

**PENGEMBANGAN MODEL OPTIMASI
SISTEM DISTRIBUSI KOMODITAS
UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI
SISTEM DISTRIBUSI BUMN-PSO**

DISERTASI

**N A H R Y
0706310425**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
DESEMBER 2010**

**PENGEMBANGAN MODEL OPTIMASI
SISTEM DISTRIBUSI KOMODITAS
UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI
SISTEM DISTRIBUSI BUMN-PSO**

DISERTASI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor

**N A H R Y
0706310425**



**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
DEPOK
DESEMBER 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Nahry

NPM : 0706310425

Tanda Tangan :

Tanggal : 21 Desember 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Disertasi ini diajukan oleh

Nama : Nahry
NPM : 0706310425
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Disertasi : Pengembangan Model Optimasi Sistem Distribusi
Komoditas untuk Meningkatkan Efisiensi Sistem
Distribusi BUMN-PSO

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

DEWAN PENGUJI

Ketua Sidang : Prof.Dr.Ir. Bambang Sugiarto, MEng. ()
Promotor : Prof.Dr.Ir. Sutanto Soehodho, MEng. ()
Ko Promotor : Drs. Gatot F. Hertono, MSc.,Ph.D. ()
Tim Penguji : Prof. Dr.Ir. Irwan Katili, DEA (Ketua Pelaksana) ()
Tim Penguji : Prof. Dr.Ir. Ofyar Z. Tamin, M.Sc. (Anggota) ()
Tim Penguji : Ir. Ade Sjafruddin, M.Sc., Ph.D. (Anggota) ()
Tim Penguji : Dr. Ir. Sigit P.Hadiwardoyo, DEA (Anggota) ()
Tim Penguji : Dr. Ir. Jachrizal Sumabrata, MSc. (Anggota) ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 21 Desember 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya saya dapat menyelesaikan disertasi ini. Penulisan disertasi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Doktor Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan disertasi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan disertasi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof.Dr.Ir. Sutanto Soehodho, MEng., selaku Promotor yang telah menyediakan waktu,tenaga dan pikiran untuk membimbing dan mendukung saya dalam penyusunan disertasi ini.
2. Bapak Drs. Gatot F. Hertono, MSc.,Ph.D., selaku Ko Promotor yang telah menyediakan waktu,tenaga dan pikiran untuk membimbing dan mendukung saya dalam penyusunan disertasi ini.
3. Seluruh Dewan Penguji yang telah memberi arahan serta saran-saran perbaikan pada saat sidang Pra Promosi
4. Pimpinan serta seluruh dosen pengajar FTUI atas segala ilmu yang telah diberikan dan bimbingannya selama perkuliahan di FTUI.
5. Pimpinan serta seluruh rekan dosen dan karyawan Departemen Teknik Sipil FTUI yang telah memberikan bantuan tenaga, pikiran dan dukungan selama perkuliahan hingga penyusunan disertasi ini.
6. Suamiku tercinta Heru Darjudi dan anak-anakku tersayang Sarah , Riva dan Reza atas dukungan , doa dan pengertiannya selama ini.
7. Kedua orang tua dan mertua, saudara dan seluruh keluarga besar serta teman-teman yang telah memberikan dukungan serta doa yang tak pernah putus.

Saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu terselesaikannya disertasi dan studi saya ini. Semoga disertasi ini dapat memberi manfaat bagi semua pihak.

Depok, 21 Desember 2010

Nahry

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

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

Nama : Nahry
NPM : 0706310425
Program Studi : Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Disertasi

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

Pengembangan Model Optimasi Sistem Distribusi Komoditas
untuk Meningkatkan Efisiensi Sistem Distribusi BUMN-PSO

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 21 Desember 2010

Yang Menyatakan

Nahry

ABSTRAK

Kelangkaan komoditas merupakan permasalahan yang dihadapi oleh BUMN-PSO yang menjadi studi kasus. Salah satu penyebabnya adalah inefisiensi dalam sistem distribusi yang berlaku saat ini. Disertasi ini bertujuan untuk mengembangkan model optimasi yang dapat digunakan untuk mendisain sistem distribusi BUMN-PSO. BUMN-PSO memiliki karakteristik yang berbeda dengan perusahaan komersial umumnya dalam hal kewajiban pemenuhan kebutuhan atas produk subsidi. Metode penelitian ini adalah melalui studi eksplorasi, yaitu melalui interview terhadap manajemen salah satu BUMN-PSO dan kajian pustaka serta studi eksplanatori, yaitu melalui proses pengembangan model optimasi. Model yang dikembangkan berfungsi sebagai alat evaluasi dan pengambil keputusan bagi berbagai strategi usulan untuk meningkatkan efisiensi sistem. Aplikasi model terhadap beberapa kasus hipotetikal dengan menggunakan program aplikasi yang dikembangkan dalam penelitian ini memperlihatkan bahwa sistem operator tunggal akan memberikan efisiensi yang lebih baik. Selain itu, optimasi distribusi secara tersentralisasi berbasis besaran bahan baku memberikan hasil optimasi yang lebih baik dibandingkan dengan optimasi berbasis komoditas. Penelitian ini perlu dilanjutkan dengan aplikasi model terhadap data real BUMN-PSO.

Kata kunci : Sistem distribusi BUMN-PSO, model optimasi, efisiensi sistem

ABSTRACT

PSO-SOC has special characteristics, which make it different from commercial one. It deals with subsidized, as well as commercial demands and it has an obligation to satisfy the entire subsidized demand. PSO-SOC under consideration is facing the problem on subsidized demand satisfaction. Hypothetically, it is triggered by the inefficiency on its distribution system. This research is aimed to develop optimization model which may be utilized by PSO-SOC on designing its distribution system. Such research is carried out by doing exploration and explanation study. Exploration study is carried out through interviewing the management of PSO-SOC under consideration and literature review, while the explanation one is carried out by developing optimization model. Such model is aimed to be an evaluation and decision support tool on set of strategies of increasing the efficiency of the system. Results of the application of the model on some hypothetical cases shows that the single operator system is more efficient than the existing one which takes form of multi operator system. In addition, centralized distribution optimization using raw material-based optimization model gives better value of efficiency than commodity-based optimization one. For further research, it is recommended to validate the proposed model to the real data of PSO-SOC under consideration.

Keywords : PSO-SOC distribution system, optimization model, system efficiency

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Perumusan Masalah.....	1
1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	3
1.3. Batasan Penelitian	3
1.4. Pendekatan Penelitian.....	3
BAB 2 SISTEM DISTRIBUSI BUMN-PSO.....	6
2.1 Pendahuluan	6
2.2 Sistem Distribusi	6
2.3 Sistem Distribusi BUMN-PSO.....	7
2.4.Pembahasan tentang Karakteristik Sistem Distribusi BUMN-PSO.....	16
2.5. Kesimpulan.....	18
BAB 3 LANDASAN TEORI.....	21
3.1 Pendahuluan	21
3.2 Model Lokasi.....	22
3.2.1 Masalah Lokasi (Location Problem).....	22
3.2.2. Formulasi Fixed Charge Facility Location Problem	26
3.2.2.1 Uncapacitated fixed charge location problem.....	26
3.2.2.2 Capacitated fixed charge location problem.....	29
3.2.3 Model Lokasi (Location Model)	30
3.2.4 Taksonomi Model Lokasi.....	30
3.3 Representasi Jaringan (Network Representation)	34
3.3.1 Karakteristik Representasi Jaringan	34
3.3.2 Shortest Path.....	37
3.3.2.1 Algoritma Masalah Shortest Path.....	38
3.3.2.2 Label Correcting Algorithm.....	39
3.3.3 Maximum Flow	41
3.3.3.1 Algoritma Masalah Maximum Flow.....	43
3.3.3.2 Labeling Algorithm.....	43
3.3.4 Minimum Cost Flow	44
3.3.4.1 Algoritma Solusi Masalah Minimum Cost Flow.....	46
3.3.4.2 Primal Dual Algorithm	47

3.4 Fungsi Biaya Concave.....	50
3.4.1 Prinsip Economy of Scale	50
3.4.2 Minimum Concave Cost Flow Problem.....	52
3.4.2.1 Solusi Minimum Concave Cost Flow Problem.....	55
3.4.2.2 Adjacent Extreme Flow.....	61
3.5 Kesimpulan.....	69
BAB 4 DISAIN PENELITIAN.....	70
4.1 Pendahuluan	70
4.2 Permasalahan Penelitian.....	70
4.3 Pemilihan Strategi Penelitian	72
4.4 Taktik Penelitian.....	73
4.5 Kesimpulan.....	77
BAB 5 PENGEMBANGAN MODEL OPTIMASI.....	79
5.1 Pendahuluan	79
5.2 Tujuan Pemodelan dan Kriteria Model	79
5.3. Analisa Sistem.....	80
5.3.1. Sistim Distribusi BUMN-PSO yang Berlaku Saat Ini	80
5.3.2 Integrasi Sistem	81
5.3.3 Sistem Distribusi Usulan	84
5.3.4 Variabel Model dan Interaksi antar Variabel	87
5.4 Batasan dan Asumsi dalam Pemodelan.....	90
5.5 Sintesa Sistem.....	91
5.6 Kesimpulan.....	92
BAB 6 PRODUCT-BASED MODEL	93
6.1 Pendahuluan	93
6.2 Formulasi Product-based Model	93
6.3 Properti Product-based Model.....	97
6.4 Formulasi Representasi Jaringan bagi Product-based Model.....	100
6.4.1 Properti Representasi Jaringan dari Product-based Model.....	100
6.4.2 Formulasi Ketidakseimbangan Suplai dan Permintaan.....	102
6.4.2.1 Kondisi Suplai Berlebih	102
6.4.2.2 Kondisi Permintaan Berlebih.....	104
6.4.3 Masalah Minimum Concave Cost Multicommodity Flow dari Representasi Jaringan	106
6.5 Solusi masalah MCMF dari Representasi Jaringan Product-based Model.....	108
6.5.1 Metode Linierisasi Tunggal (Single Linearization)	109
6.5.1.1 Kapasitas gudang yang dibatasi (capacitated warehouses)	110
6.5.1.2 Kapasitas gudang yang tidak dibatasi (uncapacitated warehouses)	117
6.5.2 Metode Linierisasi Bertahap (Gradual Linearization)	117
6.5.3 Pemrograman Dua Tingkat (Bi-level Programming).....	118
6.6. Pengembangan dari Model Lokasi Usulan.....	123
6.6.1 Model Alokasi	123
6.6.2 Pengembangan Eselonisasi Jaringan Distribusi	126

BAB 8 KESIMPULAN DAN SARAN	204
8.1 Kesimpulan.....	204
8.2 Saran.....	212
DAFTAR REFERENSI	216
DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH	221

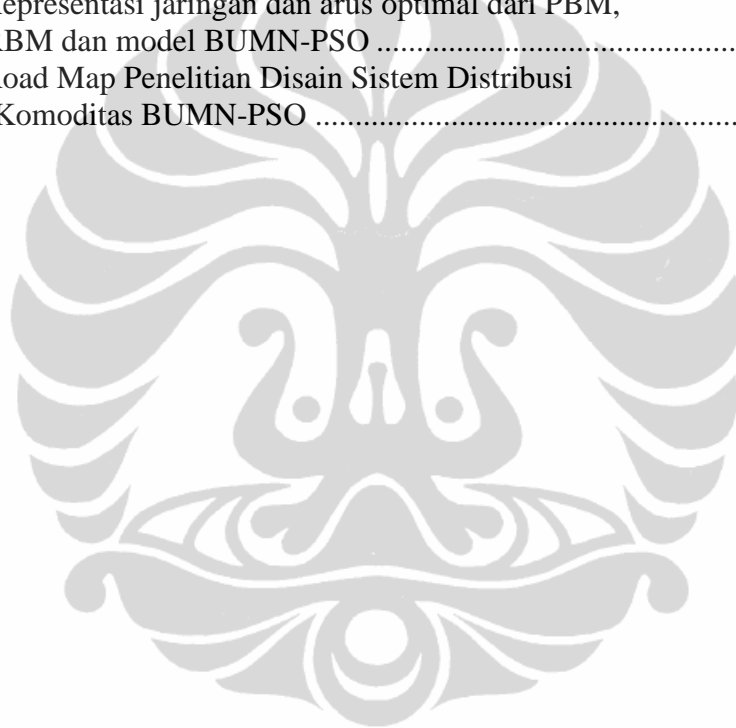


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Contoh Konfigurasi Logistik.....	8
Gambar 2.2 Permintaan dari komoditas BUMN-PSO	10
Gambar 2.3 Skema penentuan permintaan komoditas subsidi.....	11
Gambar 2.4 Jaringan distribusi komoditas subsidi dari anak perusahaan BUMN-PSO	11
Gambar 2.5 Jaringan distribusi komoditas subsidi dari perusahaan Induk BUMN-PSO.....	12
Gambar 2.6 Skema penetapan harga jual	14
Gambar 2.7 Sistem Transportasi.....	16
Gambar 3.1 Relasi antara primary cost dengan jumlah fasilitas	23
Gambar 3.2 Relasi antara secondary cost dengan jumlah fasilitas	24
Gambar 3.3 Relasi antara biaya total transportasi dengan jumlah fasilitas.....	25
Gambar 3.4 Contoh relasi antara biaya transportasi, biaya tetap Fasilitas dan biaya total	25
Gambar 3.5 Diagram alir algoritma ADD.....	28
Gambar 3.6 Contoh formulasi representasi jaringan.....	36
Gambar 3.7a Contoh cycle berarah.....	39
Gambar 3.7b Contoh Jaringan Acyclic	39
Gambar 3.8 Prosedur algoritma Label Correcting	40
Gambar 3.9 Contoh pembentukan Residual Network $G(x_0)$	42
Gambar 3.10 Prosedur Algoritma Labeling	44
Gambar 3.11 Prosedur algoritma Primal Dual.....	49
Gambar 3.12a Fungsi biaya satuan rata-rata transportasi/produksi tanpa economy of scale.....	51
Gambar 3.12b Fungsi biaya total transportasi/produksi tanpa economy of scale	51
Gambar 3.13a Fungsi biaya satuan rata-rata transportasi/produksi Dengan economy of scale	52
Gambar 3.13b Fungsi biaya total transportasi/produksi dengan economy of scale	52
Gambar 3.14 Ilustrasi Extreme Flow	54
Gambar 3.15 Contoh pembentukan tree T' dan T''	57
Gambar 3.16 Diagram alir pencarian titik optimum global Masalah MCMF	60
Gambar 3.17 Contoh feasible flow yang memenuhi syarat sebagai extreme flow	62
Gambar 3.18a Contoh extreme flow x' yang merupakan adjacent extreme flow dari x	64
Gambar 3.18b Contoh extreme flow x' yang bukan merupakan adjacent extreme flow dari x	64
Gambar 3.19a Algoritma Adjacent Extreme Flow	66
Gambar 3.19b Algoritma subroutine TRESCA	67

Gambar 3.19c Algoritma subroutine CIRCE ..	67
Gambar 3.19c Algoritma subroutine CIRCE (lanjutan).....	68
Gambar 4.1 Ilustrasi permasalahan penelitian	71
Gambar 4.2 Disain penelitian.....	78
Gambar 5.1 Sistem jaringan distribusi eksisting.....	81
Gambar 5.2 Integrasi Rantai Suplai	84
Gambar 5.3 Sistem jaringan distribusi usulan.....	86
Gambar 6.1 Contoh bentuk jaringan distribusi usulan.....	94
Gambar 6.2 Contoh Representasi Jaringan	100
Gambar 6.3 Representasi Jaringan untuk kondisi suplai berlebih	103
Gambar 6.4a Representasi Jaringan untuk kondisi permintaan berlebih (excess demand) dengan pengurangan permintaan.....	104
Gambar 6.4b Representasi Jaringan untuk kondisi permintaan berlebih (excess demand) dengan kebijakan impor	105
Gambar 6.5 Contoh proses linierisasi tunggal	110
Gambar 6.6 Diagram alir dari proses pemilihan lokasi gudang (capacitated warehouses)	111
Gambar 6.7 Diagram alir perhitungan nilai fungsi tujuan masalah MCF.....	112
Gambar 6.8a Contoh Produk-Sub Representasi Jaringan komoditas 1	113
Gambar 6.8b Contoh Produk-Sub Representasi Jaringan komoditas 2.....	113
Gambar 6.9a Path optimal dari P-SRJ komoditas 1	115
Gambar 6.9b Path optimal dari P-SRJ komoditas 2	116
Gambar 6.9c Path optimal gabungan dari P-SRJ komoditas 1 dan 2	116
Gambar 6.10 Contoh proses linierisasi bertahap.....	118
Gambar 6.11 Diagram alir Pemrograman Dua Tingkat	120
Gambar 6.12a Group Sub Representasi Jaringan dari pabrik 1	122
Gambar 6.12b Group Sub Representasi Jaringan dari pabrik 2	122
Gambar 6.13 Contoh Jaringan Dua Tahap – Hanya ada Gudang Konsolidasi.....	127
Gambar 6.14 Contoh Jaringan Dua Tahap – Hanya ada Gudang Distribusi	127
Gambar 6.15 Taksonomi modul Model Lokasi (Linierisasi dan Kapasitas dibatasi)	146
Gambar 6.16 Taksonomi modul Model Lokasi (Fungsi Concave – Kapasitas Tidak dibatasi	149
Gambar 6.17 Taksonomi modul Adjacent Extreme Flow	153
Gambar 6.18 Taksonomi modul Model Alokasi (Linierisasi - Kapasitas Dibatasi.....	155
Gambar 6.19 Sistematis verifikasi program aplikasi	156
Gambar 6.20 Jaringan distribusi contoh kasus sumber tunggal.....	157
Gambar 6.21 Solusi kasus sumber tunggal – model alokasi.....	160
Gambar 6.22 Jaringan distribusi contoh kasus multi sumber	162
Gambar 6.23 Solusi kasus multi sumber – model alokasi	166
Gambar 6.24a Group Sub Representasi Jaringan dari pabrik 1 dan solusi optimalnya.....	167

Gambar 6.24b Group Sub Representasi Jaringan dari pabrik 2 dan solusi optimalnya.....	167
Gambar 6.24c Group Sub Representasi Jaringan dari pabrik 3 dan solusi optimalnya.....	168
Gambar 7.1 Contoh bentuk jaringan distribusi usulan yang disederhanakan	180
Gambar 7.2 Contoh Representasi Jaringan dari Resource-based Model	184
Gambar 7.3 Contoh Representasi Jaringan dari RBM dalam kondisi suplai berlebih.....	187
Gambar 7.4 Contoh Representasi Jaringan dari RBM dalam kondisi permintaan berlebih.....	188
Gambar 7.5 Jaringan distribusi contoh kasus.....	195
Gambar 7.6 Representasi jaringan dan arus optimal dari RBM.....	198
Gambar 7.7 Representasi jaringan dan arus optimal dari PBM, RBM dan model BUMN-PSO	200
Gambar 8.1 Road Map Penelitian Disain Sistem Distribusi Komoditas BUMN-PSO	215



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Contoh biaya satuan transportasi.....	15
Tabel 6.1 Metode pendekatan untuk penyelesaian MCMF	109
Tabel 6.2 Pengelompokkan modul dari program aplikasi untuk PBM.....	145
Tabel 6.3 Data permintaan kasus sumber tunggal	158
Tabel 6.4 Parameter fungsi biaya transportasi	158
Tabel 6.5 Harga jual komoditas kasus sumber tunggal.....	159
Tabel 6.6a Solusi antara kasus sumber tunggal - model lokasi dengan metode linierisasi tunggal.....	161
Tabel 6.6b Solusi antara kasus sumber tunggal - model lokasi dengan metode Gallo.....	161
Tabel 6.7 Kapasitas produksi pabrik kasus multi sumber.....	163
Tabel 6.8 Data permintaan kasus multi sumber	163
Tabel 6.9 Fungsi biaya produksi kasus multi sumber	163
Tabel 6.10 Harga jual komoditas kasus multi sumber	163
Tabel 6.11 Parameter fungsi biaya transportasi kasus multi sumber.....	164
Tabel 6.12 Pola distribusi komoditas	165
Tabel 6.13 Rekapitulasi hasil aplikasi ketiga metode	170
Tabel 6.13 Rekapitulasi hasil aplikasi ketiga metode (lanjutan)	170
Tabel 6.14 Komparasi waktu komputasi antara metode Gallo, metode Linierisasi Tunggal dan Linierisasi Bertahap	174
Tabel 6.15 Komparasi antara model usulan dan model BUMN-PSO yang berlaku saat ini.....	176
Tabel 7.1 Pengelompokkan modul dari program aplikasi untuk RBM	195
Tabel 7.2 Koefisien konversi bahan baku (μ_m).....	196
Tabel 7.3 Kapasitas produksi pabrik.....	196
Tabel 7.4 Satuan biaya produksi	196
Tabel 7.5 Data permintaan	196
Tabel 7.6 Harga jual komoditas.....	196
Tabel 7.7 Biaya transportasi per unit komoditas.....	196
Tabel 7.8 Rekapitulasi hasil aplikasi RBM , PBM dan model BUMN-PSO.....	202
Tabel 8.1 State of the art dari Model Lokasi.....	206
Tabel 8.1 State of the art dari Model Lokasi (lanjutan).....	207

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Perumusan Masalah

Badan Usaha Milik Negara (BUMN) adalah badan hukum yang dibentuk oleh pemerintah yang berfungsi untuk menjalankan sebagian dari kekuasaan pemerintah. BUMN *Public Service Obligation* (BUMN-PSO) merupakan BUMN yang memiliki kewajiban untuk melayani kebutuhan terhadap komoditas publik, yang berbentuk barang atau jasa. Orientasi kerja dari BUMN-PSO tidak pada perolehan laba, namun pada penjaminan pemenuhan kebutuhan publik. Karena orientasi inilah maka pemerintah membuat regulasi-regulasi (tata niaga) terkait dengan sistem produksi, distribusi, harga jual, kebijakan ekspor, dan lain lain, yang terkait dengan komoditas publik, khususnya terhadap komoditas yang sifatnya disubsidi oleh pemerintah.

Di dalam implementasinya, hingga saat ini masih ditemukan permasalahan utama BUMN-PSO , khususnya pada BUMN-PSO yang menjadi studi kasus, yaitu kelangkaan komoditas. Dari berbagai analisa disimpulkan beberapa hal yang menjadi penyebab kelangkaan tersebut, yaitu :

- Jaringan distribusi yang tidak efisien, yang salah satunya bersumber pada kesalahan pembagian zona rayonisasi (Kompas, 12 Mei 2004; Sinar Harapan, 2004) dan infrastruktur yang tidak memadai di beberapa wilayah.
- Manajemen distribusi yang tidak profesional dan tidak efisien, disebabkan tidak adanya kerjasama operasional antar anak perusahaan (Sinar Harapan, 2004) serta adanya distributor dan pengecer nakal (Tempo Interaktif, 20 Desember 2005).
- Masalah pada sistem produksi , disebabkan kurangnya suplai bahan baku (Tempo Interaktif, 18 Desember 2005) serta peralatan produksi yang sudah tua sehingga utilitasnya rendah.
- Permasalahan pada pola konsumsi dari konsumen, seperti pemakaian yang berlebih dari konsumen (Tempo Interaktif, 20 Desember 2005) serta data permintaan yang tidak akurat (Tempo Interaktif, 22 Desember 2005).

