h(p)*iplus(t,p));
Z6=@SUM(TP(t,p): SOC(p)*imin(t,p));
Z7=@SUM(TSP(t,s,p): Pd(p)*d(s,p)*X(t,s,p));
Z8=@SUM(TSP(t,s,p): Pl(p)*lt(s,p)*X(t,s,p));

!1a.Inventory, untuk t=1;
@FOR(TP(t,p)|t#EQ#1:
prev_inv(p) + @SUM(SUPPLIER(s):X(t,s,p) - lt(s,p)*X(t,s,p) -
d(s,p)*X(t,s,p)) - prev_shortage >= De(t,p)+iplus(t,p)-imin(t,p));

!1b.Inventory, untuk t>1;
@FOR(TIME(t)|t#GT#1:
@FOR(TP(t,p):
iplus(t-1,p)+@SUM(SUPPLIER(s):X(t,s,p)+lt(s,p)*X(t-1,s,p)-lt(s,p)*X(t,s,p)-
d(s,p)*X(t,s,p))-imin(t-1,p)>=De(t,p)+iplus(t,p)-imin(t,p));

!2. demand fullfiling;
@FOR(PRODUCT(p): @SUM(TIME(t): @SUM(SUPPLIER(s): X(t,s,p))) >=
@SUM(TIME(t): De(t,p)));

!3.Truck delivery loading;
@FOR(TS(t,s):@SUM(PRODUCT(p):X(t,s,p)/C)<=St(t,s));

!4.Supplier capacity; !perlu dikalikan kapasitas produksi pada ruas kanan;
@FOR(TSP(t,s,p):X(t,s,p)<=SC(s,p));

!5.Ordering Cost; !perlu dikalikan kapasitas produksi pada ruas kanan;
@FOR(TS(t,s):@SUM(PRODUCT(p):X(t,s,p))<=M*Z(t,s));
```

```

!6.Kapasitas Penyimpanan;
@FOR(TP(t,p):iplus(t,p)<=MS(p));

!7.Pemilihan pemasok baru;
@FOR(SUPPLIER(s):@SUM(TIME(t):Z(t,s))<=M*W(s));

!8.Service Level;
@FOR(PRODUCT(p): @SUM(TIME(t): imin(t,p)) <= (1-
sigma)*@SUM(TIME(t):De(t,p)));

!9.Integer;
@FOR(TSP(I,J,K):@GIN(X(I,J,K)));
@FOR(TS(I,J):@GIN(St(I,J)));
@FOR(TP(I,J):@GIN(imin(I,J)));
@FOR(TP(I,J):@GIN(iplus(I,J)));

!10.Binary;
@FOR(TS(I,J):@BIN(Z(I,J)));
@FOR(SUPPLIER(I):@BIN(W(I)));

```

## LAMPIRAN MATLAB CODE

```
clc  
mxlindo
```

### %Parameter

```
St=200;  
iplus=500;  
imin=100;
```

### %Read model file

```
[xx,c,A,b,lb,ub,csense,vtype,QCrows,QCvar1,QCvar2,QCcoef] = ...  
    LMreadf('D:\2_Research_and_Publications\9_SCM\DSSP (Pak Purnawan)\DSSP Using  
Genetic Algorithm\Paper 1 - DSSP considering FTL cost tujuan 8 v2.mps')  
ubX=b(25:60); %Upper bound Xtsp  
%[vtype(1:36),vtype(37:59),vtype(60:80),vtype(81:82)]  
%Mendefinisikan vektor upperbound  
ub(1:36)=ubX;  
ub(37:60)=[1;St;1;St;1;St;1;St;1;St;1;St;1;St;1;St;1;St];  
ub(61:78)=[iplus;imin;iplus;imin;iplus;imin;iplus;imin;iplus;imin;  
    iplus;imin;iplus;imin;iplus;imin];  
ub(79:82)=[1;1;1;1];
```

### %Mendefinisikan fungsi objektif (fitness function)

```
fun_obj=@(x)c'*[x(1:82)];
```

### %Parameter running GA

```
nvars=82; %Banyak variabel  
Aineq=A; bineq=b;  
intcon=[1:82];  
PopulationSize_Data=100;  
EliteCount_Data=10;  
CrossoverFraction_Data=0.8;  
MigrationInterval_Data=10;  
MigrationFraction_Data=0.2;  
Generations_Data=10000;  
StallGenLimit_Data=1000;  
TolFun_Data=1e-1000;  
TolCon_Data=1e-1000;  
options = gaoptimset;  
options = gaoptimset(options,'PopulationSize', PopulationSize_Data);  
options = gaoptimset(options,'EliteCount', EliteCount_Data);  
options = gaoptimset(options,'CrossoverFraction', CrossoverFraction_Data);  
options = gaoptimset(options,'MigrationDirection', 'both');  
options = gaoptimset(options,'MigrationInterval', MigrationInterval_Data);  
options = gaoptimset(options,'MigrationFraction', MigrationFraction_Data);  
options = gaoptimset(options,'Generations', Generations_Data);  
options = gaoptimset(options,'StallGenLimit', StallGenLimit_Data);  
options = gaoptimset(options,'TolFun', TolFun_Data);
```