Sistem distribusi komoditas merupakan bagian yang erat dari sistem rantai suplai (*supply chain*) sebagai suatu kerangka kerja strategis. Sistem distribusi

juga berkaitan dengan sistem logistik sebagai kerangka kerja operasional (Bowersox, D.J., Closs, D.J. dan Cooper, M.B. ,2007). Kedua kerangka kerja tersebut berkaitan dengan proses untuk memindahkan dan menempatkan persediaan (*inventory*) pada waktu, tempat dan kepemilikan yang diinginkan dengan biaya yang sekecil mungkin. Rantai suplai maupun logistik merupakan kombinasi kerja dari proses manajemen pemesanan (*order management*), persediaan, transportasi, pergudangan, penanganan material (*material handling*) dan pengemasan (*packaging*).

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengkaji desain sistem distribusi. Berdasarkan orientasi jangka waktu perencanaan, kajian meliputi perencanaan jangka waktu panjang dan bersifat strategis (Fleischmann, B. ,1993), jangka menengah dan bersifat taktis (Crainic , T.G. dan Roy, J.,1992) serta jangka pendek dan bersifat operasional (Taniguchi E. dan Shimamoto, H., 2004). Model-model sistem distribusi yang dihasilkan umumnya menyertakan biaya transportasi, mengingat biaya transportasi memiliki porsi besar di dalam total biaya logistik (Rushton, A., Croucher,P. dan Baker, P., 2006). Namun beberapa penelitian menyertakan variabel-variabel lainnya untuk mengakomodasikan kepentingan-kepentingan khusus dari model dalam tingkat kompleksitas fungsi yang berbeda-beda, seperti *throughput cost of facility* (Ricciardi N. , Tadei R. dan Grosso A.,2002), biaya persediaan (Nozick L.K. dan Turnquist M.A., 2001), harga jual (Hodder J.E. dan Dincer M.C. ,1986), biaya produksi serta *exchange* dan *tariff rates* (Bhutta, K.S., Huq, F., Frazier, G. dan Mohamed, Z., 2003) serta kualitas pelayanan (Nozick L.K. dan Turnquist M.A., 2001). Penelitian tentang sistem distribusi juga dibedakan atas eselonisasi dari jaringan distribusinya serta jumlah titik asal dan titik tujuan, seperti eselon tunggal (Marks,1969) , 3-eselon (Lin, 2002), multi asal multi tujuan (Lin, 2002). Penelitian juga dibedakan atas jenis atau fungsi dari fasilitas, yaitu sebagai fasilitas publik (Ross, G.T. dan Soland, R.M.,1980) atau komersial. Selain itu, pertimbangan atas pembatasan kapasitas fasilitas (*capacitated problem*) (Amberg, A., Domschke, W. dan Voß, S., 2000; Sankaran, 2007; Klose, A. and Görtz, S., 2007) serta *uncapacitated problem* (Hodder J.E. dan Dincer M.C.,1986; Dupont, 2008; Lin, 2002) serta

jumlah komoditas yang dikelola juga menjadi ciri dari tiap penelitian yang telah dilakukan.

Kajian terhadap teknik solusi dari model distribusi menjadi fokus penelitian sistem distribusi pada dekade pertama abad ke-21, yaitu antara lain teknik solusi *branch and bound algorithm* (Dupont, 2008), *lagrangean relaxation* (Aras, N., Altinel, I.K. dan Orbay, M., 2007), *tabu search* (Michel L. dan Van Henterryck, P., 2004; Sun, 2006) dan *simulated annealing algorithm* (Yigit, V., Aydin, M.E. dan Turkbey, O., 2006).

Dari penelitian-penelitian tersebut, sejauh ini tidak ada yang memfokuskan pada sistem distribusi BUMN-PSO, yang pada dasarnya memiliki kekhususan di dalam orientasi sistem produksi dan distribusinya.

1.2 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan model optimasi untuk meningkatkan efisiensi sistem distribusi komoditas dari BUMN-PSO, khususnya BUMN-PSO yang menjadi studi kasus. Sedangkan tujuan yang ingin dicapai adalah suatu model optimasi sistem distribusi yang dapat mewakili karakteristik BUMN-PSO.

1.3. Batasan Penelitian

Hal yang menjadi fokus dari penelitian ini untuk dikaji guna meningkatkan efisiensi sistem eksisting adalah masalah fisik jaringan distribusi, khususnya dalam hal pemilihan sistem eselonisasi distribusi serta lokasi titik fasilitas. Permasalahan ini lebih bersifat perencanaan pada tingkat strategis, yaitu perencanaan jangka panjang.

1.4. Pendekatan Penelitian

Untuk mencapai tujuannya, penelitian dimulai dengan pembahasan tentang sistem distribusi BUMN-PSO, sebagaimana dijelaskan pada bab 2. Di awal dari bab 2, dijelaskan definisi dari terminologi “Sistem Distribusi” dalam penelitian ini. Penjelasan ini tidak terlepas dari sejarah panjang dari perkembangan konsep logistik. Selanjutnya pada bab 2 juga dijelaskan tentang karakteristik dari sistem distribusi BUMN-PSO yang menjadi studi kasus. Penjelasan ini merupakan hasil

identifikasi langsung melalui metode wawancara terhadap pihak manajemen perusahaan BUMN-PSO yang menjadi objek studi kasus.

Dari kajian terhadap identifikasi awal tersebut disimpulkan suatu hipotesa bahwa sistem distribusi BUMN-PSO yang berlaku saat ini mengalami inefisiensi. Untuk mendukung penelitian ini, pada bab 3 dilakukan kajian terhadap penelitian-penelitian terdahulu yang terkait dengan pemilihan lokasi (*location problem*) serta teori-teori yang mendukung pemodelan lokasi. Hasil kajian serta identifikasi awal ini sekaligus digunakan untuk menetapkan *state of the art* dari penelitian disertasi ini, yaitu optimasi sistem distribusi yang mempertimbangkan karakteristik BUMN-PSO.

Berdasarkan identifikasi awal beserta hipotesa dari penelitian ini, pada bab 4 dijelaskan tentang rancangan kerangka kerja penelitian, termasuk di dalamnya pembentukan pertanyaan penelitian sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik sistem distribusi yang berlaku saat ini ?
2. Apa permasalahan yang ada pada sistem distribusi tersebut ?
3. Bagaimana bentuk alat (*tool*) untuk menilai efisiensi sistem ?
4. Bagaimana strategi untuk meningkatkan efisiensi sistem distribusi BUMN-PSO ?

Selanjutnya strategi serta taktik untuk menjawab pertanyaan penelitian tersebut disusun. Penelitian menggunakan strategi studi eksplorasi dan studi eksplanatori. Studi eksplorasi dilakukan untuk menjawab pertanyaan penelitian nomor 1 dan 2, yaitu melalui metode kajian pustaka dan wawancara. Sementara studi eksplanatori dilakukan untuk menjawab pertanyaan penelitian nomor 3. Studi eksplanatori dipilih karena alat yang dipilih untuk menilai efisiensi sistem serta sekaligus digunakan sebagai alat untuk mengambil keputusan (*decision support tool*) adalah berbentuk model (*modeling*). Pertanyaan no 4 dijawab melalui studi eksplorasi kembali, yaitu berdasarkan kajian eksplorasi pertanyaan penelitian nomor 1 dan 2 serta hasil studi eksplanatori dari pertanyaan nomor 3. Selanjutnya langkah-langkah dari proses pemodelan dijelaskan pada bagian akhir dari bab 4.

Pada bab 5 dijelaskan secara detail tahapan-tahapan yang dilakukan dalam pemodelan optimasi. Terkait dengan konsep integrasi yang menjadi dasar

pemikiran untuk meningkatkan efisiensi sistem yang berlaku saat ini, model optimasi yang diusulkan dibedakan atas *product-based model* dan *resource-based model*.

Bab 6 difokuskan pada tahapan sintesa beserta solusi dari *product-based model*, termasuk pengembangan *stepwise* algoritma serta program aplikasi untuk membantu penyelesaian model. Di bagian akhir bab 6 disampaikan beberapa contoh kasus untuk mensimulasikan solusi model serta menilai kinerja dari model usulan.

Pada bab 7 dilanjutkan dengan penjelasan tentang *resource-based model*, disertai dengan penjelasan tentang *stepwise* algoritma dan program aplikasi pakai untuk solusi model. Di akhir dari bab 7 disampaikan hasil aplikasi model pada beberapa contoh kasus, dan dilakukan perbandingan antara solusi *resource-based model*, *product-based model* serta model yang digunakan oleh BUMN-PSO saat ini. Keseluruhan hasil penelitian disimpulkan pada bab 8, dengan disertai rekomendasi bagi penelitian selanjutnya.

BAB 2 SISTEM DISTRIBUSI BUMN-PSO

2.1 Pendahuluan

Berdasarkan perumusan masalah sebagaimana dijelaskan pada bab 1, penelitian pada disertasi ini adalah mengenai disain dari suatu sistem distribusi komoditas, khususnya yang terkait dengan perusahaan yang berbentuk BUMN-PSO. Pada sub bab 2.2 dijelaskan terminologi sistem distribusi, beserta sejarah perkembangan dari terminologi ini. Hal ini untuk memperjelas lingkup dari objek penelitian disertasi ini, yaitu sistem distribusi. Selanjutnya, pada bab 2.3 dilanjutkan dengan penjelasan tentang sistem distribusi dari BUMN-PSO.

2.2 Sistem Distribusi

Konsep dari sistem distribusi berkembang sejalan dengan berkembangnya fungsi dari sistem distribusi itu sendiri di dalam bisnis dan ekonomi (Rushton, Croucher & Baker, 2006).

Pada periode 1950-an hingga awal 1960-an, sistem distribusi dimaknai secara sempit sebagai proses transportasi dan sistem distribusi ini diterapkan tanpa perencanaan dan tanpa formulasi serta tidak ada kontrol antara fungsi distribusi dengan fungsi-fungsi lainnya di dalam manajemen perusahaan yang terkait dengan distribusi.

Selanjutnya konsep distribusi fisik (*physical distribution*) mulai diperkenalkan, dimana disadari adanya interrelasi kegiatan fisik antara aktivitas transportasi, penyimpanan, penanganan material (*material handling*) dan pengemasan (*packaging*). Aktivitas-aktivitas tersebut mulai dihubungkan satu sama lain dan dikelola dengan lebih efektif, hingga dirasakan kebutuhan untuk menyertakan distribusi di dalam struktur manajemen fungsi dari organisasi perusahaan.

Pada perkembangan selanjutnya, mulai dilakukan kombinasi antara manajemen material (*inbound side*) dengan distribusi fisik (*outbound side*). Konsep ini dikenal dengan terminologi “logistik”. Dalam konsep logistik ini kepentingan terhadap aspek informasi mengemuka, disamping aspek fisik dari logistik.

Selanjutnya, pada periode tahun 1990-an konsep ini berkembang menjadi konsep Manajemen Rantai Suplai (*Supply Chain Management*), dimana fokus tidak hanya diberikan pada fungsi-fungsi utama di dalam manajemen perusahaan, tetapi juga pada fungsi-fungsi di luar perusahaan, yang juga ikut berperan dalam menghasilkan suatu produk dan mengantarkannya pada konsumen akhir.

Perkembangan dari konsep “transportasi” hingga menjadi “Manajemen Rantai Suplai” tersebut, dijelaskan melalui gambar 2.1. Pada gambar 2.1 diperlihatkan posisi dari tiap fungsi yang ada di dalam suatu contoh perusahaan serta interrelasi diantara fungsi-fungsi tersebut (Rushton, Croucher & Baker, 2006). Dalam diagram tersebut juga diperlihatkan posisi dan lingkup dari berbagai terminologi yang merupakan perkembangan dari terminologi “sistem distribusi”, sebagaimana dijelaskan dalam uraian tentang perkembangan konsep sistem distribusi di atas.

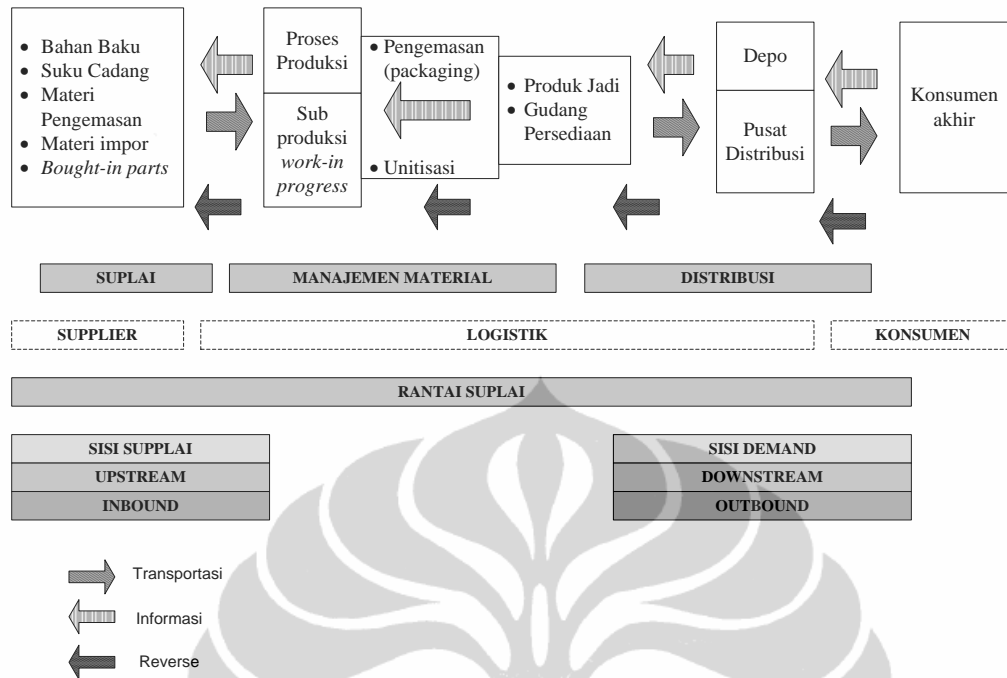
Dari gambar 2.1 terlihat bahwa logistik terkait dengan arus fisik (*physical flow*) dan informasi, dan logistik menyangkut penyimpanan bahan baku hingga distribusi akhir dari produk jadi. Suplai dan manajemen material mewakili proses penyimpanan serta arus menuju dan melalui proses produksi, sementara distribusi mewakili proses penyimpanan dan arus dari titik produksi akhir menuju konsumen akhir.

2.3 Sistem Distribusi BUMN-PSO

Menurut Undang Undang RI Nomor 19 Tahun 2003 tentang Badan Usaha Milik Negara, definisi Badan Usaha Milik Negara (BUMN) adalah badan usaha yang seluruh atau sebagian besar modalnya dimiliki oleh negara melalui penyertaan secara langsung yang berasal dari kekayaan negara yang dipisahkan.

Berdasarkan orientasi tugasnya, di Indonesia terdapat 2 (dua) bentuk BUMN, yaitu :

- BUMN *Public Service Obligation* (BUMN-PSO), yaitu BUMN yang memiliki kewajiban untuk melayani kebutuhan terhadap komoditas publik, yang berbentuk barang atau jasa. Orientasi kerja dari BUMN-PSO tidak pada perolehan laba, namun pada penjaminan pemenuhan kebutuhan publik.



Gambar 2.1 Contoh Konfigurasi Logistik

Sumber : Rushton et al, 2006

Pemerintah memberikan subsidi serta margin pada BUMN-PSO apabila biaya yang dikeluarkannya melebihi pendapatan yang dihasilkan. Di sisi lain, BUMN-PSO berkewajiban untuk mengembalikan “*balance*” bila biaya lebih kecil dari pada pendapatan. Oleh karenanya, komoditas yang ditangani BUMN-PSO sering disebut sebagai komoditas subsidi. Di dalam rangka melayani kebutuhan publik, biasanya pemerintah melakukan pengawasan terhadap harga jual komoditas subsidi.

Karena tujuan dari BUMN-PSO adalah untuk mengamankan suplai, maka yang menjadi orientasi kerjanya adalah memaksimalkan kapasitas produksi, sementara prinsip-prinsip ekonomi dan efisiensi tetap menjadi perhatian.

- BUMN *Strategic Business Unit* (SBU), yaitu BUMN yang murni difungsikan sebagai sumber pendapatan negara.

BUMN SBU bertujuan untuk memaksimalkan profit atau meminimalkan biaya sehingga orientasi kerjanya adalah mengoptimalkan kapasitas operasional.

Klasifikasi tersebut di atas sesungguhnya tidak terlalu kaku di dalam implementasinya. BUMN-PSO tetap diizinkan untuk menjalankan program mereka sendiri di luar tugas utama mereka, namun tetap di dalam pengawasan dan batas-batas yang ditetapkan pemerintah. Di sisi lain, BUMN-SBU dimungkinkan untuk melakukan tugas-tugas BUMN-PSO apabila dibutuhkan. Tentu saja hal ini harus diikuti oleh komitmen pembiayaan dari pemerintah terhadap BUMN-SBU tersebut.

Yang menjadi fokus dan objek studi kasus di dalam disertasi ini adalah BUMN-PSO, yaitu BUMN-PSO yang mengelola sistem produksi dan distribusi suatu komoditas yang terkait dengan produktivitas pertanian. Untuk selanjutnya, BUMN-PSO yang menjadi studi kasus disebut sebagai BUMN-PSO.

Di dalam disertasi ini, fokus dari penelitian adalah pada wilayah sistem distribusi, yaitu meliputi aktivitas penyimpanan serta transportasi produk jadi dari titik produksi akhir hingga konsumen akhir.

Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak manajemen BUMN-PSO dan merujuk pada peraturan perundang-undangan yang berlaku bagi komoditas terkait, beberapa hal dapat dicatat sebagai karakteristik dari sistem distribusi BUMN-PSO, yaitu sebagai berikut :

1. Organisasi perusahaan

BUMN-PSO merupakan perusahaan induk (*holding company*) yang membawahi 5 (lima) anak perusahaan. Setiap anak perusahaan, termasuk perusahaan induk sendiri, mengoperasikan pabrik serta sistem distribusinya sendiri-sendiri di dalam wilayah/rayonnya masing-masing (Sumber: Peraturan Menteri Perdagangan RI tentang pengadaan dan penyaluran komoditas terkait). Perusahaan induk bertugas untuk menetapkan volume produksi dari tiap-tiap pabrik dalam rangka pemenuhan kebutuhan komoditas subsidi serta menjamin kelancaran sistem distribusinya.

2. Tata Niaga

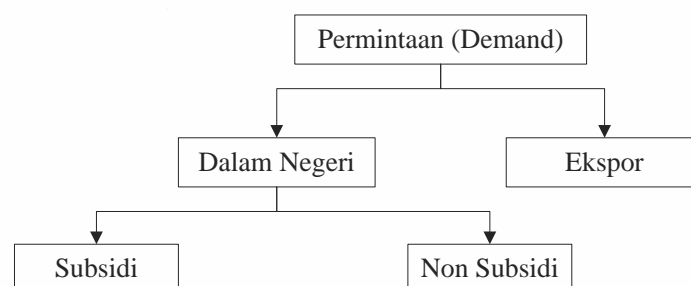
Mengingat komoditas yang dikelola oleh BUMN-PSO berperan besar di dalam produktivitas pertanian, maka pemerintah membuat regulasi-regulasi

(tata niaga) terkait dengan sistem produksi, distribusi, harga jual, kebijakan ekspor dan lain lain yang terkait dengan komoditas ini, khususnya terhadap komoditas yang sifatnya subsidi.

3. Permintaan (*Demand*)

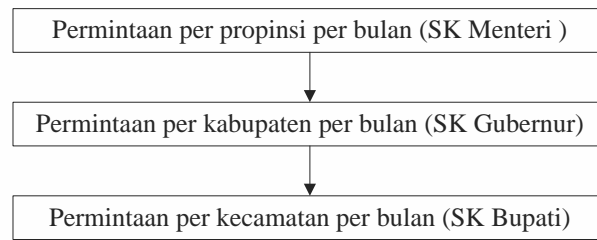
Masing-masing anak perusahaan BUMN-PSO beserta perusahaan induknya sendiri memproduksi 4 (empat) jenis komoditas, dimana tiap-tiap komoditas diperuntukkan bagi pembeli yang menerima subsidi dari pemerintah (*subsidized demand*) maupun pembeli komersial, yaitu pembeli dalam negeri yang tidak mendapat subsidi serta pembeli dari luar negeri (ekspor) (Gambar 2.2). BUMN-PSO berkewajiban untuk memenuhi seluruh permintaan komoditas subsidi, sedangkan permintaan komersial dapat dipenuhi apabila terdapat kelebihan kapasitas produksi dari pabrik yang bersangkutan (Sumber: Peraturan Menteri Perdagangan RI tentang pengadaan dan penyaluran komoditas terkait).

Besarnya permintaan dari komoditas subsidi untuk setiap wilayah ditetapkan oleh pemerintah sebagaimana digambarkan pada gambar 2.3 (Sumber : Keputusan Menteri Pertanian tentang kebutuhan komoditas subsidi terkait) , sedangkan permintaan komersial ditetapkan sendiri oleh masing-masing pabrik. Dari gambar 2.3 terlihat bahwa permintaan dari tiap propinsi (yang ditetapkan besarnya oleh SK Menteri) dijabarkan menjadi permintaan dari tiap kabupaten, dan seterusnya permintaan tersebut dijabarkan menjadi permintaan dari tiap kecamatan.



Gambar 2.2 Permintaan dari komoditas BUMN-PSO

Sumber : Hasil wawancara (telah diolah kembali)

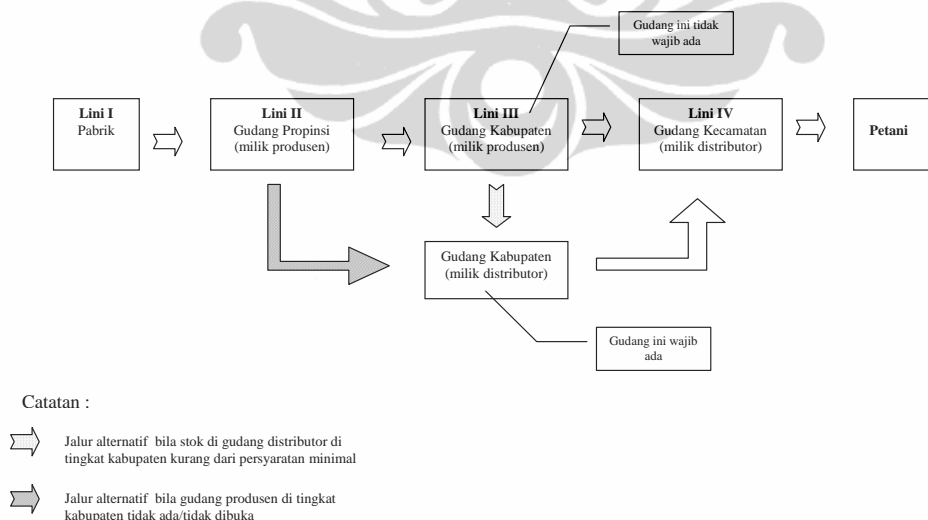


Gambar 2.3 Skema penentuan permintaan komoditas subsidi

(Sumber: Keputusan Menteri Pertanian RI tentang kebutuhan komoditas subsidi terkait (telah diolah kembali))

4. Jaringan distribusi

Dalam rangka menjamin sampainya komoditas subsidi pada waktu dan tempat yang tepat di titik konsumen akhir, pemerintah membuat regulasi terhadap jaringan distribusi untuk komoditas subsidi (Sumber: Peraturan Menteri Perdagangan RI tentang pengadaan dan penyaluran komoditas dan Keputusan Menteri Pertanian tentang kebutuhan komoditas subsidi terkait). Jaringan distribusi tersebut secara disagregat (individu anak perusahaan) digambarkan pada gambar 2.4, sedangkan jaringan secara agregat (pada tingkat perusahaan induk) digambarkan pada gambar 2.5.



Gambar 2.4 Jaringan distribusi komoditas subsidi dari anak perusahaan BUMN-PSO

(Sumber: Peraturan Menteri Perdagangan RI tentang pengadaan dan penyaluran komoditas terkait (telah diolah kembali))

digantikan dengan keberadaan gudang distributor. Bila stok di gudang distributor di lini III kurang dari persyaratan minimal maka diperlukan suplai dari gudang produsen lini III. Tanggung jawab pada keseluruhan proses distribusi yang terkait dengan komoditas subsidi, tetap ada pada perusahaan induk BUMN-PSO.

Jaringan distribusi untuk komoditas non-subsidi tidak harus mengikuti tata niaga tersebut, namun dimungkinkan bila menggunakan fasilitas-fasilitas tersebut. Pada dasarnya, jaringan distribusi dari komoditas non-subsidi mengikuti prinsip biaya transportasi minimum (*least cost of transportation*). Khusus untuk jaringan distribusi komoditas ekspor, hanya dilakukan sampai lini I.

5. Harga jual komoditas

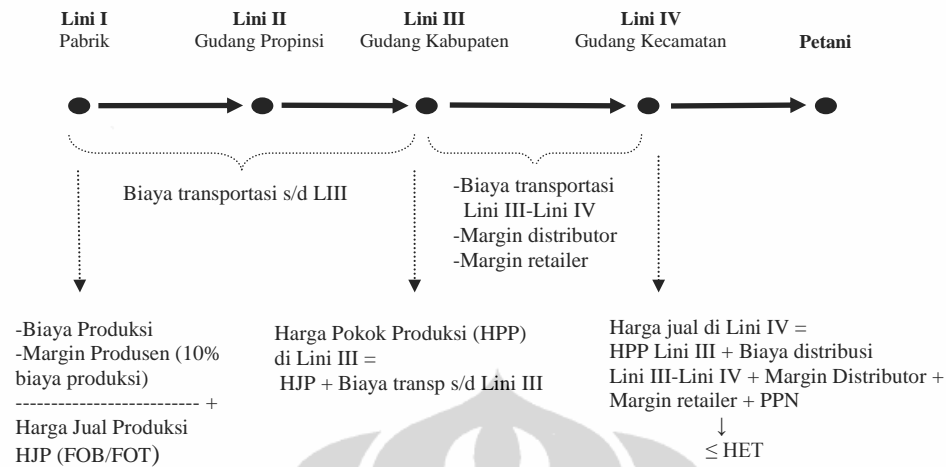
Harga jual komoditas subsidi ditetapkan oleh pemerintah sebagai Harga Eceran Tertinggi (HET) (Sumber: Peraturan Menteri Perdagangan RI tentang pengadaan dan penyaluran komoditas terkait dan Peraturan Menteri Pertanian tentang kebutuhan dan HET komoditas subsidi terkait). Komponen dari harga jual komoditas subsidi diperlihatkan pada gambar 2.6. Dari gambar 2.6 terlihat bahwa :

$$\text{Harga jual di lini IV} = \text{Biaya produksi} + \text{margin produsen} + \text{Biaya distribusi s/d lini III} + \text{Biaya distribusi Lini III-LiniIV} + \text{margin distributor} + \text{margin retailer} + \text{PPN}$$

Besarnya subsidi yang harus diberikan pemerintah kepada BUMN-PSO adalah selisih dari harga jual lini IV dengan HET.

Untuk harga jual komoditas non-subsidi, tidak harus mengikuti HET, dan harga jual ini umumnya lebih tinggi dari HET. Besarnya harga jual ini sama untuk semua pabrik dan merupakan harga FOB di lini I atau harga FOT di lini II atau III.

Untuk komoditas ekspor, harga jual dimungkinkan berbeda-beda untuk tiap pabriknya dan harga tersebut merupakan harga FOB di lini I karena sistem distribusi komoditas ekspor hanya sampai lini I.



Gambar 2.6 Skema penetapan harga jual

Sumber : Hasil wawancara (telah diolah kembali)

6. Proses Produksi

Keempat jenis produk yang dihasilkan oleh BUMN-PSO memiliki bahan baku utama berupa gas alam. Biaya pengadaan bahan gas alam tersebut meliputi 60% dari biaya total produksi. Harga komponen bahan baku ini berbeda-beda untuk tiap pabriknya. Di dalam proses produksi, BUMN-PSO menghadapi permasalahan dalam hal pengadaan bahan baku. Walaupun pengadaan gas alam dilakukan melalui proses kontrak jangka panjang dengan pihak pemasok (*supplier*), namun permasalahan kelangkaan bahan baku masih sering terjadi. Hal ini tentu saja dapat mempengaruhi biaya produksi akibat tidak maksimalnya utilisasi peralatan produksi.

Permasalahan lainnya adalah mengenai kinerja alat produksi yang sering menjadi kendala di dalam operasional produksi. Hal ini kembali menjadi sumber rendahnya tingkat utilisasi dan efisiensi alat.

Permasalahan-permasalahan sistem produksi yang khas dan berbeda-beda diantara pabrik, mengakibatkan berbedanya biaya satuan produksi untuk tiap pabriknya.

Penentuan volume produksi untuk tiap pabrik, dilakukan oleh perusahaan induk BUMN-PSO. Besarnya penugasan volume ini bersifat konstan selama satu tahun. Volume produksi untuk tiap pabrik ditentukan berdasarkan volume

permintaan dari seluruh wilayah yang berada di bawah rayon dari pabrik yang bersangkutan. Pembagian rayon (rayonisasi) sendiri dilakukan dengan mempertimbangkan :

- Kapasitas produksi dari tiap pabrik
- Biaya transportasi minimum
- Prinsip proporsional dan berkeadilan untuk semua pabrik.

Prinsip ini menjadi penting mengingat adanya disparitas harga yang cukup tinggi antara komoditas subsidi dan non subsidi (komersial).

7. Kegiatan transportasi

Di dalam kegiatan transportasi, BUMN-PSO menyerahkan operasional transportasi pada pihak ketiga (*third party*). Segala hal yang terkait dengan kegiatan transportasi , seperti pengaturan rute dan armada , termasuk pula biaya pergudangan, seperti biaya bongkar muat (*loading dan unloading*) , menjadi kewenangan pihak ketiga sebagai pelaksana transportasi.

Biaya satuan transportasi yang dibayarkan kepada pihak ketiga dihitung berdasarkan prinsip sistem biaya rata-rata tertimbang.

Suatu contoh perhitungan dengan sistem rata-rata tertimbang :

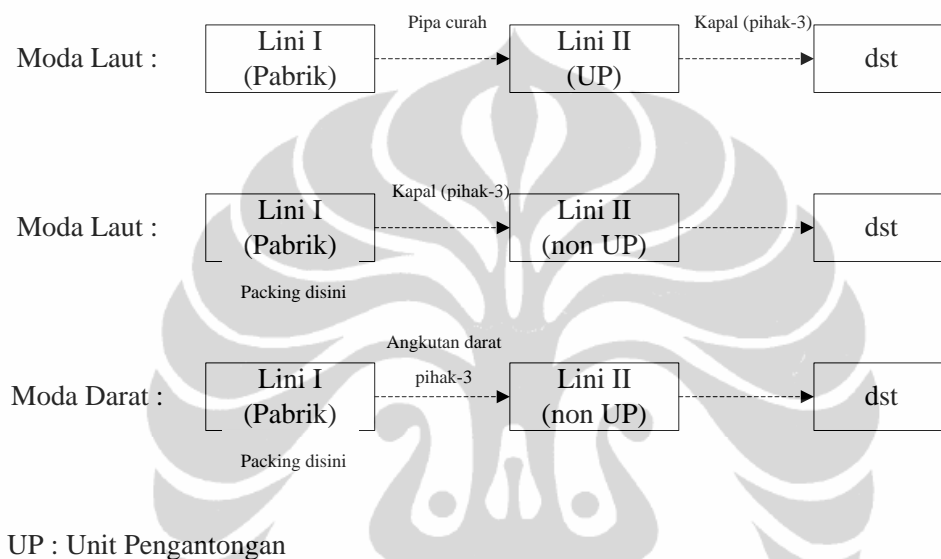
Tabel 2.1 Contoh biaya satuan transportasi

Kabupaten	Volume (ton)	Biaya Satuan
1	100	Rp. 10 / ton
2	200	Rp. 30 / ton
3	400	Rp. 20 / ton

Biaya rata-rata tertimbang yang ditetapkan pada pihak ketiga yang mengelola distribusi di ketiga kabupaten tsb =

$$\frac{100 \cdot 10 + 200 \cdot 30 + 400 \cdot 20}{100 + 200 + 400} = \text{Rp.}21,4 / \text{ton}$$

Sistem transportasi menggunakan moda laut dan darat. Gambar 2.7 memperlihatkan skema sistem transportasi untuk kedua moda tersebut. Sistem transportasi ini terkait dengan sistem pengantongan (*packaging*) dari komoditas. Sebagian komoditas dikemas di pabrik dan sebagian lagi dikirim dari pabrik dalam bentuk curah ke gudang lini II dan dikemas di unit pengantongan gudang propinsi lini II.



Gambar 2.7 Sistem Transportasi

Sumber : Hasil wawancara (telah diolah kembali)

2.4 Pembahasan tentang Karakteristik Sistem Distribusi BUMN-PSO

Analisa dari berbagai sumber menyatakan bahwa masalah kelangkaan komoditas salah satunya disebabkan oleh inefisiensi sistem distribusi. Pada sub bab ini, analisa tersebut akan diperjelas berdasarkan identifikasi terhadap karakteristik sistem distribusi BUMN-PSO sebagaimana dijelaskan pada sub bab 2.3. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Perusahaan berbentuk perusahaan induk dengan 5 (lima) anak perusahaan yang masing-masing , termasuk perusahaan induk sendiri, melakukan operasional pabriknya sendiri-sendiri di dalam sistem rayon. Perusahaan induk hanya bertugas untuk menetapkan volume produksi dari tiap-tiap pabrik dalam rangka pemenuhan kebutuhan komoditas subsidi serta menjamin kelancaran sistem distribusinya. Karakteristik sistem distribusi yang demikian sesungguhnya

membatasi potensi perusahaan secara keseluruhan untuk mendayagunakan fasilitas-fasilitas yang ada dengan lebih maksimal.

2. BUMN-PSO mengelola 4 (empat) jenis komoditas dan juga 2 (dua) jenis pengguna, yaitu pengguna subsidi dan komersial. Harga jual komoditas subsidi ditetapkan oleh pemerintah, sementara harga jual komersial diserahkan pada anak perusahaan masing-masing. Tiap anak perusahaan berkewajiban untuk memenuhi seluruh permintaan komoditas subsidi, sedangkan permintaan komersial dapat dipenuhi apabila terdapat kelebihan kapasitas produksi dari pabrik yang bersangkutan. Dari hal ini terlihat bahwa BUMN-PSO dimungkinkan memiliki multi-orientasi di dalam pengelolaan sistem distribusinya, yaitu memenuhi kebutuhan publik dan mencari keuntungan. Karena pengelolaan komoditas komersial diserahkan pada perusahaan anak masing-masing, hal ini berarti orientasi perolehan keuntungan dari komoditas komersial lebih berada pada tingkat sub sistem (anak perusahaan) dibandingkan keuntungan pada tingkat sistem (perusahaan secara keseluruhan). Karakteristik yang demikian berpotensi ikut berkontribusi dalam masalah kelangkaan komoditas. Secara teoritis, masalah kelangkaan di suatu rayon seharusnya diatasi oleh rayon yang lain (Sumber: Peraturan Menteri Perdagangan RI tentang pengadaan dan penyaluran komoditas terkait), namun di dalam prakteknya pengalihan kewajiban ini memerlukan birokrasi lagi akibat manajemen yang berbeda diantara rayon. Birokrasi ini dapat juga diperparah akibat kemungkinan adanya keengganan suatu pabrik untuk melayani komoditas subsidi dari rayon lain karena ketertarikan yang lebih tinggi pada penjualan komoditas komersial yang tentu saja lebih menguntungkan. Keinginan untuk lebih mementingkan keuntungan pabrik sendiri dibandingkan keuntungan perusahaan secara keseluruhan merupakan hal yang berpotensi memberikan kontribusi pada masalah kelangkaan komoditas dan juga inefisiensi di tingkat sistem.
3. Berdasarkan identifikasi awal, terlihat bahwa biaya satuan produksi diantara pabrik berbeda-beda. Di dalam sistem yang berlaku di BUMN-PSO, perusahaan induk melakukan pembebanan didasarkan hanya pada volume permintaan dari tiap rayon dan sistem rayon sendiri ditetapkan berdasarkan

prinsip “*least cost of transportation*”. Artinya, BUMN-PSO tidak mempertimbangkan biaya produksi di dalam mendisain sistem distribusinya. Hal ini sesungguhnya berpotensi menimbulkan inefisiensi di dalam sistem distribusi. Bila biaya produksi berbeda-beda, seharusnya pola pembebanan produksi yang dilakukan oleh perusahaan induk mempertimbangkan biaya produksi, disamping biaya transportasi. Hal ini disebabkan dimungkinkan adanya *tradeoff* antara kedua biaya tersebut dalam berkontribusi terhadap biaya total.

4. Sistem eselonisasi yang diatur dalam tata niaga komoditas subsidi terlihat cukup panjang (*long channel*). Bentuk sistem yang demikian juga diperkirakan memberikan kontribusi di dalam inefisiensi sistem.

Dari penjelasan di atas terlihat bahwa karakteristik sistem distribusi BUMN-PSO yang berlaku saat ini berpotensi memberikan kontribusi pada sistem yang inefisien, yang pada akhirnya mengakibatkan terjadinya kelangkaan komoditas.

Berdasarkan hal ini, dapat dibuat suatu hipotesa bahwa sistem distribusi BUMN-PSO yang berlaku saat ini mengalami inefisiensi.

Selanjutnya, dari karakteristik sistem distribusi BUMN-PSO di atas terlihat bahwa sistem distribusi BUMN-PSO memiliki karakteristik khusus dibandingkan dengan perusahaan komersial lainnya, yaitu dalam hal adanya diferensiasi pengguna. Adanya diferensiasi pengguna ini berakibat pada terjadinya multi-orientasi yaitu memperoleh keuntungan sekaligus memenuhi kebutuhan publik. Kondisi ini yang membedakannya dengan perusahaan komersial, yang biasanya berorientasi pada perolehan keuntungan atau minimasi biaya semata. Hal ini berujung pada suatu kebutuhan akan disain sistem distribusi yang khusus memperhatikan karakteristik BUMN-PSO.

2.5 Kesimpulan

Konsep sistem distribusi telah berkembang sejalan dengan semakin dirasakan pentingnya peranan dari sistem distribusi di dalam manajemen operasional perusahaan. Sejalan dengan itu pula terminologi sistem distribusi

menjadi berkembang. Sistem distribusi menjadi sub sistem dari logistik yang lebih difokuskan pada proses perpindahan barang jadi di titik produksi menuju titik konsumen akhir.

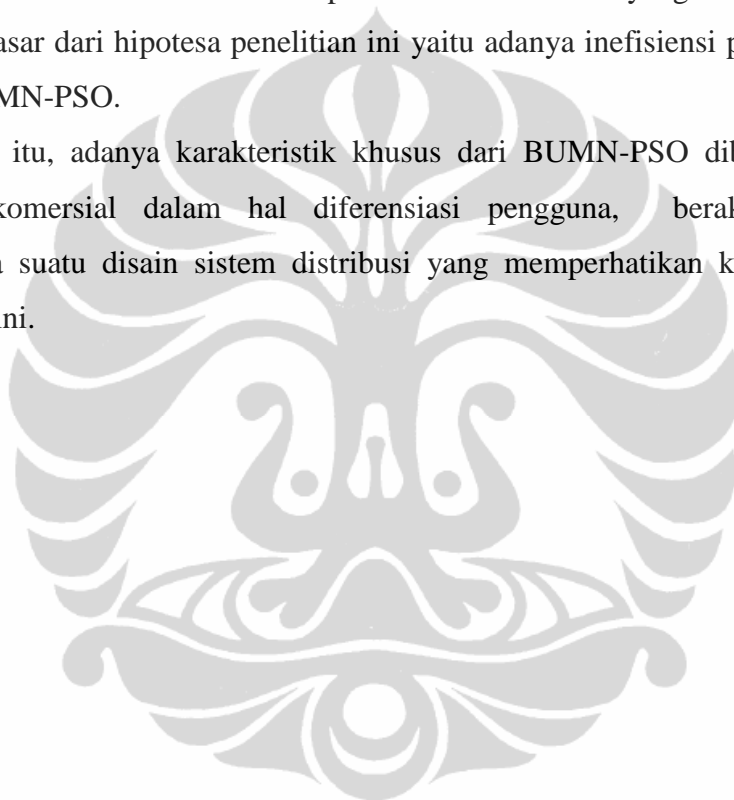
Untuk menggambarkan kondisi sistem distribusi komoditas BUMN-PSO, lebih tepat bila identifikasi dilakukan terhadap keseluruhan sistem logistik. Dari identifikasi terhadap sistem logistik BUMN-PSO ada beberapa karakteristik khusus yang dapat disimpulkan :

1. BUMN-PSO berbentuk perusahaan induk yang membawahi 5 (lima) anak perusahaan, dimana setiap anak perusahaan mengelola pabriknya sendiri, berikut fasilitas dan pemasaran di wilayah-wilayah yang berada di bawah rayon yang menjadi tanggung jawabnya. Manajemen dari setiap anak perusahaan BUMN-PSO bersifat independen satu sama lain. Perusahaan induk BUMN hanya bertanggung jawab pada proses pembebanan produksi untuk tiap anak perusahaan/pabrik serta menjamin terpenuhinya permintaan komoditas subsidi di seluruh wilayah Indonesia.
2. Konsep multikomoditas pada BUMN-PSO sedikit berbeda dibandingkan dengan perusahaan lainnya, yaitu dengan adanya pembedaan atas 4 (empat) jenis (materi) komoditas sekaligus 2 (dua) jenis pengguna dari komoditas tersebut (pengguna subsidi dan non subsidi). Kedua jenis pengguna tersebut berbeda dalam hal kewajiban pemenuhannya serta dalam hal harga jual. Setiap anak perusahaan memproduksi semua atau sebagian dari jenis komoditas tersebut. Keempat jenis komoditas dibentuk oleh satu bahan baku utama yang sama, yaitu gas alam.
3. Orientasi utama setiap anak perusahaan adalah pada pemenuhan kebutuhan subsidi dan perolehan keuntungan perusahaannya sendiri dari komoditas komersial yang dimilikinya. Akibat dari operasional yang independen antar anak perusahaan, orientasi perolehan keuntungan tidak berada pada tingkat sistem (perusahaan keseluruhan) tetapi pada tingkat sub sistem (masing-masing perusahaan anak).
4. Biaya satuan produksi berbeda-beda diantara pabrik akibat perbedaan harga bahan baku dan kinerja peralatan produksi, serta biaya *overhead* lainnya.

5. Jaringan distribusi berbentuk jaringan 4 lini (3 *stages*), yang terdiri dari gudang pabrik di lini I, gudang propinsi di lini II , gudang kabupaten di lini III serta gudang kecamatan di lini IV. Distribusi dari lini I hingga lini IV merupakan tanggung jawab dari produsen, sementara distribusi dari lini IV ke pengguna akhir merupakan tanggung jawab distributor.

Berdasarkan kajian awal terhadap karakteristik-karakteristik tersebut dapat disimpulkan bahwa karakteristik jaringan dan manajemen distribusi BUMN-PSO memiliki potensi dalam berkontribusi pada sistem distribusi yang inefisien. Hal ini menjadi dasar dari hipotesa penelitian ini yaitu adanya inefisiensi pada sistem distribusi BUMN-PSO.

Selain itu, adanya karakteristik khusus dari BUMN-PSO dibandingkan perusahaan komersial dalam hal diferensiasi pengguna, berakibat pada diperlukannya suatu disain sistem distribusi yang memperhatikan karakteristik BUMN-PSO ini.



BAB 3 LANDASAN TEORI

3.1 Pendahuluan

Berdasarkan perumusan masalah sebagaimana dijelaskan pada bab 1, penelitian pada disertasi ini adalah mengenai disain dari suatu sistem distribusi komoditas yang terkait dengan perusahaan yang berbentuk BUMN-PSO. Pada bab 2 dijelaskan tentang konsep dari sistem distribusi, yang sesungguhnya merupakan sub sistem dari sistem logistik. Sistem distribusi menyangkut aktivitas penyimpanan dan perpindahan arus barang jadi (*finished product*) dari titik produksi akhir hingga titik konsumen akhir. Di dalam disertasi ini, disain sistem distribusi difokuskan dalam bentuk penentuan lokasi, jumlah dan ukuran dari gudang-gudang penyimpanan ataupun gudang distribusi dari komoditas BUMN-PSO beserta sistem alokasi permintaan (*demand*)-nya . Disain sistem distribusi yang demikian sering disebut sebagai disain Model Lokasi (*Location Model*). Di dalam bab 3 ini dijelaskan tentang teori-teori yang melandasi Model Lokasi. Pada sub bab 3.2 dijelaskan teori utama dari pengembangan Model Lokasi dan formulasi dari Model Lokasi serta taksonomi dari masalah Model Lokasi. Selanjutnya, pada sub bab 3.3 dijelaskan tentang pendekatan Representasi Jaringan (*Network Representation*) yang digunakan di dalam pengembangan Model Lokasi pada disertasi ini. Pada sub bagian dari sub bab 3.3 ini dijelaskan karakteristik dasar dari Representasi Jaringan serta berbagai masalah dasar arus jaringan (*network flow problem*) yang terkait dengan disertasi ini, yaitu masalah *Shortest Path*, *Maximum Flow* dan *Minimum Cost Flow*. Pada sub bab 3.4 dijelaskan masalah khusus dari *Minimum Cost Flow* yaitu apabila fungsi biaya berbentuk fungsi *concave*. Masalah fungsi *concave* ini menjadi hal khusus dan mendasar di dalam disertasi ini dan fungsi *concave* ini berkaitan dengan prinsip *economy of scale*. Prinsip *economy of scale* dijelaskan pada bagian awal dari sub bab 3.4.