```
options = gaoptimset(options,'TolCon', TolCon_Data);
options = gaoptimset(options,'SelectionFcn', @selectionroulette);
options = gaoptimset(options,'CrossoverFcn', @crossoverarithmetic);
options = gaoptimset(options,'MutationFcn', { @mutationuniform 0.2 });
options = gaoptimset(options,'Display', 'final');
options = gaoptimset(options,'PlotFcns', { @gaplotbestf });
[x,fval,exitflag,output,population,score] =
ga(fun_obj,nvars,Aineq,bineq,[],[],lb,ub,[],intcon,options);
```

## LAMPIRAN

### CODE LINGO MODEL 2

```
SETS:
TIME/1..6/;
SUPPLIER/1..4/: O, W, NC, TC;
PRODUCT/1..3/: Pl, Pd, h, MS, SOC, prev_inv, prev_shortage;
TS(TIME,SUPPLIER): Z, St;
TP(TIME,PRODUCT): iplus, imin, De;
SP(SUPPLIER,PRODUCT): lt, d, UP, SC;
TSP(TIME,SUPPLIER,PRODUCT): X;
ENDSETS

DATA:
UP, SC, d, lt, Pl, Pd, De, h, MS, TC, O, NC, SOC, prev_inv, prev_shortage
= @ole ('6 periode CV 0.xlsx');
@ole ('6 periode CV 0.xlsx') =      X,iplus,imin,Z;

M = 9999;
sigma=0.9;
C=100;
ENDDATA

!Fungsi Tujuan;
MIN=Z1+Z2+Z3+Z4+Z5+Z6+Z7+Z8;

Z1=@SUM(TSP(t,s,p): X(t,s,p)*UP(s,p));
Z2=@SUM(TS(t,s): TC(s)*St(t,s));
Z3=@SUM(TS(t,s): O(s)*Z(t,s));
Z4=@SUM(SUPPLIER(s): NC(s)*W(s));
Z5=@SUM(TP(t,p): h(p)*iplus(t,p));
Z6=@SUM(TP(t,p): SOC(p)*imin(t,p));
Z7=@SUM(TSP(t,s,p): Pd(p)*d(s,p)*X(t,s,p));
Z8=@SUM(TSP(t,s,p): Pl(p)*lt(s,p)*X(t,s,p));

!1a.Inventory, untuk t=1;
@FOR(TP(t,p)|t#EQ#1:
prev_inv(p) + @SUM(SUPPLIER(s):X(t,s,p) - lt(s,p)*X(t,s,p) -
d(s,p)*X(t,s,p)) - prev_shortage >= De(t,p)+iplus(t,p)-imin(t,p));

!1b.Inventory, untuk t>1;
@FOR(TIME(t)|t#GT#1:
@FOR(TP(t,p):
iplus(t-1,p)+@SUM(SUPPLIER(s):X(t,s,p)+lt(s,p)*X(t-1,s,p)-lt(s,p)*X(t,s,p)-
d(s,p)*X(t,s,p))-imin(t-1,p)>=De(t,p)+iplus(t,p)-imin(t,p));

!2. demand fullfiling;
@FOR(PRODUCT(p): @SUM(TIME(t): @SUM(SUPPLIER(s): X(t,s,p))) >=
@SUM(TIME(t): De(t,p)));

!3.Truck delivery loading;
@FOR(TS(t,s):@SUM(PRODUCT(p):X(t,s,p)/C)<=St(t,s));

!4.Supplier capacity; !perlu dikalikan kapasitas produksi pada ruas kanan;
@FOR(TSP(t,s,p):X(t,s,p)<=SC(s,p));

!5.Ordering Cost; !perlu dikalikan kapasitas produksi pada ruas kanan;
@FOR(TS(t,s):@SUM(PRODUCT(p):X(t,s,p))<=M*Z(t,s));
```

```

!6.Kapasitas Penyimpanan;
@FOR(TP(t,p):iplus(t,p)<=MS(p));

!7.Pemilihan pemasok baru;
@FOR(SUPPLIER(s):@SUM(TIME(t):Z(t,s))<=M*W(s));

!8.Service Level;
@FOR(PRODUCT(p): @SUM(TIME(t): imin(t,p)) <= (1-
sigma)*@SUM(TIME(t):De(t,p)));

!9.Integer;
@FOR(TSP(I,J,K):@GIN(X(I,J,K)));
@FOR(TS(I,J):@GIN(St(I,J)));
@FOR(TP(I,J):@GIN(imin(I,J)));
@FOR(TP(I,J):@GIN(iplus(I,J)));