3.2 Model Lokasi

3.2.1 Masalah Lokasi (Location Problem)

Di dalam hampir setiap aktivitas hidupnya, manusia selalu dihadapkan pada pilihan yang terkait dengan lokasi. Dimana seseorang harus memilih lokasi rumahnya atau lokasi sekolahnya. Dimana pihak yang berwenang harus menempatkan lokasi dari kantor polisi, pusat pemadam kebakaran, rumah sakit, dan fasilitas umum lainnya. Selain itu, memilih lokasi juga menjadi bagian dari tugas suatu perusahaan atau pemerintah, misalnya dalam memilih lokasi pabrik, lokasi gudang, lokasi terminal, lokasi pelabuhan dan sebagainya. Proses pemilihan terjadi bila terdapat lebih dari satu pilihan lokasi. Dalam hal demikian, setiap pilihan memiliki konsekuensi dalam berbagai hal, dimana konsekuensi itu dapat dikuantifikasi sesuai tujuan dari pemilihan dan selanjutnya dapat dibandingkan untuk kemudian dilakukan proses penetapan pilihan.

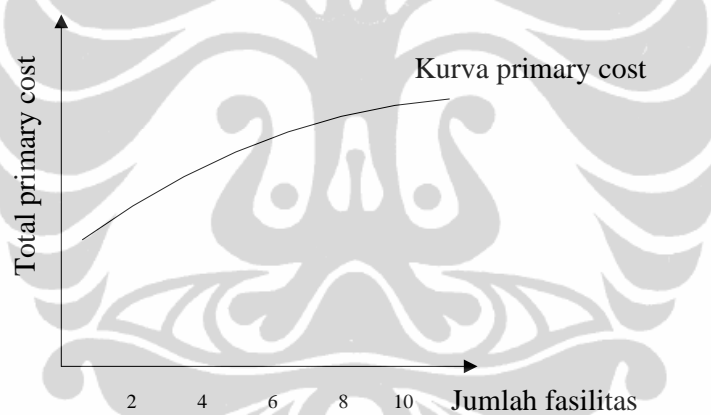
Di dalam perkembangannya dikenal 4 (empat) jenis masalah pemilihan lokasi fasilitas (*location problem*) (Daskin, 1995), yaitu *Covering Problem*, *Center Problem*, *Median Problem* serta *Fixed Charge Location Problem*. Di dalam ketiga masalah yang pertama, variabel biaya tetap fasilitas (*fixed cost of facility*) tidak secara eksplisit digunakan dalam model atau diasumsikan bahwa besarnya adalah sama untuk semua fasilitas. Biaya tetap fasilitas dapat digambarkan sebagai biaya investasi untuk membuka suatu fasilitas. Di dalam implementasinya, biaya tetap fasilitas ini sangat dimungkinkan berbeda-beda di antara fasilitas yang ada serta biaya ini menjadi hal penting untuk dipertimbangkan dalam rangka melihat biaya dan manfaat secara bersamaan akibat penempatan/pembukaan suatu titik fasilitas. Oleh karenanya, pembahasan selanjutnya akan difokuskan pada *fixed charge location problem*. Hal ini dipilih mengingat biaya tetap fasilitas di dalam disertasi ini diasumsikan berbeda-beda antar tiap fasilitas serta jumlah fasilitas tidak menjadi kendala (*constraint*) /tidak dibatasi di dalam model.

Untuk melihat *tradeoff* antara biaya dan manfaat akibat penambahan fasilitas, sebelumnya perlu dijelaskan relasi antara jumlah fasilitas dengan biaya transportasi. Biaya transportasi sesungguhnya dapat dibedakan atas (Rushton et al, 2006) :

- *Primary (trunking/line-haul) cost*
- *Secondary (final) delivery cost*

Primary (trunking/line-haul) cost

Primary cost adalah transportasi komoditas dalam bentuk *bulk (full pallet loads)* dari titik produksi atau titik produk jadi (*finished product*) menuju pusat distribusi. Jumlah titik fasilitas, dalam hal ini pusat distribusi, mempengaruhi keseluruhan *primary cost* ini. Walau dampaknya tidak terlalu besar, penambahan pusat distribusi akan menambah *primary cost*. Dampak terbesar terjadi pada kondisi jumlah fasilitas yang kecil. Gambar 3.1 memperlihatkan relasi antara *primary cost* dengan jumlah fasilitas.



Gambar 3.1 Relasi antara primary cost dengan jumlah fasilitas

Sumber : Rushton et al, 2006

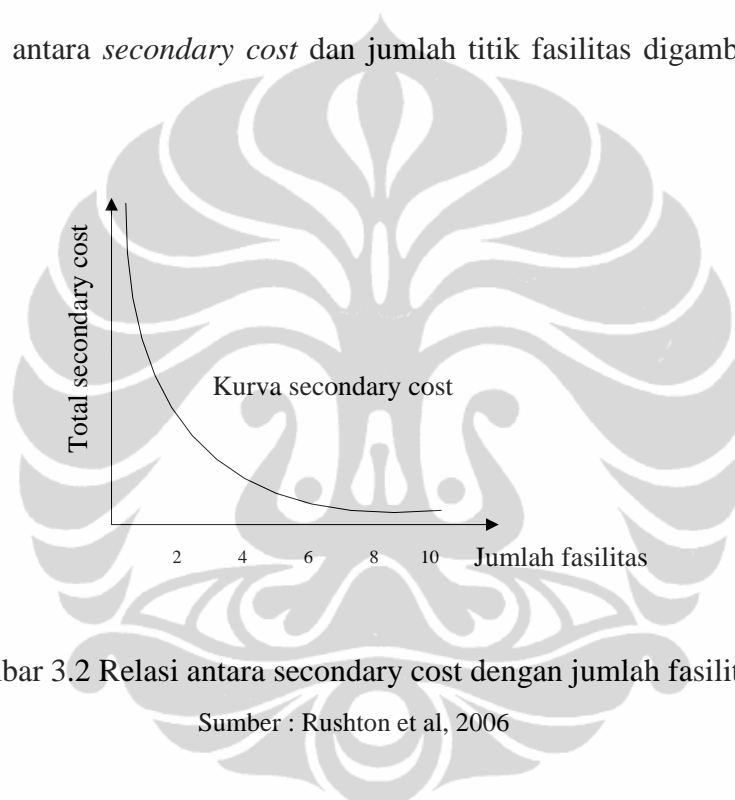
Secondary (final) delivery cost

Secondary cost terkait dengan biaya pengiriman pesanan dari pusat distribusi ke titik konsumen akhir. Kegiatan transportasi ini dapat dilakukan oleh perusahaan yang bersangkutan sendiri atau dapat diserahkan pada pihak ketiga sebagai pelaksanaannya. Besar dari *secondary cost* pada dasarnya sangat tergantung dari jarak yang harus ditempuh untuk mengirimkan komoditas ke titik-titik konsumen akhir. Untuk efisiensi di dalam aktivitas pengiriman, titik-titik konsumen biasanya dikelompokkan ke dalam zona-zona pengiriman (*delivery zone*).

Secondary cost ini sesungguhnya terdiri dari 2 komponen, yaitu :

- *Drop distance*, yaitu total jarak yang ditempuh untuk menjalani zona pengiriman. Besarnya *drop distance* adalah tetap, tidak dipengaruhi oleh jarak zona tersebut terhadap pusat distribusi.
- *Stem distance*, yaitu jarak menuju dan dari zona pengiriman ke pusat distribusi. Besarnya *stem distance* bervariasi terhadap jumlah pusat distribusi di dalam sistem. Semakin banyak jumlah titik pusat distribusi, semakin kecil *stem distance*.

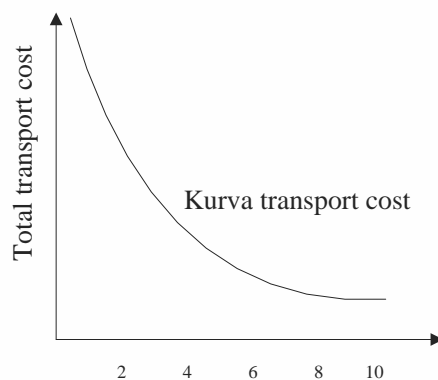
Relasi antara *secondary cost* dan jumlah titik fasilitas digambarkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Relasi antara secondary cost dengan jumlah fasilitas

Sumber : Rushton et al, 2006

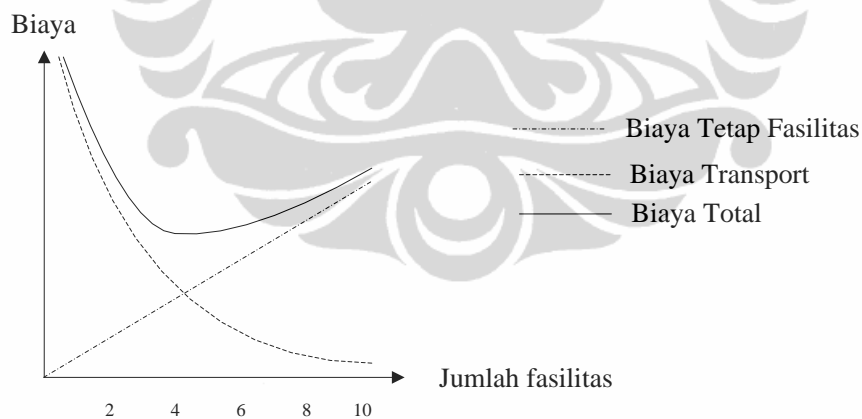
Apabila *primary cost* dan *secondary cost* dikombinasikan , maka biaya total transportasi dapat dihubungkan dengan jumlah pusat distribusi, sebagaimana diperlihatkan pada gambar 3.3. Dampak keseluruhan dari kombinasi kedua jenis biaya transportasi ini adalah bahwa biaya total transportasi akan berkurang dengan bertambahnya jumlah fasilitas/ pusat distribusi.



Gambar 3.3 Relasi antara biaya total transportasi dengan jumlah fasilitas

Sumber : Rushton et al , 2006

Selanjutnya, bila di dalam sistem dipertimbangkan kombinasi antara biaya tetap fasilitas dan biaya transportasi sebagai biaya total, maka *tradeoff* antara biaya dan manfaat akibat penambahan fasilitas dapat digambarkan melalui relasi antara jumlah fasilitas , biaya transportasi, biaya tetap fasilitas serta biaya total, sebagaimana digambarkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. Contoh relasi antara biaya transportasi, biaya tetap fasilitas dan biaya total

Sumber : Daskin M.S. ,1995

Biaya total transportasi sebagaimana digambarkan pada gambar 3.4 merupakan penjumlahan dari *primary cost* dan *secondary cost* dari biaya transportasi. Sebagaimana dijelaskan pada gambar 3.3, biaya (total) transportasi

berkurang dengan bertambahnya jumlah fasilitas. Di sisi lain, biaya tetap fasilitas tentu saja bertambah bila jumlah fasilitas bertambah. Di dalam contoh ini digambarkan kenaikan yang linear di dalam biaya tetap fasilitas. *Tradeoff* diantara keduanya diperlihatkan pada grafik biaya total, dimana pada awalnya biaya total berkurang akibat pengurangan biaya transportasi yang dihasilkan dari penambahan fasilitas lebih besar dari penambahan biaya tetap fasilitas. Pada titik tertentu biaya tetap fasilitas akibat penambahan fasilitas melebihi penghematan biaya transportasi, sehingga pada kondisi ini total biaya bertambah dengan bertambahnya jumlah fasilitas.

3.2.2. Formulasi Fixed Charge Facility Location Problem

Formulasi dari *fixed charge location problem* dijelaskan pada bagian berikut ini, yang dibedakan atas fasilitas yang tidak dibatasi kapasitasnya (*uncapacitated problem*) dan fasilitas yang dibatasi kapasitasnya (*capacitated problem*).

3.2.2.1 Uncapacitated fixed charge location problem

Formulasi dari *uncapacitated fixed charge location problem* dapat dijelaskan sebagai berikut (Daskin, 1995) :

$$\text{Minimize } \sum_j f_j X_j + \alpha \sum_i \sum_j h_i d_{ij} Y_{ij} \quad (3.1)$$

subject to

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (3.2)$$

$$Y_{ij} \leq X_j \quad \forall i, j \quad (3.3)$$

$$X_j = [0, 1] \quad \forall j \quad (3.4)$$

$$Y_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \quad (3.5)$$

Input :

f_j = biaya tetap fasilitas pada kandidat lokasi - j

h_i = permintaan di titik - i

d_{ij} = jarak antara titik permintaan - i dengan kandidat lokasi - j

α = biaya per satuan jarak per satuan permintaan

Variabel Keputusan (*decision variable*) :

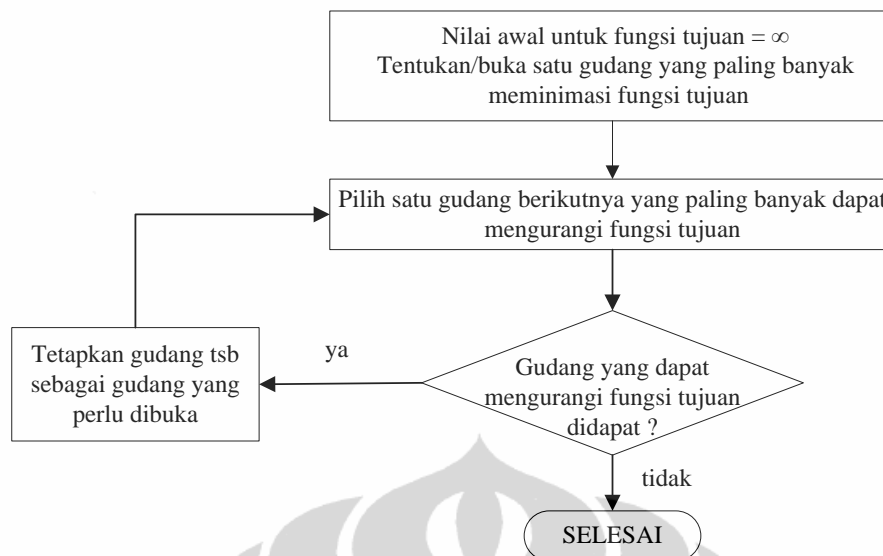
$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{jika kandidat lokasi } - j \text{ dibuka} \\ 0 & \text{jika tidak} \end{cases}$$

Y_{ij} = bagian dari permintaan di titik $- i$ yang dilayani oleh fasilitas di titik $- j$

Fungsi tujuan (*objective function*) dari masalah ini adalah meminimasi biaya total yang terdiri dari biaya tetap fasilitas dan biaya transportasi yang direpresentasikan dalam bentuk perkalian antara jarak yang dibobotkan terhadap jumlah permintaan dengan biaya satuan transportasi. Kendala (3.2) menjamin bahwa seluruh permintaan di titik- i dapat dilayani. Kendala (3.3) menunjukkan bahwa permintaan di titik- i tidak dapat dilayani oleh fasilitas- j kecuali jika fasilitas- j dibuka. Kendala (3.4) dan (3.5) merupakan kendala *integrality* dan non-negatif.

Karena fasilitas didisain sebagai *uncapacitated facility*, maka semua permintaan di titik- i akan dilayani oleh fasilitas yang dibuka dan terdekat dengan titik- i . Akibatnya, nilai Y_{ij} dapat diasumsikan satu.

Berbagai teknik digunakan untuk menyelesaikan *uncapacitated fixed charge location problem*. Diantara teknik-teknik tersebut adalah dengan cara heuristik, yaitu dengan algoritma ADD dan algoritma DROP. Kedua algoritma ini didasarkan pada teori relasi antara jumlah fasilitas dan biaya total sebagaimana dijelaskan pada gambar 3.4. Relasi tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi awal, biaya total akan berkurang dengan bertambahnya jumlah fasilitas. Oleh karenanya, pada algoritma ADD dilakukan upaya untuk mencari fasilitas satu demi satu yang memberikan dampak terbesar pada pengurangan biaya total. Upaya membuka fasilitas dihentikan pada saat tidak ditemukan lagi fasilitas yang apabila dibuka dapat menurunkan biaya total. Diagram alir dari algoritma ADD untuk kasus fasilitas yang tidak dibatasi kapasitasnya diperlihatkan pada gambar 3.5.



Gambar 3.5. Diagram alir algoritma ADD

Sumber : Daskin, 1995 (telah diolah kembali)

Proses pencarian fasilitas dimulai dari satu buah fasilitas. Dalam hal ini, dipilih satu fasilitas yang memberikan nilai fungsi tujuan terkecil bila fasilitas tersebut dibuka. Kemudian, pencarian dilanjutkan dengan kombinasi dari dua buah fasilitas yang apabila dibuka bersamaan dengan fasilitas yang sebelumnya sudah dibuka akan paling banyak memperkecil nilai fungsi tujuan. Proses pencarian berlanjut dengan kombinasi tiga buah fasilitas dan seterusnya. Iterasi berhenti pada saat tidak didapatkan lagi fasilitas yang akibat pembukaannya dapat memperkecil nilai fungsi tujuan.

Algoritma DROP juga menggunakan relasi pada gambar 3.4, hanya relasi tersebut diawali dari sisi akhir dari grafik tersebut, yaitu pada kondisi awal biaya total akan berkurang dengan berkurangnya jumlah fasilitas. Hal ini dapat diterjemahkan bahwa proses iterasi dimulai dari kondisi bahwa semua titik fasilitas dibuka, kemudian dilakukan pencarian fasilitas yang memberikan dampak terbesar dalam menurunkan biaya total apabila fasilitas tersebut ditutup. Iterasi dihentikan pada saat tidak ditemukan lagi fasilitas yang apabila ditutup dapat menurunkan biaya total.

3.2.2.2 Capacitated fixed charge location problem

Capacitated fixed charge location problem dapat digambarkan sebagai masalah untuk menentukan lokasi fasilitas yang dapat memberikan biaya total sekecil mungkin dengan dibatasi oleh keharusan memenuhi permintaan yang ada, serta kapasitas fasilitas yang tidak boleh terlampaui.

Formulasi dari *capacitated fixed charge location problem* dijelaskan sebagai berikut (Daskin, 1995) :

$$\text{Minimize } \sum_j f_j X_j + \alpha \sum_i \sum_j h_i d_{ij} Y_{ij} \quad (3.6)$$

subject to

$$\sum_j Y_{ij} = 1 \quad \forall i \quad (3.7)$$

$$Y_{ij} \leq X_j \quad \forall i, j \quad (3.8)$$

$$\sum_i h_i Y_{ij} \leq u_j X_j \quad \forall j \quad (3.9)$$

$$X_j = [0, 1] \quad \forall j \quad (3.10)$$

$$Y_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \quad (3.11)$$

Input :

f_j = biaya tetap fasilitas pada kandidat lokasi - j

h_i = permintaan di titik - i

d_{ij} = jarak antara titik permintaan - i dengan kandidat lokasi - j

α = biaya per satuan jarak per satuan permintaan

u_j = kapasitas fasilitas di kandidat lokasi- j

Variabel Keputusan :

$$X_j = \begin{cases} 1 & \text{jika kandidat lokasi - } j \text{ dibuka} \\ 0 & \text{jika tidak} \end{cases}$$

Y_{ij} = bagian dari permintaan di titik - i yang dilayani oleh fasilitas di titik - j

Formulasi *capacitated fixed charge location problem* dibedakan dengan formulasi *uncapacitated fixed charge location problem* hanya pada kendala yang terkait dengan pembatasan kapasitas fasilitas (persamaan 3.9).

Capacitated fixed charge location problem dapat diselesaikan antara lain dengan pendekatan *Lagrangian Relaxation*.

3.2.3 Model Lokasi (Location Model)

Model Lokasi adalah alat yang dapat digunakan untuk menginvestigasi secara kuantitatif masalah pemilihan lokasi. Tujuan dari pemodelan adalah untuk mengidentifikasi *tradeoff* diantara berbagai tujuan dari model sekaligus mengakomodasikan variabel-variabel yang menyangkut pemilihan lokasi sedekat mungkin dengan kondisi nyata, sehingga model menjadi terjaga kredibilitasnya. Pada dasarnya, keputusan di dalam pemilihan lokasi (*location decision*) adalah bersifat strategis dan untuk jangka waktu panjang. Oleh karenanya, banyak kemungkinan tujuan yang akan dapat saling bertentangan atau berkompetisi yang harus dipertimbangkan.

Model Lokasi didisain untuk menjawab beberapa pertanyaan, diantaranya adalah :

- Berapa banyak fasilitas yang harus dibuka ?
- Dimana fasilitas-fasilitas tersebut harus ditempatkan ?
- Berapa ukuran dari fasilitas-fasilitas tersebut ?
- Bagaimana permintaan dialokasikan pada fasilitas-fasilitas tersebut ?

3.2.4 Taksonomi Model Lokasi

Penelitian mengenai Model Lokasi merupakan topik penelitian yang telah dikaji lebih dari satu abad. Alfred Weber mengawalinya di tahun 1909 melalui kajiannya tentang lokasi pabrik, yang terdiri dari dua sumber (*resources*) dan satu titik pasar (*market*). Kuhn dan Kuenne (1962) dan Cooper (1963) mendasari penelitian mereka pada model Weber dan menggunakan pendekatan minimasi jumlah jarak antara satu titik pusat dengan beberapa titik permintaan dengan membobot (*weighting*) setiap titik permintaan tersebut berdasarkan besarnya permintaan, sumber daya (*resource*) yang dibutuhkan untuk mendistribusikan produk, populasi, dan lain-lain (ReVelle, C., Marks, D. and Liebman, J.C., 1970).