!10.Binary;
@FOR(TS(I,J):@BIN(Z(I,J)));
@FOR(SUPPLIER(I):@BIN(W(I)));

```

LAMPIRAN  
 CODE LINGO MODEL 3

**SETS:**

TIME/1..10/  
 SUPPLIER/1..4/: O, W, NC;  
 PRODUCT/1..3/: Pl, Pd, h, MS, SOC;  
 SAMPLESIZE/1..10/  
 TS(TIME,SUPPLIER): Z, St, TC;  
 TP(TIME,PRODUCT): iplus, imin, expdemand;  
 TPSS(TIME,PRODUCT,SAMPLESIZE): wi, demand;  
 SP(SUPPLIER,PRODUCT): GP, lt, de, UP, SC;  
 TSP(TIME,SUPPLIER,PRODUCT): X;

**ENDSETS**

**DATA:**

UP, SC, de, lt, Pl, Pd, h, MS, O, NC, SOC, wi, demand, expdemand = @ole  
 ('DSSP w FTL using FLP.xlsx');  
 @ole ('DSSP w FTL using FLP.xlsx') = X;

M = 9999;  
 sigma=0.95;  
 C=200;  
**ENDDATA**

**!Fungsi Tujuan;**

**MIN**=Z1+Z2+Z3+Z4;  
 Z1=@SUM(TSP(t,s,p): X(t,s,p)\*UP(s,p));  
 Z3=@SUM(TS(t,s): TC(t,s)\*St(t,s));  
 Z2=@SUM(TS(t,s): O(s)\*Z(t,s)) + @SUM(SUPPLIER(s): NC(s)\*W(s))  
 + @SUM(TP(t,p): h(p)\*iplus(t,p)) + @SUM(TP(t,p): SOC(p)\*imin(t,p));  
 Z4=@SUM(TSP(t,s,p): Pd(p)\*de(s,p)\*X(t,s,p) + Pl(p)\*lt(s,p)\*X(t,s,p));

**!DISCREET MEMBERSHIP**

**!1a.Inventory, untuk t=1;**  
 @FOR(TP(t,p)|t#EQ#1:  
 @SUM(SUPPLIER(s): X(t,s,p) - lt(s,p)\*X(t,s,p) - de(s,p)\*X(t,s,p)) -  
 iplus(t,p) + imin(t,p) >= @SUM(SAMPLESIZE(i): wi(t,p,i)\*demand(t,p,i));  
**!1b.Inventory, untuk t>1;**  
 @FOR(TP(t,p)|t#GT#1:  
 iplus(t-1,p) + @SUM(SUPPLIER(s): X(t,s,p) + lt(s,p)\*X(t-1,s,p) -  
 lt(s,p)\*X(t,s,p) - de(s,p)\*X(t,s,p)) - imin(t-1,p) - iplus(t,p) + imin(t,p)  
 >= @SUM(SAMPLESIZE(i): wi(t,p,i)\*demand(t,p,i));  
**!1c.Service Level;**  
 @FOR(TP(t,p): imin(t,p)/(1-sigma) <= @SUM(SAMPLESIZE(i):  
 wi(t,p,i)\*demand(t,p,i));

**!TRAPEZOIDAL MEMBERSHIP;**

**!1a.Inventory, untuk t=1;**  
 !@FOR(TP(t,p)|t#EQ#1:  
 @SUM(SUPPLIER(s): X(t,s,p) - lt(s,p)\*X(t,s,p) - de(s,p)\*X(t,s,p)) -  
 iplus(t,p) + imin(t,p) >= expdemand(t,p));  
**!1b.Inventory, untuk t>1;**  
 !@FOR(TP(t,p)|t#GT#1:  
 iplus(t-1,p) + @SUM(SUPPLIER(s): X(t,s,p) + lt(s,p)\*X(t-1,s,p) -  
 lt(s,p)\*X(t,s,p) - de(s,p)\*X(t,s,p)) - imin(t-1,p) - iplus(t,p) + imin(t,p)  
 >= expdemand(t,p));  
**!1c.Service Level;**  
 !@FOR(TP(t,p): imin(t,p)/(1-sigma) <= expdemand(t,p));

```

!OTHER CONSTRAINTS;
!2.Truck delivery loading;
@FOR(TS(t,s):@SUM(PRODUCT(p):X(t,s,p)/C)<=St(t,s));

!3.Supplier Assignment; !perlu dikalikan kapasitas produksi pada ruas
kanan;
@FOR(TSP(t,s,p):X(t,s,p)<=SC(s,p));

!4.Ordering Cost; !perlu dikalikan kapasitas produksi pada ruas kanan;
@FOR(TS(t,s):@SUM(PRODUCT(p):X(t,s,p))<=M*Z(t,s));

!5.Kapasitas Penyimpanan;
@FOR(TP(t,p):iplus(t,p)<=MS(p));

!6.Pemilihan pemasok baru;
@FOR(SUPPLIER(s):@SUM(TIME(t):Z(t,s))<=M*W(s));

!Integer;
@FOR(TSP(I,J,K):@GIN(X(I,J,K)));
@FOR(TS(I,J):@GIN(St(I,J)));
@FOR(TP(I,J):@GIN(imin(I,J)));
@FOR(TP(I,J):@GIN(iplus(I,J)));

!Binary;
@FOR(TS(I,J):@BIN(Z(I,J)));
@FOR(SUPPLIER(I):@BIN(W(I)));

```

Lampiran Hasil running GA