Kuehn dkk (Kuehn dan Hamburger, 1963), Feldman dkk (Feldman, Lehrer dan Ray, 1966) serta Efroymson dkk (Efroymson dan Ray, 1966) mengawali model-model lokasi yang melibatkan variabel biaya transportasi dan biaya fasilitas (*facility cost*) di dalam model mereka. Kajian mereka dibedakan atas bentuk fungsi dari kedua variabel tersebut serta metode dalam penentuan dibuka

atau ditutupnya fasilitas. Kuehn dkk dan Feldman dkk mencari solusi model dengan melakukan cara heuristik, yaitu dengan mencoba berbagai kombinasi dibuka tutupnya fasilitas, sehingga dicapai biaya total yang terkecil. Sedangkan Efroymson dkk mulai memperkenalkan bilangan binari $[0,1]$ (*binary variable*) untuk merepresentasikan dibuka atau ditutupnya fasilitas di dalam formulasi model.

Penelitian-penelitian berikutnya merupakan pengembangan dari model tersebut. Secara umum, penelitian-penelitian ini dibedakan atas karakteristik yang terkait dengan hal sebagai berikut :

1. Jenis variabel yang disertakan di dalam model

Umumnya variabel biaya transportasi dan biaya tetap fasilitas (*fixed cost of facility*) menjadi variabel utama dari model lokasi. Dengan adanya kepentingan-kepentingan khusus dari pengguna model lokasi, penelitian model lokasi berkembang dengan melibatkan berbagai variabel tambahan yang disesuaikan dengan tujuan dari masing-masing penelitian. Variabel-variabel tersebut antara lain :

- *Throughput cost of facility*, yaitu biaya yang timbul akibat operasional bongkar muat (*loading/unloading*) (Ricciardi, Tadei dan Grosso, 2002)
- *Inventory Cost (safety stock)*, yaitu biaya yang timbul akibat proses penyimpanan produk cadangan (Nozick dan Turnquist, 1998)
- Harga jual (Hodder dan Dincer, 1985)
- Biaya produksi (Bhutta, Huq, Frazier dan Mohamed, 2003)
- Lain-lain, seperti Kualitas Pelayanan, yaitu tingkat *coverage* dari permintaan (Nozick dan Turnquist, 2001), *exchange* dan *tariff rates* (Bhutta, Huq, Frazier dan Mohamed, 2003), dan lain-lain.

Variable-variabel tersebut selain bersifat berdiri sendiri, pada beberapa model digabung ke dalam satu variabel, yaitu menjadi variabel *Generalized Cost*, seperti penggabungan biaya produksi dan biaya transportasi (Hodder dan Dincer, 1985), *build-up cost*, *distribution cost* dan *delivery cost* (Dupont, 2008).

2. Jumlah *echelon* dari jaringan distribusi

Sebagian besar penelitian berorientasi pada sistem *single echelon*, yaitu antara titik sumber dan permintaan. Marks (1969) mulai memperkenalkan titik antara (*intermediate point*) sebagai titik singgah antara titik sumber dan titik permintaan (ReVelle, C., Marks, D. dan Liebman, J.C. (1970). Lin (Lin, 2002) menggunakan 3 (tiga) tingkat jalur distribusi, yaitu antara pabrik – pusat konsolidasi, pusat konsolidasi – pusat distribusi dan pusat distribusi – pengecer. Namun juga dimungkinkan adanya jalur distribusi antara pabrik - pusat distribusi.

3. Jenis/fungsi fasilitas

Model lokasi dibedakan atas jenis fasilitas, yaitu fasilitas publik (*public facility*) (Ross dan Soland, 1980) dan fasilitas pribadi atau komersial. Keduanya dibedakan mengingat fungsi tujuan keduanya berbeda. Keputusan dalam pemilihan lokasi fasilitas komersial (seperti pabrik, gudang, terminal barang) sangat didasari pada prinsip minimasi biaya atau maksimasi keuntungan dari pemilik perusahaan. Sedangkan pada fasilitas publik (seperti pos polisi, sekolah, rumah sakit), keputusan dibuat dengan mempertimbangkan banyak “pemilik”, yaitu masyarakat/publik sebagai suatu kesatuan dan tujuannya adalah untuk memaksimalkan keuntungan atau meminimasi biaya. Dalam hal terakhir ini, tujuan seringkali sulit untuk dikuantifikasi dalam bentuk nilai mata uang (*monetary value*).

4. Kompleksitas fungsi dari variabel model

- *Random/stochastic* dan *deterministic*.

Beberapa model melibatkan unsur ketidakpastian di dalam salah satu atau lebih variabel yang terlibat, seperti variabel *throughput cost of facility* pada model Ricciardi, dkk (Ricciardi, Tadei dan Grosso, 2002), *uncertain demand* pada model Nozick dkk (Nozick dan Turnquist, 2001) dan *uncertain price* pada model Hodder dkk (Hodder dan Dincer, 1985).

- Linieritas dari fungsi tujuan

Sebagian besar variabel model berbentuk linear dan ini merupakan bentuk paling sederhana. Pada beberapa model, linearitas ini digantikan dengan fungsi *concave* (Lin, 2002; Harkness dan ReVelle, 2003; Dupont, 2008]. Fungsi *concave* dianggap lebih mewakili keadaan sesungguhnya dari sistem distribusi barang, yaitu dalam hal biaya produksi, biaya fasilitas dan biaya transportasi. Pada praktek di lapangan, kecenderungan yang terjadi adalah penambahan volume mengakibatkan pengurangan *marginal cost*, sehingga biaya total menjadi bersifat *concave* terhadap volume produk. Prinsip ini disebut sebagai *economy of scale*.

- *Exogenous* dan *endogenous variable*

Umumnya variabel model bersifat *endogenous*, yaitu nilai diperoleh di dalam model, namun pada beberapa model, nilai variabel diperoleh melalui proses di luar model (*exogenous variable*) (Bhutta, Huq, Frazier dan Mohamed, 2003).

5. Jumlah titik asal (*origin*) dan titik tujuan (*destination*)

Model dibedakan atas jumlah titik asal yang tunggal titik tujuan yang banyak (*single origin multiple destinations*) atau jumlah titik asal dan titik tujuan yang banyak (*multiple origins multiple destinations*) (Lin, 2002).

6. Konsiderasi kapasitas

Jaringan distribusi (titik dan ruas) yang mendasari model dibedakan atas *capacitated* (Amberg, Domschke dan Voß, 2000; Sankaran, 2007; Klose dan Görtz, 2007) dan *uncapacitated* (Hodder dan Dincer, 1985; Dupont, 2008; Lin, 2002), tergantung pada pembatasan atas besar maksimum produk yang melewati titik ataupun ruas.

7. Jumlah jenis komoditas

Jumlah jenis komoditas yang terlibat dalam model dibedakan atas komoditas tunggal (*single commodity*) (Ricciardi, Tadei dan Grosso, 2002; Dupont, 2008) dan multi komoditas (*multiple commodities*) (Lin, 2002).

8. Pendekatan solusi model

Mengingat sifat dari Model Lokasi yang kombinatorik, pada umumnya pendekatan solusi dari model dilakukan melalui pendekatan heuristik dengan berbagai teknik solusi, yaitu antara lain:

- *Branch and bound algorithm* (Dupont, 2008)
- *Lagrangean relaxation* (Aras, Altinel dan Orbay, 2007)
- *Tabu search* (Michel dan Henterryck, 2004; Sun, 2006)
- *Simulated annealing algorithm* (Yigit, Aydin dan Turkbey, 2006)

Taksonomi dari beberapa penelitian Model Lokasi diperlihatkan pada tabel 8.1. Pada tabel tersebut, dijelaskan secara singkat karakter dari penelitian-penelitian tersebut dalam beberapa hal, yaitu bentuk fungsi tujuan, variabel yang disertakan, variabel keputusan, kendala kapasitas, jumlah komoditas, diferensiasi permintaan, jumlah lini serta jumlah fasilitas. Selain itu, pada tabel tersebut juga dijelaskan *state of the art* dari penelitian disertasi ini.

Hal yang dapat dicatat dari *state of the art* penelitian ini adalah bahwa Model Lokasi yang dikembangkan memiliki *state of the art* utama yaitu dalam hal pertimbangannya terhadap karakteristik perusahaan yang berbentuk BUMN-PSO. Semua penelitian yang dikaji berbentuk perusahaan komersial.

3.3 Representasi Jaringan (Network Representation)

3.3.1 Karakteristik Representasi Jaringan

Representasi Jaringan (RJ) adalah formulasi model yang didasarkan pada arus jaringan (*network flow*). RJ sering juga disebut sebagai *network flow-based formulation* (Glover, Klingman dan Phillips, 1992) . RJ memiliki karakteristik yaitu penggunaan diagram sebagaimana yang digunakan pada teori *graph* dan teori arus jaringan. RJ digunakan sebagai alat di dalam penyelesaian berbagai masalah pengambilan keputusan (*decision support tool*). Komponen visual dari RJ membuat masalah pengambilan keputusan menjadi lebih mudah untuk dipahami , dibandingkan dengan teknik-teknik formulasi yang menggunakan bentuk numerik (matematis).

Di dalam RJ, bentuk model matematis yang menjadi dasar pemodelan dan pengambilan keputusan dibentuk secara langsung ke dalam bentuk gambar jaringan, sehingga dapat diperoleh pemahaman yang lebih baik terhadap relasi-relasi diantara komponen-komponen model. Keuntungan ini menjadikan RJ sangat bermanfaat bagi praktisi maupun manager, yang memiliki kecenderungan memilih teknik solusi visual dibandingkan teknik solusi canggih namun bersifat numerik dalam penyelesaian masalahnya.

Bentuk-bentuk model dasar dari RJ diantaranya *minimum cost flow problem*, *maximum flow*, *shortest path*, *assignment*, *travelling salesman problem*, dan lain lain. Berbagai algoritma telah dikembangkan untuk penyelesaian model-model tsb. Oleh karenanya, prinsip dasar dari formulasi masalah dengan RJ adalah menterjemahkan masalah dasar (*original problem*) ke dalam bentuk model dasar tersebut di atas, sehingga penyelesaiannya dapat memanfaatkan algoritma solusi yang sudah dikembangkan. Fokus permasalahan sekarang berada pada proses penterjemahan dan transformasi masalah dasar ke dalam bentuk RJ.

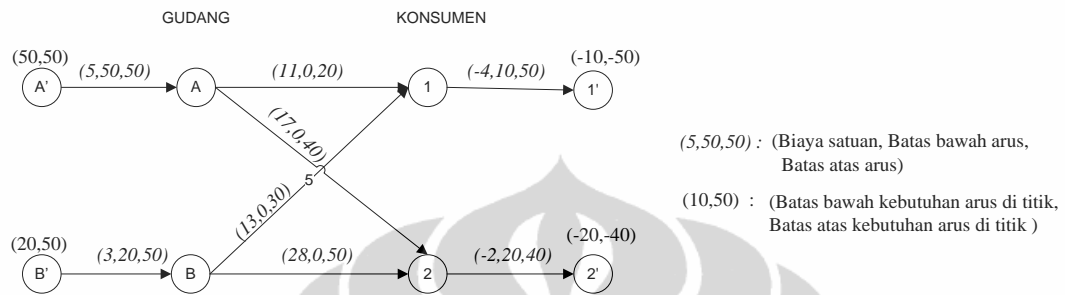
Komponen dari RJ adalah ruas (*link*) dan titik (*node*). Setiap ruas dan titik selalu mewakili aktivitas tertentu dan memiliki karakteristik berupa :

- Biaya satuan, yaitu biaya yang akan dikenakan kepada setiap arus yang melewati ruas/titik tertentu
- Arus (*flow*) yang melewati ruas
- Nilai batas atas dan batas bawah dari arus di ruas
- Nilai batas atas dan batas bawah kebutuhan arus di titik (*node flow requirement*)

Biaya total dari seluruh arus yang melalui jaringan adalah penjumlahan semua biaya dari setiap ruas, yaitu biaya satuan ruas dikali dengan jumlah arus di ruas yang bersangkutan (bila biaya total merupakan fungsi linear).

Masalah dasar (*original problem*) dalam pengambilan keputusan umumnya berbentuk formulasi matematis. Sebagai contoh, di dalam permasalahan pengambilan keputusan atas proses pembebanan produk (*product assignment*), model dasar optimasi dibentuk ke dalam model matematis yang memiliki fungsi tujuan memaksimalkan keuntungan. Keuntungan digambarkan

dalam bentuk selisih pendapatan (*revenue*) dan biaya. Keputusan diambil berdasarkan nilai fungsi tujuan terbaik dari berbagai alternatif pilihan solusi. Gambar 3.6 menjelaskan proses transformasi model dasar permasalahan tersebut menjadi bentuk formulasi RJ.



Gambar 3.6. Contoh formulasi representasi jaringan

Fungsi tujuan dari model dasar pada gambar 3.6 adalah :

Maximize Profit = Pendapatan - Biaya Gudang - Biaya Transportasi ,

atau dapat dianalogikan sebagai fungsi :

Minimize (- Profit) = Biaya Gudang + Biaya Transportasi - Pendapatan

Pada gambar 3.6, biaya gudang direpresentasikan ke dalam biaya ruas antara titik $A'-A$ dan $B'-B$, dengan nilai positif. Biaya transportasi direpresentasikan ke dalam biaya ruas $A-1$, $A-2$, $B-1$ dan $B-2$, juga dengan nilai positif. Sedangkan, variabel pendapatan direpresentasikan ke dalam biaya ruas $1-1'$ dan $2-2'$, dengan nilai negatif.

Nilai-nilai yang tercantum pada setiap ruas pada gambar 3.6 adalah biaya yang dibutuhkan oleh satu unit arus untuk menjalani aktivitas yang terkait dengan ruas yang bersangkutan, nilai batas atas arus di ruas serta nilai batas bawah arus di ruas tersebut. Karena ruas $A'-A$ dan $B'-B$ adalah ruas yang merepresentasikan biaya gudang, maka biaya satuan di ruas $A'-A$ dan $B'-B$ menunjukkan biaya untuk mengelola satu unit produk, berturut-turut di gudang A dan B . Biaya satuan di ruas $A-1$, $A-2$, $B-1$ dan $B-2$ menggambarkan biaya untuk memindahkan satu unit produk dari titik awal ruas ke titik akhir ruas. Selanjutnya, karena ruas $1-1'$ dan $2-2'$ merepresentasikan pendapatan, maka nilai biaya satuan di ruas-ruas tersebut menggambarkan harga jual satu unit produk , berturut-turut di titik konsumen 1

dan 2. Nilai biaya satuan di ruas-ruas ini menjadi negatif karena sifatnya yang berlawanan terhadap biaya gudang dan biaya transportasi.

Nilai-nilai yang tercantum pada titik disebut sebagai kebutuhan arus di titik (*node flow requirement*). Bila kebutuhan arus di titik lebih besar dari nol, maka titik tersebut disebut titik suplai, sedangkan bila kebutuhan arus di titik lebih kecil dari nol, maka titik tersebut disebut titik permintaan. Karena kebutuhan arus di titik A' dan B' lebih besar dari nol, maka titik A' dan B' disebut sebagai titik suplai atau disebut juga sebagai titik sumber (*source node*), sedangkan titik $1'$ dan $2'$ disebut sebagai titik permintaan atau titik terminal (*sink node*) karena kebutuhan arus di titik-titik tersebut negatif. Sementara titik A , B , 1 dan 2 disebut sebagai titik antara (*intermediate node*) karena kebutuhan arus di titik-titik tersebut nol. Kebutuhan arus di titik sumber A' dan B' menggambarkan nilai batas atas dan batas bawah dari kemampuan suplai, berturut-turut untuk gudang A dan B , sementara kebutuhan arus di titik terminal $1'$ dan $2'$ menggambarkan nilai batas atas dan batas bawah dari permintaan yang harus dipenuhi, berturut-turut di titik 1 dan 2 . Kebutuhan arus di titik A , B , 1 dan 2 adalah nol karena titik-titik tersebut hanya sebagai titik-titik antara.

Dengan menjumlahkan semua biaya ruas dari ruas-ruas yang ada, maka dapat dibentuk fungsi tujuan, yaitu meminimasi (-profit) dan selanjutnya proses optimasi dapat dilakukan untuk menentukan kombinasi arus (sebagai variabel keputusan) yang dapat memberikan nilai minimum terhadap fungsi tujuan tersebut. Proses optimasi sebagaimana digambarkan pada permasalahan gambar 3.6 di dalam masalah arus jaringan sering disebut sebagai masalah *Minimum Cost Flow*. Penjelasan tentang masalah *Minimum Cost Flow*, serta masalah-masalah arus jaringan lainnya, yaitu *Maximum Flow* dan *Shortest Path* dijelaskan pada bagian selanjutnya.

3.3.2 Shortest Path

Apabila graph $G = (N, A)$ adalah jaringan berarah (*directed network*) dengan suatu kumpulan N yang terdiri dari n titik dan suatu kumpulan A yang terdiri dari m ruas berarah (*directed links*) serta titik s merupakan titik sumber, maka masalah *Shortest Path* (*SP*) adalah bagaimana menentukan jarak *path* berarah (*directed path*) yang terpendek dari titik s ke setiap titik $i \in N$ yang

bukan titik sumber . Masalah ini dapat dilihat sebagai cara untuk mengirim satu unit arus semurah mungkin dari titik s ke semua titik lainnya yang bukan titik s , pada jaringan yang tidak dibatasi kapasitasnya.

Masalah SP tersebut dapat diformulasikan sebagai berikut (Ahuja et al, 1993) :

$$\text{Minimize } \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (3.12)$$

subject to :

$$\sum_{(j:(i,j) \in A)} x_{ij} - \sum_{(j:(j,i) \in A)} x_{ji} = \begin{cases} n-1 & \text{untuk } i = s \\ -1 & \forall i \in N - \{s\} \end{cases} \quad (3.13)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall (i,j) \in A \quad (3.14)$$

dimana :

c_{ij} = biaya satuan ruas (i,j)

Variabel Keputusan :

x_{ij} = arus di ruas (i,j)

Persamaan (3.13) merupakan kendala konservasi arus (*flow conservation constraint*) atau sering juga disebut dengan kendala keseimbangan massa (*mass balance constraint*). Sementara, persamaan (3.14) merupakan kendala non-negatif (*non negative constraint*).

3.3.2.1 Algoritma Masalah Shortest Path

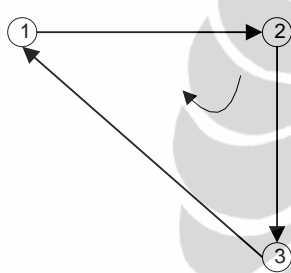
Pendekatan algoritma untuk penyelesaian masalah SP dikelompokkan ke dalam 2 (dua) kelompok, yaitu (Ahuja, Magnanti dan Orlin, 1993) :

1. *Label Setting*
2. *Label Correcting*

Kedua pendekatan tersebut bersifat iteratif. Pada setiap tahap iterasi, setiap titik diberikan label jarak (*distance label*) yang sifatnya tentatif, dan dimungkinkan akan berubah-ubah pada iterasi berikutnya. Label jarak menggambarkan perkiraan jarak terpendek dari titik sumber ke setiap titik lainnya. Kedua pendekatan tersebut berbeda di dalam hal cara memperbarui nilai

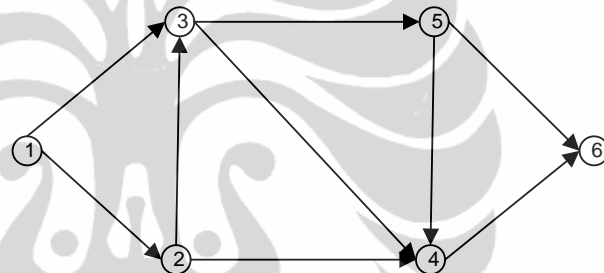
label jarak dari satu iterasi ke iterasi berikutnya serta bagaimana konvergensi dari iterasi tercapai untuk menuju jarak *path* terpendek (*SP*).

Pada *Label Setting*, pada setiap iterasi ditentukan satu label jarak yang optimal dan sifatnya tetap, sedangkan pada *Label Correcting*, semua label jarak bersifat sementara dan menjadi tetap pada iterasi akhir. Algoritma *Label Setting* hanya dapat digunakan untuk jaringan *acyclic* dengan panjang ruas yang sembarang serta untuk jaringan yang memiliki panjang ruas non-negatif. Jaringan *acyclic* adalah jaringan yang tidak mengandung *cycle* berarah (*directed cycle*). Contoh suatu *cycle* berarah dan jaringan *acyclic* diperlihatkan pada gambar 3.7a dan 3.7b. Di sisi lain, *Label Correcting* dapat digunakan untuk semua masalah, tanpa pembatasan.



Gambar 3.7a
Contoh Cycle Berarah

Sumber : Ahuja et al, 1993



Gambar 3.7b
Contoh Jaringan Acyclic

Sumber : Ahuja et al, 1993

3.3.2.2 Label Correcting Algorithm

Algoritma *Label Correcting* selalu mempertahankan suatu kumpulan label jarak $d(i)$ bagi semua titik- i . Suatu label jarak $d(i)$ akan memiliki salah satu dari nilai berikut :

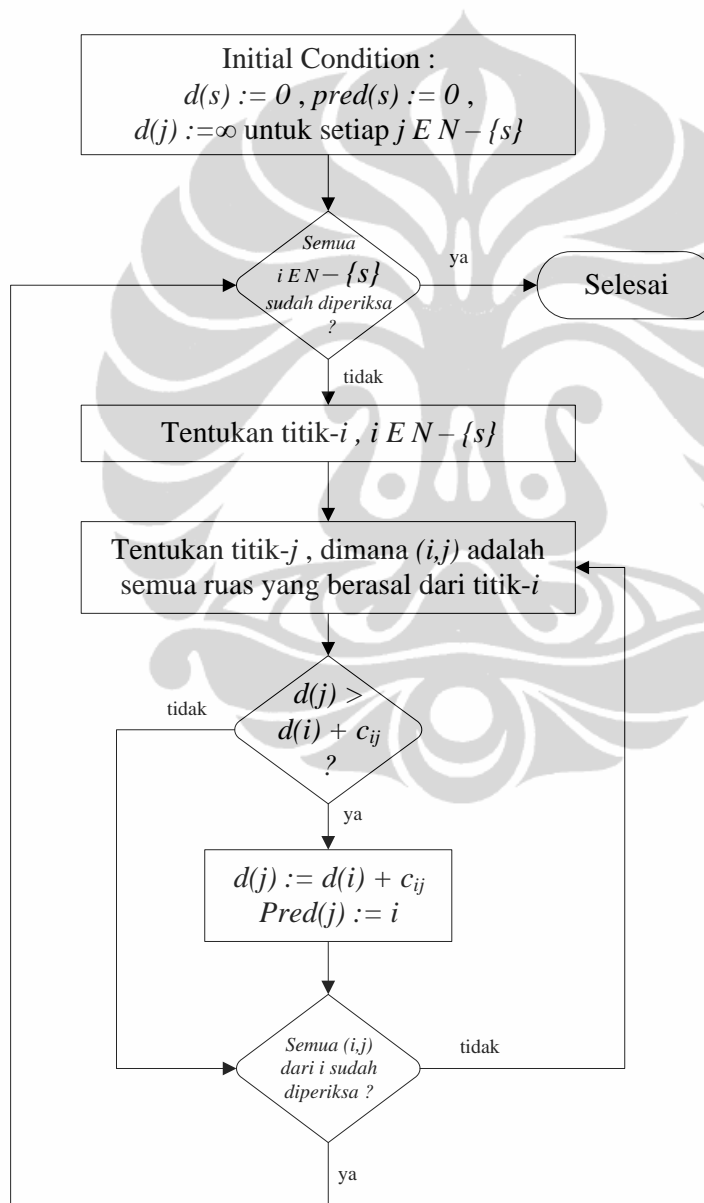
- Nilai ∞ (tak hingga) , menunjukkan bahwa *path* berarah dari titik s ke titik j masih harus ditentukan.
- Nilai tertentu , yang menunjukkan panjang dari beberapa *path* berarah dari titik s ke titik j .

Untuk setiap titik j ditentukan suatu *predecessor index* , $pred(j)$, yang menunjukkan titik sebelum titik- j di dalam *path* berarah terkait yang berlabel

$d(j)$. Pada akhir iterasi *Label Correcting*, titik-titik *predecessor* ini digunakan untuk menelusuri *SP* dari titik sumber ke titik- j . Prosedur *Label Correcting* berkaitan dengan tahapan untuk memperbarui label jarak secara berurutan hingga tercapai kondisi keoptimalan *SP* sebagai berikut :

$$d(j) \leq d(i) + c_{ij} \quad \forall (i, j) \in A \quad (3.15)$$

Prosedur *Label Correcting* digambarkan pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Prosedur algoritma Label Correcting

Sumber : Ahuja et al, 1993 (telah diolah kembali)

3.3.3 Maximum Flow

Apabila *graph* $G = (N, A)$ adalah jaringan yang kapasitas ruas-nya dibatasi, yaitu non-negatif u_{ij} , maka masalah *Maximum Flow (MF)* bertujuan untuk mengirim sebanyak mungkin arus dari titik sumber s ke titik terminal t , tanpa melampaui kapasitas setiap ruas serta kendala keseimbangan.

Masalah *MF* tersebut diformulasikan sebagai berikut (Ahuja, Magnanti dan Orlin, 1993) :

Maximize v

subject to

$$\sum_{(j:(i,j) \in A)} x_{ij} - \sum_{(j:(j,i) \in A)} x_{ji} = \begin{cases} v & \text{untuk } i = s \\ 0 & \forall i \in N - \{s \text{ dan } t\} \\ -v & \text{untuk } i = t \end{cases} \quad (3.16)$$

$$0 \leq x_{ij} \leq u_{ij} \quad \forall (i, j) \in A \quad (3.17)$$

dimana :

v = nilai dari arus (sebagai variabel skalar)

u_{ij} = arus di ruas (i, j)

Variabel Keputusan :

x_{ij} = arus di ruas (i, j)

Beberapa terminologi terkait dengan algoritma solusi masalah *Maximum Flow* dijelaskan sebagai berikut :

1. *Transformed Network*

Di dalam berbagai masalah arus jaringan, seringkali jaringan asal (*original network*) ditransformasikan ke dalam suatu jaringan yang berbentuk satu titik sumber dan satu titik terminal serta beberapa titik antara. Transformasi tersebut dilakukan dengan cara menambahkan satu titik sumber s (*source*) dan satu titik terminal t (*sink*) ke dalam jaringan asal. Dari setiap titik- i dari jaringan asal yang memiliki nilai $b(i) > 0$, ditambahkan ruas-ruas berbiaya nol (*zero cost link*) (s, i) dengan kapasitas ruas sebesar $b(i)$. Sedangkan dari setiap titik- i

yang memiliki nilai $b(i) < 0$, ditambahkan ruas-ruas berbiaya nol (i,t) dengan kapasitas ruas sebesar $-b(i)$. *Transformed Network* dinotasikan sebagai $G = (N,A)$.

2. Residual Network

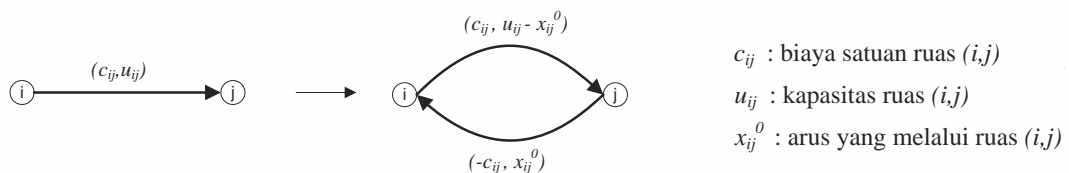
Masalah arus jaringan seringkali berkaitan dengan proses iterasi, dimana besarnya arus pada ruas pada tiap iterasi bersifat semu, demikian pula dengan kapasitas ruas. Kapasitas ruas berubah menjadi kapasitas tersisa, yaitu sisa maksimum arus yang masih dapat melalui ruas tersebut tanpa melewati kapasitasnya. *Residual Network* yaitu jaringan yang ruas-ruasnya menggambarkan kapasitas sisa (*residual capacity*).

Terkait dengan arus tertentu x^0 , *Residual Network* didefinisikan sebagai berikut:

Untuk setiap ruas (i,j) dari jaringan asal selalu terdapat ruas (j,i) , sehingga setiap ruas (i,j) digantikan dengan dua ruas, yaitu :

- Ruas (i,j) , yang memiliki biaya satuan c_{ij} dan kapasitas sisa $r_{ij} = u_{ij} - x_{ij}^0$
- Ruas (j,i) , yang memiliki biaya satuan $-c_{ij}$ dan kapasitas sisa $r_{ji} = x_{ij}^0$

Residual Network terdiri dari hanya ruas-ruas yang memiliki kapasitas sisa yang positif. Notasi dari *Residual Network* yang terkait dengan arus x^0 adalah $G(x^0)$. Contoh dari *Residual Network* diperlihatkan pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Contoh pembentukan Residual Network $G(x^0)$

Sumber : Ahuja et al, 1993

3.3.3.1 Algoritma Masalah Maximum Flow

Algoritma solusi masalah *Maximum Flow* pada dasarnya dibedakan atas dua kelompok :

1. *Augmenting Path algorithm*

Pada algoritma ini, arus ditambahkan secara bertahap kepada *path-path* diantara titik sumber dan titik terminal dari *Transformed Network*. Kondisi keseimbangan massa selalu dijaga pada setiap titik selain titik sumber dan titik terminal.

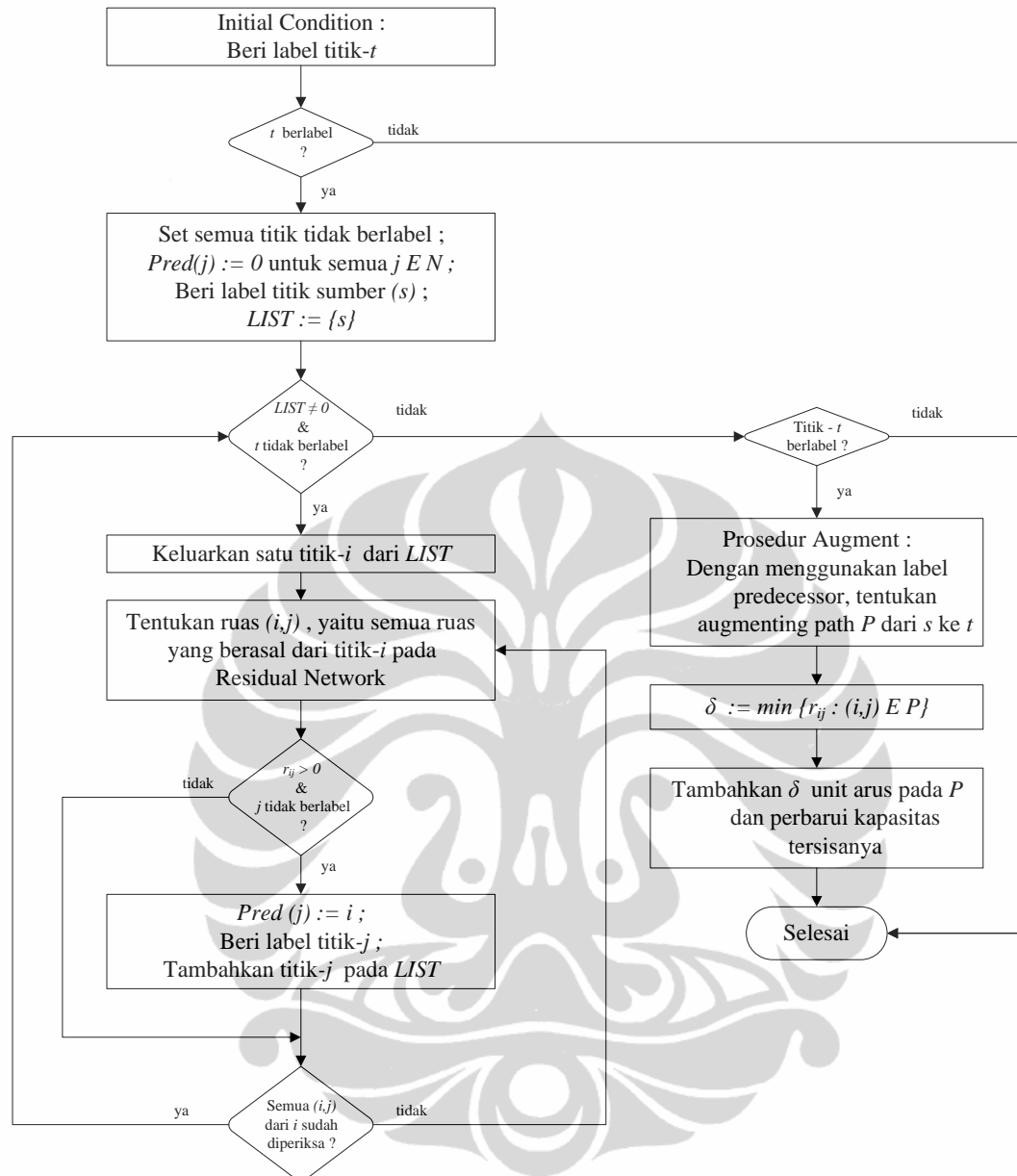
Salah satu algoritma yang termasuk di dalam kelompok ini adalah *Labeling algorithm*.

2. *Preflow-push algorithm*

Pada algoritma ini arus dikurangi secara bertahap dari titik-titik yang berlebihan arus dengan mengirim arus dari titik di depannya menuju ke titik terminal atau dari titik di belakangnya menuju ke titik sumber.

3.3.3.2 Labeling Algorithm

Algoritma *Labeling* berkaitan dengan suatu *augmenting path*, yaitu suatu *path* berarah (*directed path*) dari titik sumber ke titik terminal pada *Residual Network*. Kapasitas tersisa (*residual capacity*) dari suatu *augmenting path* adalah kapasitas tersisa paling kecil dari ruas-ruas yang ada di dalam *path* tersebut. Pada setiap jaringan yang memiliki suatu *augmenting path*, dapat dipastikan bahwa arus tambahan dapat dikirimkan dari titik sumber ke titik terminal. Algoritma ini didasarkan pada prinsip bahwa pencarian *augmenting path* serta *augmenting flow*-nya dilakukan hingga jaringan tidak lagi memiliki *path* tersebut. Prosedur algoritma *Labeling* digambarkan pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Prosedur Algoritma Labeling

Sumber : Ahuja et al, 1993 (telah diolah kembali)

3.3.4 Minimum Cost Flow

Masalah Minimum Cost Flow (*MCF*) merupakan masalah arus jaringan yang paling fundamental. Masalah *MCF* bertujuan untuk menentukan biaya yang paling minimum untuk mengangkut suatu komoditas di dalam suatu jaringan, dalam rangka memenuhi permintaan di titik-titik tertentu dari suplai yang tersedia di titik-titik lainnya (Ahuja, Magnanti dan Orlin, 1993).

Pada model dasar dari *MCF*, diasumsikan biaya arus total di suatu ruas berhubungan secara linear dengan jumlah arus di ruas tersebut atau dapat dikatakan bahwa pada *MCF* biaya satuan ruas adalah tetap, tidak tergantung pada besarnya arus di ruas.

Apabila *graph* $G = (N, A)$ adalah jaringan berarah (*directed network*) dengan suatu kumpulan N yang terdiri dari n titik dan suatu kumpulan A yang terdiri dari m ruas berarah (*directed links*), maka masalah *MCF* adalah suatu model optimasi yang diformulasikan sebagai berikut (Ahuja, Magnanti dan Orlin, 1993) :

$$\text{Minimize } \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (3.18)$$

subject to :

$$\sum_{(j:(i,j) \in A)} x_{ij} - \sum_{(j:(j,i) \in A)} x_{ji} = b(i) \quad \forall i \in N \quad (3.19)$$

$$l_{ij} \leq x_{ij} \leq u_{ij} \quad \forall (i,j) \in A \quad (3.20)$$

$$\text{dimana } \sum_{i=1}^n b(i) = 0 \quad (3.21)$$

Input :

$b(i)$ = kebutuhan arus di titik- i

c_{ij} = biaya satuan ruas (i,j)

l_{ij} = batas bawah arus di ruas (i,j)

u_{ij} = batas atas arus di ruas (i,j) = kapasitas ruas (i,j)

Variabel Keputusan :

x_{ij} = arus di ruas (i,j)

Fungsi tujuan dari *MCF* (persamaan 3.18) yaitu meminimasi penjumlahan dari semua biaya ruas, yaitu perkalian antara biaya satuan ruas dengan besarnya arus di ruas yang bersangkutan. Persamaan (3.19) menggambarkan kendala konservasi arus atau keseimbangan massa di setiap titik. Suku pertama dari persamaan tersebut menggambarkan besarnya total arus yang keluar dari suatu

titik dan suku keduanya menggambarkan besarnya total arus yang masuk ke titik tersebut. Dari kendala konservasi arus ini terlihat bahwa total arus yang keluar dari suatu titik dikurangi total arus yang masuk ke titik tersebut harus sama dengan kebutuhan arus dari titik tersebut.

Persamaan (3.20) merupakan kendala batas arus (*flow bound constraint*), yaitu besarnya arus di setiap ruas harus memenuhi batas bawah (*lower bound*) dan batas atasnya (*upper bound*).

3.3.4.1 Algoritma Solusi Masalah Minimum Cost Flow

Berbagai algoritma telah dikembangkan untuk mencari solusi masalah *MCF*. Pada dasarnya, algoritma-algoritma tersebut mengkombinasikan algoritma solusi masalah *SP* dengan *MF*. Apabila di dalam algoritma *SP* adanya arus mengakibatkan timbulnya biaya pada ruas namun arus tersebut tidak dibatasi oleh kapasitas ruas, sementara di dalam *MF* arus dianggap tidak menimbulkan biaya pada ruas tetapi besarnya arus dibatasi oleh kapasitas ruas, maka algoritma *MCF* merupakan kombinasi dari keduanya, yaitu arus mengakibatkan timbulnya biaya pada ruas dan besarnya arus dibatasi oleh kapasitas ruas.

Beberapa algoritma yang telah dikembangkan yaitu (Ahuja, Magnanti dan Orlin, 1993) :

1. *The Cycle-cancelling algorithm*

Algoritma ini menggunakan komputasi *SP* untuk menentukan *augmenting cycles* yang memiliki biaya arus negatif (*negative flow cost*). Kemudian algoritma menambahkan arus kepada *cycle-cycle* tersebut dan iterasi berulang kembali pada komputasi pencarian *cycle* berbiaya arus negatif dan *augmenting flow*-nya.

2. *The Successive Shortest Path algorithm*

Algoritma ini menambahkan arus secara bertahap (*incremental*) kepada jaringan yang berasal dari beberapa titik sumber ke beberapa titik terminal dengan prinsip *SP*. Kekurangan dari algoritma ini adalah jumlah arus yang dipindahkan pada tiap tahap relatif kecil, sehingga sangat mungkin terjadi proses penambahan arus (*augmenting*) yang cukup besar.

3. *Primal Dual Algorithm*

Pada tiap iterasi, algoritma ini mencari solusi *SP* dan menambahkan arus pada satu atau lebih *SP*. Proses penambahan dilakukan dengan menggunakan prinsip komputasi *MF* dan penambahan dilakukan secara simultan kepada beberapa *SP*.

4. *The Out-of-Kilter algorithm*

Strategi dari algoritma ini hampir sama dengan algoritma *Primal Dual*, yaitu menambahkan arus secara simultan pada beberapa *SP* yang terpilih. Tetapi pada algoritma ini diizinkan terjadinya arus di ruas yang lebih besar dari kapasitas ruas-nya, dengan tetap mempertahankan kondisi optimalnya.

3.3.4.2 Primal Dual Algorithm

Prinsip dari algoritma *Primal Dual (PD)* adalah bahwa pada setiap iterasi dari algoritma *PD* sejumlah arus semu (*pseudoflow*) dipindahkan dari titik sumber ke titik terminal, melalui *SP* diantara keduanya, dengan selalu mempertahankan syarat *Reduced Cost Optimality condition*, hingga semua arus terkirim habis.

Beberapa terminologi terkait dengan algoritma *PD* dijelaskan sebagai berikut :

1. *Pseudoflow*

Pseudoflow adalah suatu fungsi $x : A \rightarrow R^+$ yang hanya memenuhi kendala kapasitas dan non negatif, tanpa harus memenuhi kendala keseimbangan massa. Untuk setiap *pseudoflow* x , ketidakseimbangan suatu titik- i $e(i)$ didefinisikan sebagai berikut :

$$e(i) = b(i) + \sum_{\{j:(j,i) \in A\}} x_{ji} - \sum_{\{j:(i,j) \in A\}} x_{ij} \quad \forall i \in N \quad (3.22)$$

dimana :

$b(i)$ = kebutuhan arus di titik- i

x_{ij} = arus di ruas (i,j)

Jika $e(i) > 0$, $e(i)$ merupakan kelebihan (*excess*) dari titik- i

Jika $e(i) < 0$, $-e(i)$ merupakan defisit dari titik- i

Jika $e(i) = 0$, titik- i dikatakan seimbang

Jika E = kumpulan titik-titik dengan kelebihan arus, dan

D = kumpulan titik-titik dengan arus yang defisit, maka :

$$\sum_{i \in N} e(i) = \sum_{i \in N} b(i) = 0 \quad (3.23)$$

dan karenanya

$$\sum_{i \in E} e(i) = - \sum_{i \in D} e(i) \quad (3.24)$$

2. *Reduced Cost*

Karakteristik ruas-ruas pada *Residual Network* digambarkan dalam nilai *reduced cost* (c_{ij}^π) dan *node potential* (π), dimana keduanya berkorelasi sebagai berikut :

$$c_{ij}^\pi = c_{ij} - \pi(i) + \pi(j) \quad \text{dan} \quad (3.25)$$

$$\pi(i)^n = \pi(i)^{n-1} - d(i) \quad (3.26)$$

dimana :

$$c_{ij}^\pi = \text{reduced cost ruas } (i,j)$$

$$c_{ij} = \text{biaya satuan ruas } (i,j)$$

$$\pi(i)^n = \text{node potential dari titik-}i \text{ pada iterasi ke-}n$$

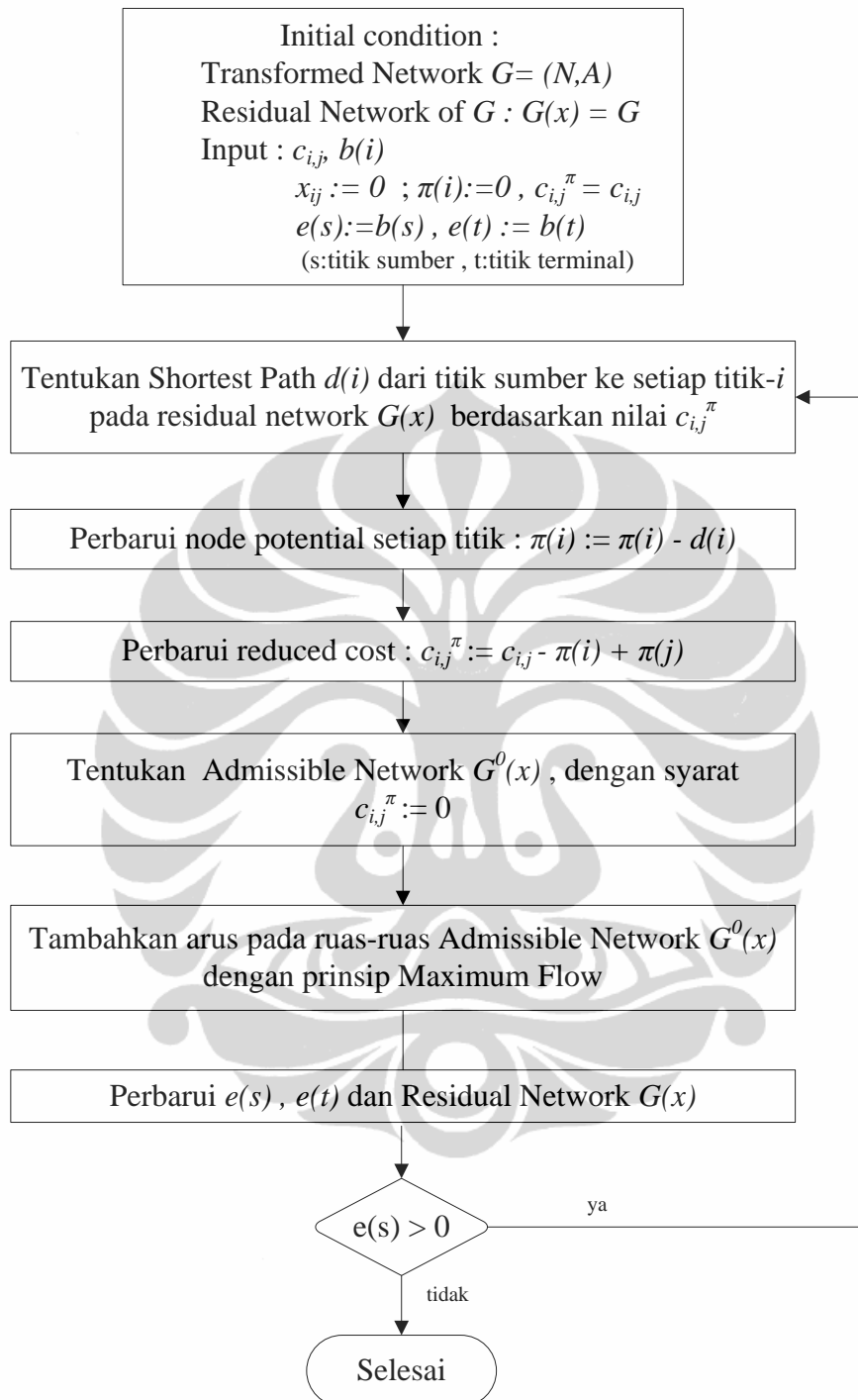
$$\pi(i)^1 = 0 \quad \forall i$$

$$d(i) = \text{shortest path dari titik sumber ke titik-}i, \text{ yang ditentukan berdasarkan nilai } c_{ij}^\pi \text{ dari } \textit{Residual Network} \text{ terkait}$$

3. *Admissible Network*

Admissible Network adalah *sub-graph* dari *Residual Network*. *Admissible Network* hanya mengandung ruas-ruas dari *Residual Network* yang memiliki *reduced cost* nol ($c_{ij}^\pi = 0$). Kondisi *reduced cost* nol sesungguhnya menggambarkan *sub-graph residual network* yang terdiri dari hanya *shortest path- shortest path* antara titik sumber dengan setiap titik dari jaringan *Residual Network*. Di dalam setiap iterasi *PD*, proses pengiriman *pseudoflow* dari titik sumber ke titik terminal dilakukan melalui *Admissible Network*. Oleh karenanya, hal ini memastikan bahwa pengiriman akan selalu melalui *shortest path*.

Prosedur algoritma *PD* digambarkan pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 Prosedur algoritma Primal Dual

Sumber : Ahuja et al, 1993 (telah diolah kembali)

3.4 Fungsi Biaya Concave

3.4.1 Prinsip Economy of Scale

Di dalam sistem distribusi barang, dikenal konsep yang dinamakan *economy of scale*. Di dalam *economy of scale* digambarkan bagaimana terhadap suatu sistem dapat dilakukan efisiensi dengan cara mengatur volume dari komoditas yang dikelolanya, baik dalam sistem produksinya, sistem transportasi atau sistem lainnya, sedemikian rupa sehingga diperoleh biaya satuan produksi atau transportasi yang lebih kecil.

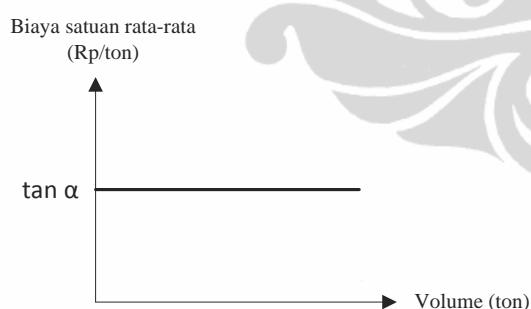
Di dalam proses produksi, *economy of scale* menggambarkan relasi dimana biaya produksi rata-rata per unit produk berkurang dengan bertambahnya volume produksi. Pada kondisi *economy of scale*, kuantitas produksi seharusnya ditambah sepanjang penambahan tersebut dapat mengurangi biaya rata-rata satuan produksi. *Economy of scale* dihasilkan dari efisiensi yang dilakukan, antara lain melalui spesialisasi proses, peningkatan etos kerja, utilisasi aset tetap, dan lain-lain (Bowersox, Closs dan Cooper, 2007). *Economy of scale* menjadi penting di dalam kasus-kasus dimana di dalam produksi digunakan peralatan produksi yang mahal (*high-fixed-cost machinery*) untuk mengubah bahan baku menjadi barang jadi.

Di dalam proses transportasi, prinsip *economy of scale* digambarkan sebagai pengurangan biaya transportasi per satuan berat barang apabila volume barang yang diangkut bertambah. Sebagai contoh, pengangkutan barang dengan menggunakan seluruh kapasitas dari truk pengangkut akan memberikan biaya per satuan berat yang lebih kecil dibandingkan dengan mengangkut barang dalam jumlah yang tidak memenuhi kapasitas truk pengangkut tersebut. Secara umum, dapat dijelaskan pula bahwa kendaraan pengangkut yang berkapasitas lebih besar, seperti kereta api dan kapal laut, akan lebih kecil biaya transportasi per satuan berat barang-nya bila dibandingkan dengan kendaraan pengangkut yang berkapasitas lebih kecil, seperti truk dan pesawat udara. *Economy of scale* di dalam transportasi terjadi karena biaya tetap yang terkait dengan pengangkutan sejumlah barang dibebankan pada berat beban yang makin bertambah. Biaya tetap dalam hal ini dapat meliputi biaya administrasi, biaya peralatan, biaya akibat

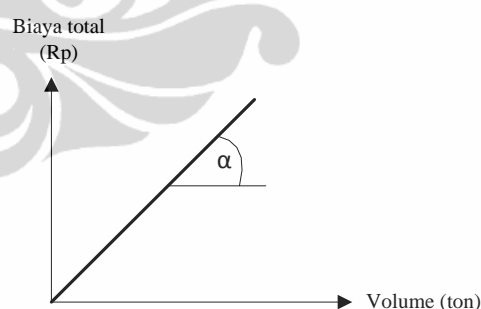
penetapan waktu tertentu untuk bongkar muat, dan lain lain. Biaya-biaya tersebut besarnya tidak berubah-ubah terhadap volume barang yang diangkut.

Secara matematis, prinsip *economy of scale* dapat dijelaskan melalui gambar 3.13a dan 3.13b. Sebelumnya, gambar 3.12a dan gambar 3.12b menjelaskan fungsi biaya untuk sistem yang tidak mempertimbangkan *economy of scale*. Terlihat pada gambar 3.12a bahwa besarnya biaya satuan transportasi/produksi tetap dan tidak dipengaruhi oleh besarnya volume komoditas yang diproduksi atau dipindahkan. Akibat dari hal ini diperlihatkan pada gambar 3.12b, yaitu fungsi total biaya menjadi bersifat linear, yaitu hasil perkalian dari volume komoditas dengan biaya satuan pengelolaannya.

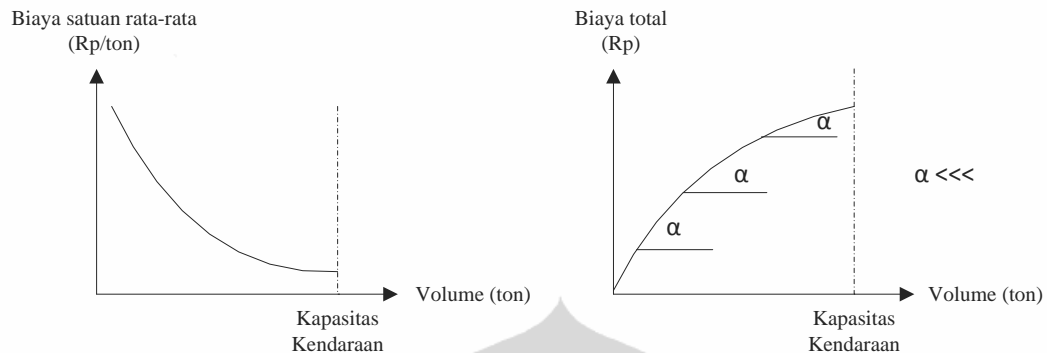
Gambar 3.13a menjelaskan biaya satuan rata-rata transportasi/produksi bila memanfaatkan prinsip *economy of scale*. Dalam hal ini, biaya satuan rata-rata (dan juga biaya marginal) akan berkurang dengan bertambahnya volume barang yang dikelola. Akibat dari hal ini, bentuk fungsi biaya total menjadi bentuk fungsi *concave*, sebagaimana diperlihatkan pada gambar 3.13b. Fungsi *concave* digambarkan dalam bentuk gradien dari fungsi biaya total yang makin mengecil dengan bertambahnya volume.



Gambar 3.12a. Fungsi biaya satuan rata-rata transportasi/produksi tanpa *economy of scale*



Gambar 3.12b Fungsi biaya total transportasi/produksi tanpa *economy of scale*



Gambar 3.13a Fungsi biaya satuan rata-rata transportasi/produksi dengan economy of scale

Gambar 3.13b Fungsi biaya total transportasi/produksi dengan economy of scale

3.4.2 Minimum Concave Cost Flow Problem

Apabila prinsip *economy of scale* diterapkan, misalnya di dalam proses transportasi, maka formulasi dari *minimum concave cost flow (MCCF) problem* untuk jaringan yang melayani produk tunggal adalah sebagai berikut (Gallo, Sandi dan Sodini, 1980) :

$$P : \text{Minimize } \sum_i \sum_j \phi_{ij}(x_{ij}) \quad (3.27)$$

subject to

$$\sum_i x_{il} - \sum_j x_{lj} = b(l) \quad \forall l \in N \quad (3.28)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall (i,j) \in A \quad (3.29)$$

Input :

$\phi_{ij}(x_{ij}), \forall (i,j)$ = biaya untuk memindahkan produk dari i ke j
(fungsi *concave* dari total volume)

$b(l)$ = kebutuhan arus di titik- l

Variabel Keputusan :

x_{ij} = arus di ruas (i,j)

Masalah MCCF ditandai dengan fungsi tujuan yang berbentuk fungsi concave serta fungsi kendala berbentuk fungsi linear sehingga wilayah *feasible*-nya membentuk *convex polyhedron*.

Kesulitan matematis dalam menyelesaikan masalah *MCCF* adalah adanya banyak solusi optimal x^* yang bersifat lokal dan bersifat relatif minimum dan tidak dijamin sebagai global minimum. Titik x^* tersebut mungkin menghasilkan nilai fungsi tujuan yang minimum untuk sebagian wilayah *feasible* saja, namun tidak meminimasi fungsi tujuan untuk keseluruhan wilayah *feasible* (Zangwill, 1968). Zangwill memulai kajian tentang solusi masalah MCCF dengan membahas tentang konsep titik ekstrim (*Extreme Points*).

Melanjutkan kajian dari Zangwill, Gallo dkk mengembangkan algoritma untuk solusi masalah MCCF dengan tetap didasarkan pada konsep *Extreme Flow*.

Karena (P) adalah masalah *MCCF* yang dibatasi dari bagian bawah, maka bagi (P) berlaku proposisi sebagai berikut (Gallo, Sandi dan Sodini, 1980) :

Proposisi 1 : (P) akan memiliki solusi optimum , yaitu *vertex* dari x , atau tidak memiliki solusi sama sekali

x adalah *feasible set* dari (P), yaitu kumpulan dari semua vektor x yang memenuhi kendala dari (P) (persamaan (3.28) dan (3.29)).

Dari proposisi ini dapat disimpulkan bahwa pencarian solusi (P) dapat dibatasi hanya pada pencarian *extreme flow*, yaitu *vertex-vertex* dari x .

Proposisi 2 : Suatu *feasible flow* x merupakan *extreme flow* jika dan hanya jika $G[A_1(x)]$ adalah sebuah *tree*

$G[A_1(x)]$ adalah *graph* dengan $A_1(x) = \{(i, j) \in A : x_{ij} > 0\}$

Tree adalah jaringan atau sub jaringan yang saling berhubungan dan tidak membentuk *cycle*. Setiap titik pada *tree*, kecuali titik awal, adalah titik akhir dari hanya satu ruas.

Chain adalah urutan-urutan ruas, dimana setiap ruas, kecuali ruas pertama dan terakhir, dihubungkan dengan ruas sebelumnya dan ruas sesudahnya dengan kedua titik ujungnya, dan tidak ada titik yang digunakan lebih dari satu kali.

Cycle adalah suatu *chain* dimana ruas pertamanya dihubungkan dengan ruas terakhir dengan satu dari kedua titik ujungnya.

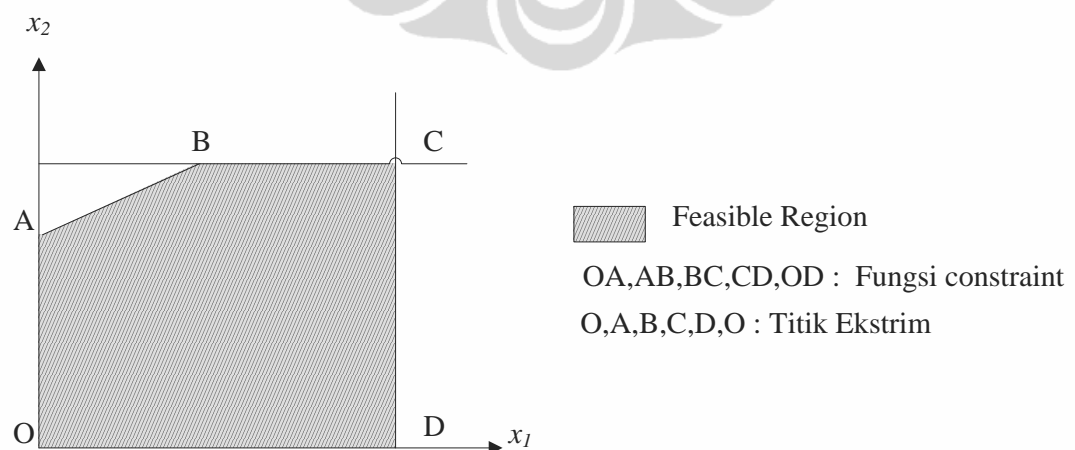
Proposisi 3 : Terdapat korespondensi satu-satu antara kumpulan *extreme flow* dan $F(T)$.

$F(T)$ adalah semua *tree* dari *graph G* dimana akar dari *tree-tree* tersebut adalah titik sumber (*source*) dan tiap-tiap titik terminal (*sink*) adalah merupakan titik tujuan serta titik-titik lainnya (jika ada) adalah merupakan titik antara (*intermediate*). Setiap *tree* dari $F(T)$ disebut sebagai *Destination Spanning Tree* (DST) dan $F(T)$ merupakan kumpulan dari DST.

Dari proposisi 3 dapat disimpulkan bahwa solusi optimum dari (P) adalah salah satu dari *Destination Spanning Tree* dari *graph G*.

Proposisi-proposisi ini berlaku untuk jaringan yang berbentuk sumber tunggal (*single source*).

Gambar 3.14 menjelaskan terminologi yang terkait dengan masalah MCCF. Gambar tersebut menjelaskan suatu masalah (P) dengan dua variabel bebas x_1 dan x_2 . Garis-garis OA, AB, BC, CD dan OD adalah garis-garis dari fungsi kendala. Sedangkan wilayah yang berarsir, yang dibentuk oleh fungsi-fungsi kendala digambarkan sebagai *feasible region*, yaitu area OABCD. Titik-titik perpotongan (*vertex*) antara fungsi-fungsi kendala, yaitu titik O, A, B, C dan D disebut sebagai titik ekstrim (*Extreme Point*). Nilai x (*flow*) dari titik ekstrim disebut sebagai *Extreme Flow*.



Gambar 3.14 Ilustrasi Extreme Flow

3.4.2.1 Solusi Minimum Concave Cost Flow Problem

Sebagaimana dijelaskan pada proposisi 3, maka solusi dari problem (P) (*minimum concave cost flow problem*) adalah sesungguhnya mencari elemen-elemen dari $F(T)$ yang memberikan nilai minimum. Berbagai metode telah dikembangkan untuk menyelesaikan masalah MCCF ini. Metode-metode tersebut dapat dikelompokkan sebagai berikut (Yan, S., Juang, D.S., Chen, C.R. & Lai, W.S., 2005):

1. Penyelesaian dengan pendekatan linear (*linear approximation method*)

Pada metode ini bentuk fungsi *concave* ditransformasikan ke dalam bentuk fungsi linear, sebagai penyederhanaan bentuk *concave* dan penyelesaian selanjutnya adalah dengan menggunakan pemrograman linear (*linear programming*).

2. Metoda pencarian lokal (*local search method*)

Metode ini didasarkan pada konsep *Extreme Flow*, yaitu pencarian solusi optimal dilakukan dengan menelusuri semua *extreme flow* yang dapat menjadi kandidat solusi optimal.

3. Metode meta-heuristik

Metode ini merupakan pengembangan dan merupakan bentuk yang lebih canggih dari metode pencarian lokal. Pada dasarnya metode ini tetap menggunakan prinsip pencarian lokal. Metode ini mencoba mengatasi kelemahan dari metode pencarian lokal yang sifatnya tradisional. Pencarian lokal dengan cara tradisional dapat menjadi tidak efisien karena dilakukannya enumerasi pada semua titik-titik optimal yang bersifat lokal (*local optima*) untuk mendapatkan nilai optimal global. Metode meta-heuristik menggunakan cara pencarian lokal dengan strategi meta tingkat tinggi.

Pencarian lokal dengan metode meta-heuristik ini dapat dilakukan dengan teknik *Tabu Search*, *Genetic Algorithm*, *Simulated Annealing*, *Neural Network*, dll.

Selain ketiga metode tersebut, Shangyao dkk (Yan, S., Juang, D.S., Chen, C.R. dan Lai, W.S., 2005) mengusulkan suatu metode yang menggabungkan antara pencarian lokal dan pencarian global.

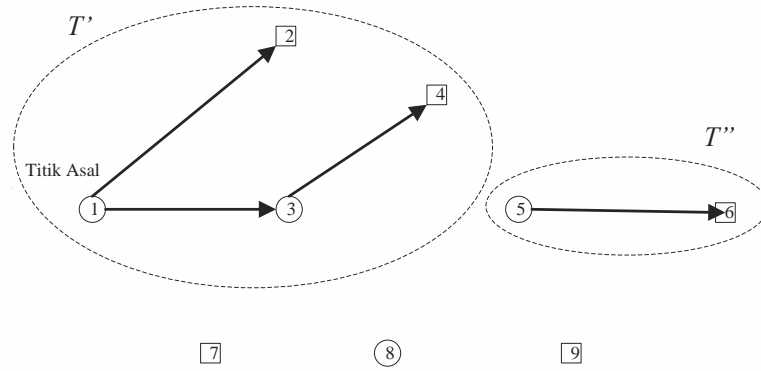
Berbagai algoritma telah dikembangkan untuk penyelesaian masalah MCCF ini. Sebagian besar dari algoritma tersebut memanfaatkan teknik pemrograman matematis tradisional, seperti *lagrangian relaxation*, *sub-gradient method*, *branch and bound method* dan *dynamic programming*.

Salah satu algoritma yang menggunakan metode pencarian lokal dengan teknik *branch and bound* adalah algoritma yang dikembangkan oleh Gallo dkk. Di dalam prosedur *branch and bound*, kumpulan seluruh kandidat solusi secara berturut-turut dikelompokkan ke dalam sub-sub himpunan, untuk kemudian solusi untuk tiap sub himpunan dihitung sebagai batas (*bound*).

Secara garis besar, metode *branch and bound* untuk penyelesaian masalah MCCF yang dikembangkan oleh Gallo dkk (Gallo, Sandi dan Sodini, 1980) dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Pada setiap tahap iterasi dari metode ini selalu terbentuk sub himpunan dari A , yaitu A' , yang terbentuk dari ruas-ruas terpilih di dalam pembentukan *Destination Spanning Tree (DST)*. *Subgraph $G[A']$* dapat diurai menjadi dua jenis *tree* (salah satunya dimungkinkan kosong), yaitu :
 - *Tree T'* , yaitu *tree* yang berakar pada titik 1 sebagai titik asal (*origin*) dari graph G .
 - *Tree T''* , yaitu *tree* yang mengandung *unique path*, dengan titik p sebagai akarnya.

Gambar 3.15 memperlihatkan contoh pembentukan *tree T'* dan *T''* pada iterasi tertentu. *Tree T'* berakar pada titik asal (titik 1) dan *tree T''* berakar pada titik 5. Ruas-ruas dari *T'* dan *T''* bergabung membentuk A' .



- Titik Terminal $A' = \{(1,2), (3,4), (1,3), (5,6)\}$
- Titik Intermediate $T' = \{(1,2), (3,4), (1,3)\}$
- $T'' = \{(5,6)\}$

Gambar 3.15 Contoh pembentukan tree T' dan T''

Sumber : Gallo et al, 1979

2. Pada setiap tahap pembentukan T' dan T'' tersebut, setiap extreme flow $x \in X'$ dapat dinyatakan dalam bentuk $x = x(T') + x(T'') + y$, dimana :

$$x_{ij}(T) = \begin{cases} q_j(T) & (i,j) \in T \\ 0 & (i,j) \notin T \end{cases} \tag{3.30}$$

y : feasible flow dari graph G dengan kebutuhan arus di titik sebagai berikut :

$$q'_i = \begin{cases} 0 & i \in N(A') - \{p\} \\ q_i(T'') & i = p \\ q_i & \text{otherwise} \end{cases} \tag{3.31}$$

3. Batas bawah (lower bound) dihitung dengan membuat relaksasi linear terhadap fungsi biaya concave (P).

Relaksasi linier dibentuk oleh persamaan linier antara titik batas bawah dan batas atas arus. Besarnya batas atas (u_{ij}) dan batas bawah arus (l_{ij}) adalah sebagai berikut :

$$l_{ij} = x_{ij}(T') + x_{ij}(T'') \quad (i, j) \in A \quad (3.32)$$

$$u_{ij} = \begin{cases} Q - q_1(T') - q_p(T'') & i \in T'' \text{ dan } j \notin T'' \\ 0 & (i, j) \notin A' \text{ dan } j \in N(A') - \{p\} \\ Q - q_1(T') + x_{ij}(T') & (i, j) \in T' \\ Q - q_1(T') - q_i & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.33)$$

$$q_i(T) = \sum_{r \in D_i(T)} q_r \quad (3.34)$$

$$q_1 = -Q = -\sum_2^n q_i \quad (3.35)$$

dimana :

q_i : Kebutuhan arus (*flow requirement*) di titik- i

n : Jumlah titik anggota N

$D_i(T)$: Kumpulan titik-titik yang merupakan turunan dari titik- i pada tree T (termasuk titik- i itu sendiri), dimana titik-titik tersebut membentuk suatu *path* pada T dengan titik- i sebagai titik awal

Bentuk relaksasi linier :

$$c_{ij} = \begin{cases} \frac{[f_{ij}(u_{ij}) - f_{ij}(l_{ij})]}{u_{ij} - l_{ij}} & \text{jika } l_{ij} < u_{ij} \\ + \infty & \text{jika } l_{ij} = u_{ij} \end{cases} \quad (3.36)$$

4. Lowerbound dihitung dengan persamaan :

$$L = f(x(T')) + f(x(T'')) + \min \{ cy : y \in Y \} \quad (3.37)$$

Dua suku pertama merupakan biaya yang dihasilkan oleh arus di ruas-ruas yang sudah membentuk *tree* T' maupun T'' , sedangkan suku ketiga merupakan perkiraan biaya yang dihasilkan oleh arus sisa yang didistribusikan dengan relaksasi linier. Untuk kelompok pertama, karena arus yang melewatinya sudah dianggap tetap (*fixed*), maka nilai lowerbound dapat dihitung secara langsung menggunakan fungsi biaya asal (fungsi *concave* atau linier). Sementara, untuk kelompok kedua, sesungguhnya penyebaran arus di ruas-ruas belum diketahui. Oleh karenanya dilakukan relaksasi linier terhadap fungsi biaya di ruas-ruas tersebut dan selanjutnya nilai lowerbound dihitung dengan penyelesaian masalah *Minimum Cost Flow* (berdasarkan *shortest path*).

5. Batas atas (*upper bound*) dihitung dengan prosedur pencarian lokal, yaitu sebagai berikut :

Dimulai dari satu sembarang *extreme flow* x , tentukan *extreme flow* \bar{x} sedemikian rupa sehingga $f(\bar{x}) \leq f(x)$ untuk *extreme flow* x yang berdampingan dengan \bar{x} (*adjacent extreme flow*) . Dua *extreme flow* akan berdampingan jika keduanya adalah *vertex-vertex* x yang saling bersebelahan (x adalah *feasible set* dari (P)).

6. Sebagai kriteria untuk membuat sub himpunan-sub himpunan (*branching*) digunakan konsep *Penalti*. Penalti adalah nilai yang menggambarkan perkiraan penambahan *lowerbound* jika suatu ruas (w,v) ditambahkan pada A' . Perkiraan penambahan *lowerbound* ini dilakukan dengan relaksasi linier.

Besarnya nilai penalti adalah :

$$\delta_{wv}^+ = \max \{ \delta_{wv}, 0 \}, \quad (3.38)$$

dimana :

$$\delta_{wv} = d_w q'_v + f_{wv}(q'_v) - d_v q'_w - (c_{wv} - c_{wv}^*) \sum_{r \in N(A')} q'_r \quad (3.39)$$

$$c_{wv}^* = \frac{[f_{wv}(u_{wv}) - f_{wv}(q'_v)]}{(u_{wv} - q'_v)} \quad (3.40)$$

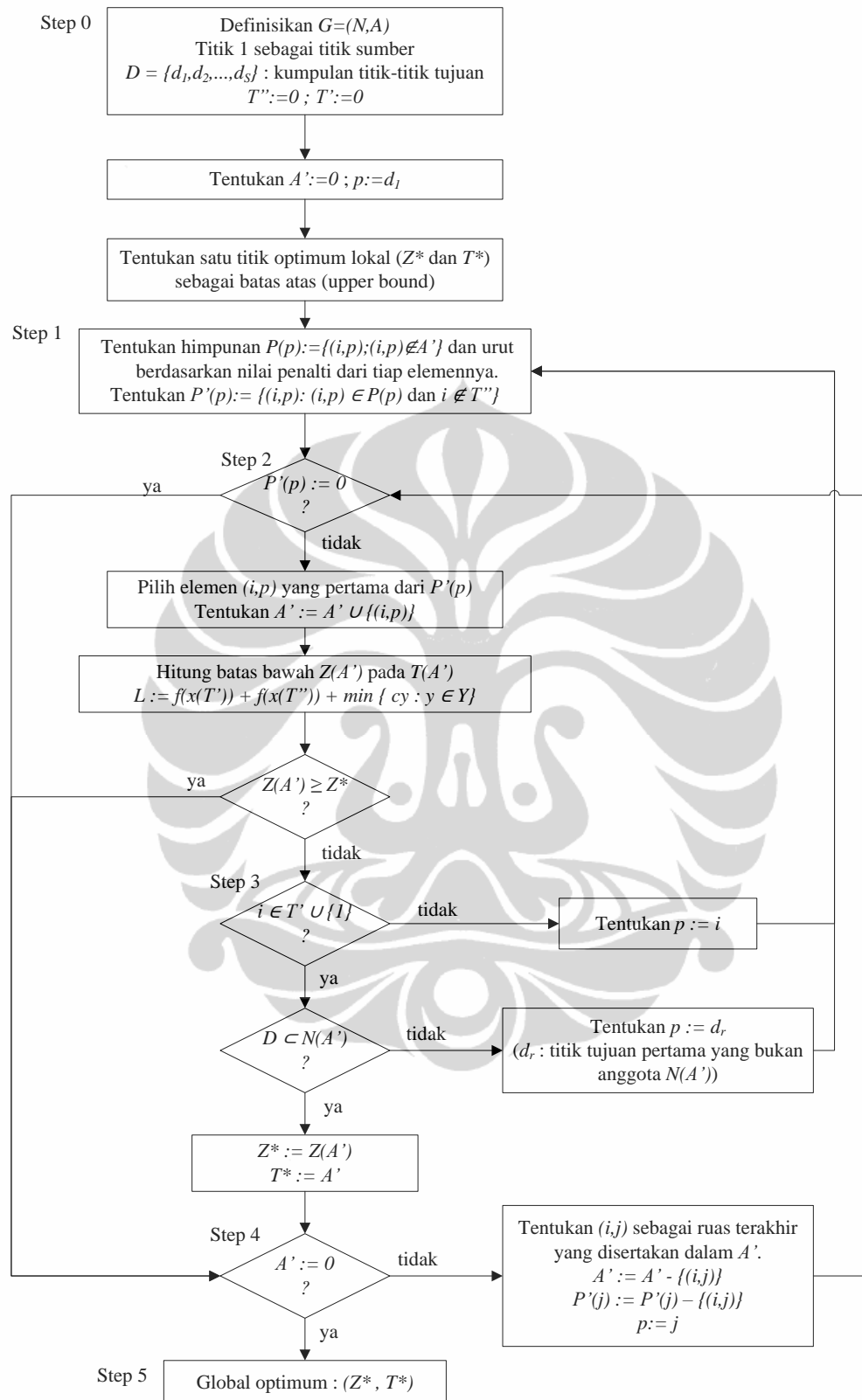
d_i : biaya *shortest path* dari titik asal ke titik- i , dengan relaksasi linier

Diagram alir dari algoritma Gallo diperlihatkan pada gambar 3.16. dan dapat dijelaskan sebagai berikut :

Step 0

Tahap ini merupakan tahap inisialisasi.

Pada tahap ini, ditentukan nilai batas atas (*upperbound*) bagi pencarian nilai fungsi tujuan terbaik dengan menggunakan prinsip *Adjacent Extreme Flow*. Nilai batas atas ini dinotasikan sebagai Z^* serta DST terkait dengan nilai tersebut dinotasikan sebagai T^* .



Gambar 3.16 Diagram alir pencarian titik optimum global masalah MCCF

Sumber : Gallo et al, 1980 (telah diolah kembali)

Step 1

Pada tahap ini, untuk setiap titik p yang terpilih ditentukan ruas-ruas (i,p) yang masuk ke titik tersebut (*link-in*) dan terhadap ruas-ruas tersebut dilakukan pengurutan (*sorting*) berdasarkan nilai penalti dari ruas-ruas tersebut.

Step 2

Pada tahap ini dipilih satu ruas (i,p) untuk menjadi bagian dari DST dan dihitung lowerbound apabila ruas ini disertakan ke dalam *current* DST.

Nilai lowerbound yang diperoleh ($Z(A')$) dibandingkan dengan nilai lowerbound Z^* . Apabila nilai $Z(A')$ lebih besar dari Z^* , maka penyertaan ruas (i,p) dalam DST dibatalkan dan step ini diulangi kembali dengan ruas (i,p) berikutnya sebagai ruas yang akan disertakan dalam DST.

Step 3

Proses pencarian ruas (i,p) berikutnya dalam pembentukan DST dilanjutkan hingga seluruh titik tujuan menjadi bagian dari DST yang berakar di titik-1 (titik asal).

Step 4

Bila himpunan A' telah menjadi kosong, maka nilai global optimum dicapai. Bila tidak, penyertaan ruas (i,p) dalam DST dibatalkan dan step 2 diulangi kembali dengan ruas (i,p) berikutnya sebagai ruas yang akan disertakan dalam DST.

Step 5

Proses iterasi berhenti pada saat $A'=0$, yaitu tidak ada lagi ruas (i,p) yang dapat dicoba untuk disertakan dalam DST. Pada saat ini, dicapai nilai global optimum Z^* dengan T^* sebagai DST yang terbentuk.

3.4.2.2 Adjacent Extreme Flow

Adjacent Extreme Flow x' dikatakan sebagai *extreme flow* yang berdampingan dengan *feasible flow* x bila memenuhi syarat sebagai berikut (Gallo dan Sadini, 1979):

Untuk suatu *feasible flow* x dan himpunan ruas A , berlaku :

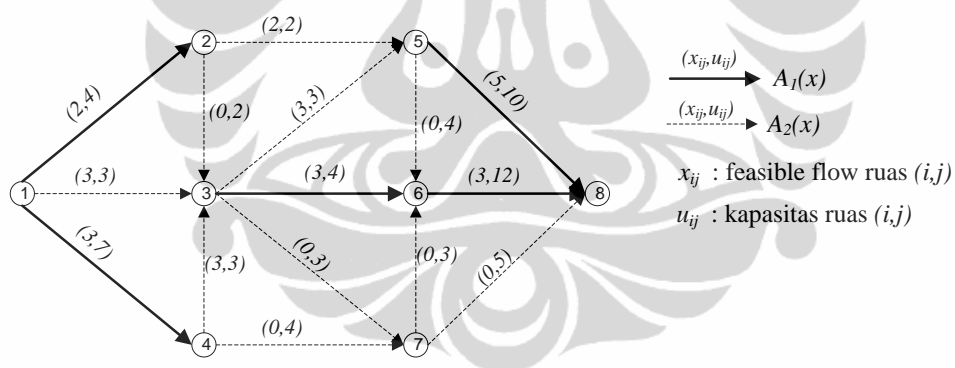
$$A_1(x) : \{ (i,j) \in A ; 0 < x_{ij} < u_{ij} \} \quad (3.41)$$

$$\begin{aligned} A_2(x) &= A - A_1(x) \\ &= \{ (i,j) \in A ; x_{ij} = 0 \text{ atau } x_{ij} = u_{ij} \} \end{aligned} \quad (3.42)$$

dimana u_{ij} : kapasitas ruas (i,j)

Teorema 1 : Suatu *feasible flow* x adalah merupakan *extreme flow* dari \mathbb{X} , jika dan hanya jika graph $A_1(x)$ tidak memiliki/membentuk *cycle* atau dapat dikatakan bahwa graph $G[A_1(x)]$ merupakan sebuah *tree* dengan titik sumber sebagai akarnya dan titik terminal sebagai titik akhir.

Gambar 3.17 memperlihatkan contoh dari *feasible flow* yang memenuhi syarat teorema 1 sebagai *extreme flow*. *Feasible flow* x merupakan *extreme flow* karena graph $G[A_1(x)]$ tidak membentuk *cycle*.



Gambar 3.17 Contoh feasible flow yang memenuhi syarat sebagai extreme flow

Sumber : Gallo et al, 1979

Teorema 2 : Bila $x \in \mathbb{X}$ adalah suatu *extreme flow*, maka suatu *feasible flow* x' dikatakan berdampingan (*adjacent*) terhadap x jika dan hanya jika terdapat satu *cycle* γ , dimana $0 < \delta(\gamma, x) < +\infty$, sehingga :

(i) $x' = x + \mu(\gamma) \cdot \delta(\gamma, x)$

(ii) Graph $[\tilde{A}]$ dengan $\tilde{A} = A_1(x) \cup \gamma$ tidak memiliki *cycle* selain $\pm \gamma$

dimana :

γ^+ : *Forward links* dari *cycle* γ , yaitu ruas-ruas pada *cycle* yang arusnya mengikuti arah *cycle*

γ^- : *Backward links* dari *cycle* γ , yaitu ruas-ruas pada *cycle* yang arusnya berlawanan dengan arah *cycle*

$$\delta(\gamma, x) = \min \{ \delta^+, \delta^- \} \quad (3.43)$$

$$\delta^+ = \min \{ r_{ij} - x_{ij} ; (i, j) \in \gamma^+ \} \quad (3.44)$$

$$\delta^- = \min \{ x_{ij} ; (i, j) \in \gamma^- \} \quad (3.45)$$

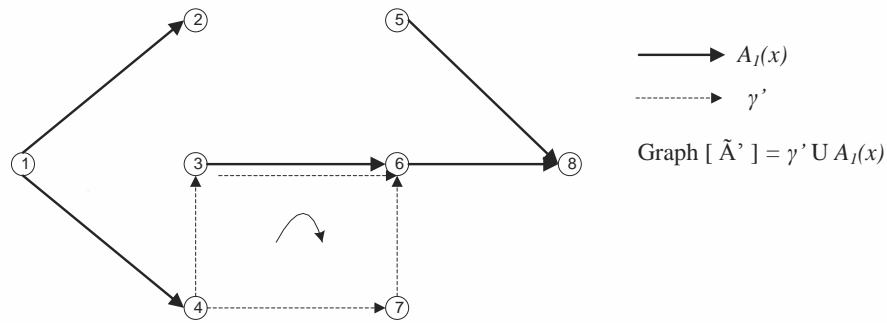
$$\mu_{ij}(\gamma) = \begin{cases} 1 & , \text{jika } (i, j) \in \gamma^+ \\ 0 & , \text{jika } (i, j) \notin \gamma \\ -1 & , \text{jika } (i, j) \in \gamma^- \end{cases}$$

(3.46)

Apabila x adalah *initial extreme flow*, dari teorema 2 dapat dijelaskan bahwa setiap kumpulan arus x' yang terjadi akibat adanya *cycle* γ yang memenuhi teorema 2 akan merupakan *adjacent extreme flow* terhadap x . Untuk suatu *initial extreme flow*, dimungkinkan terbentuk banyak *cycle*. Hal ini menjelaskan bahwa dimungkinkan adanya banyak *extreme flow* untuk suatu *initial extreme flow*.

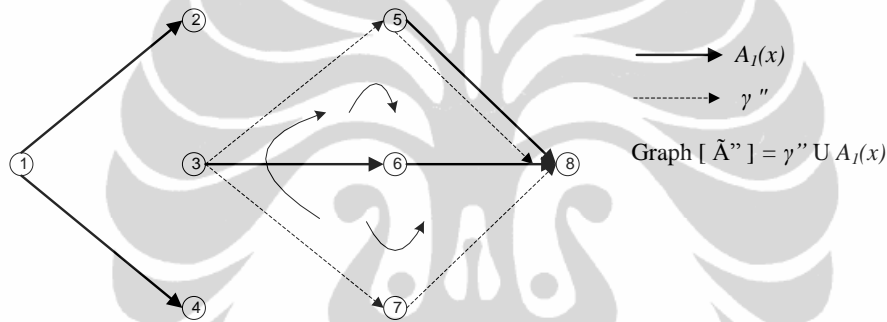
Gambar 3.18a memperlihatkan contoh dari *adjacent extreme flow* (x') dari suatu *initial extreme flow* (x). Bila $x' = x + \mu(\gamma').\delta(\gamma', x)$, maka x' memenuhi teorema 2 karena terdapat suatu *cycle* γ' yang memenuhi $0 < \delta(\gamma', x) < \infty$ dan *graph* $G[\widetilde{A}']$ tidak memiliki *cycle* selain γ' . Selanjutnya dapat dikatakan bahwa x' adalah *adjacent extreme flow* dari x .

Sementara pada gambar 3.18b, bila $x'' = x + \mu(\gamma'').\delta(\gamma'', x)$, x'' tidak memenuhi teorema 2 karena pada *graph* $G[\widetilde{A}'']$ terbentuk dua buah *cycle* selain *cycle* γ'' , yaitu *cycle* $\{(3,6),(6,8),(5,8),(3,5)\}$ dan *cycle* $\{(3,6),(6,8),(7,8),(3,7)\}$. Dapat dikatakan bahwa x'' bukan merupakan *adjacent extreme flow* dari x .



Gambar 3.18a Contoh extreme flow x' yang merupakan adjacent extreme flow dari x

Sumber : Gallo, 1979



Gambar 3.18b Contoh extreme flow x'' yang bukan adjacent extreme flow dari x

Sumber : Gallo et al, 1979

Untuk menentukan kumpulan *adjacent extreme flow* dari suatu *initial extreme flow*, Gallo dkk (Gallo dan Sodini, 1979) mengembangkan algoritma heuristik yang didasarkan pada kedua teorema di atas. Prosedur di dalam algoritma Gallo dibagi dalam 3 tahap dan dapat dijelaskan sebagai berikut :

Phase I :

$\text{Graph } G [A_1(x)]$ ditinjau dan padanya dibentuk sub jaringan – sub jaringan yang terdiri dari ruas-ruas yang saling terhubung dan membentuk *tree* (T_1, T_2, \dots, T_k) .

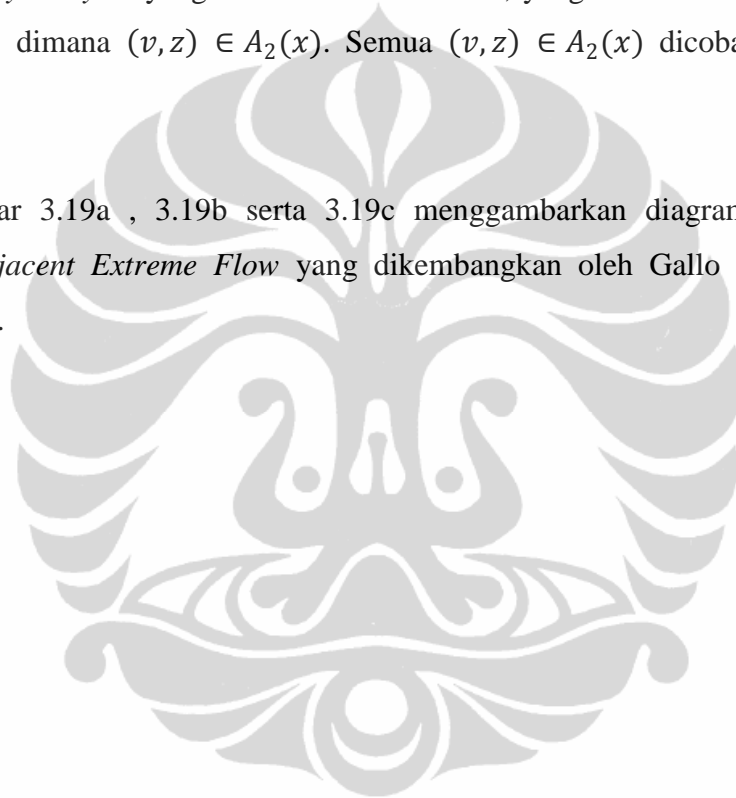
Phase II :

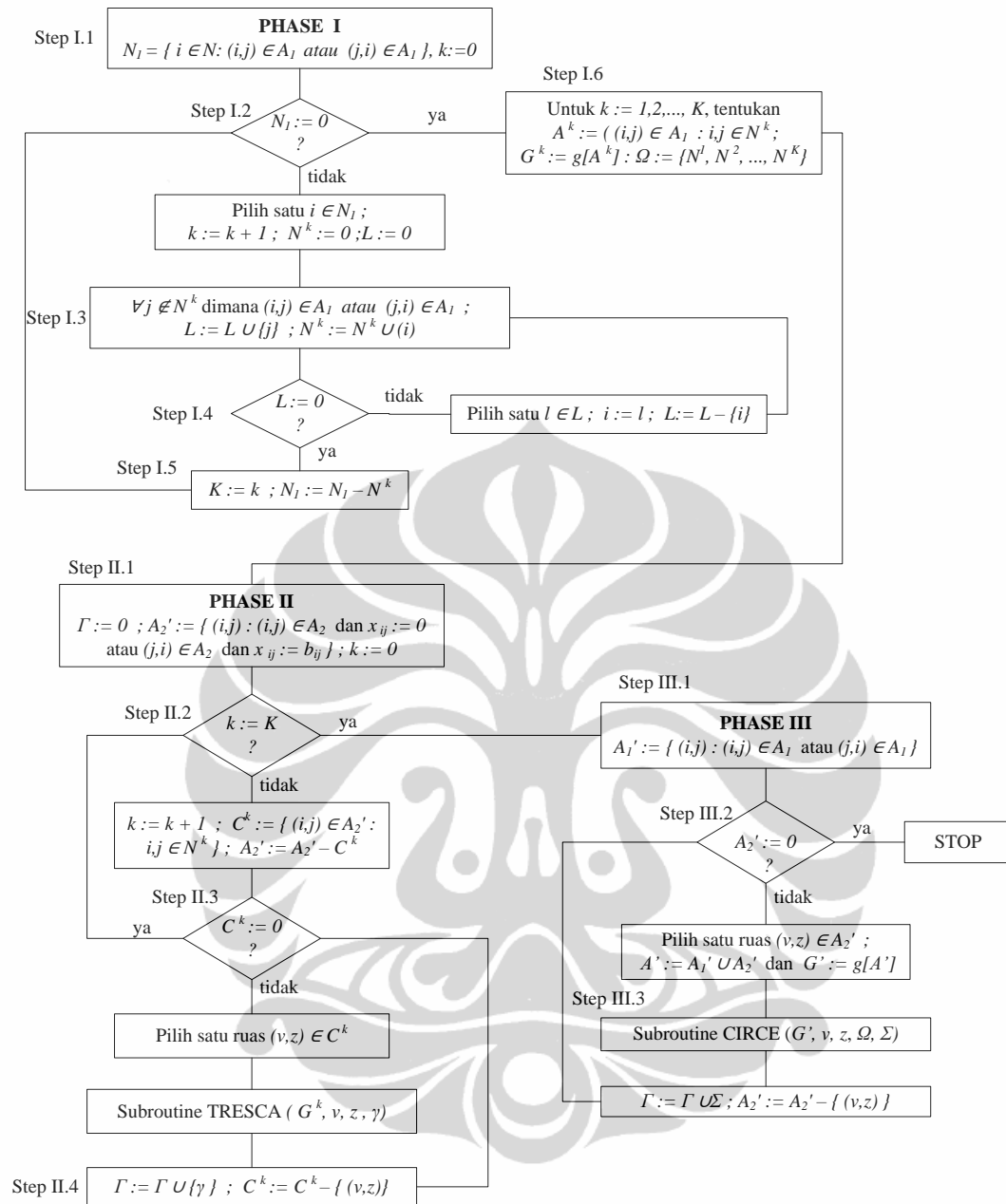
Membentuk rantai yang unik (*unique chain*) antara suatu titik z dan v pada *tree* tertentu, dimana $(z, v) \in A_2(x)$. *Cycle* yang mengandung unsur (v, z) , yang memenuhi teorema 2 adalah *cycle* yang didefinisikan oleh (v, z) bersama-sama dengan rantai unit dari z ke v pada T_k .

Phase III :

Menentukan *cycle-cycle* yang memenuhi teorema 2, yang salah satu anggotanya adalah (v, z) , dimana $(v, z) \in A_2(x)$. Semua $(v, z) \in A_2(x)$ dicoba, sehingga $A_2(x) = 0$.

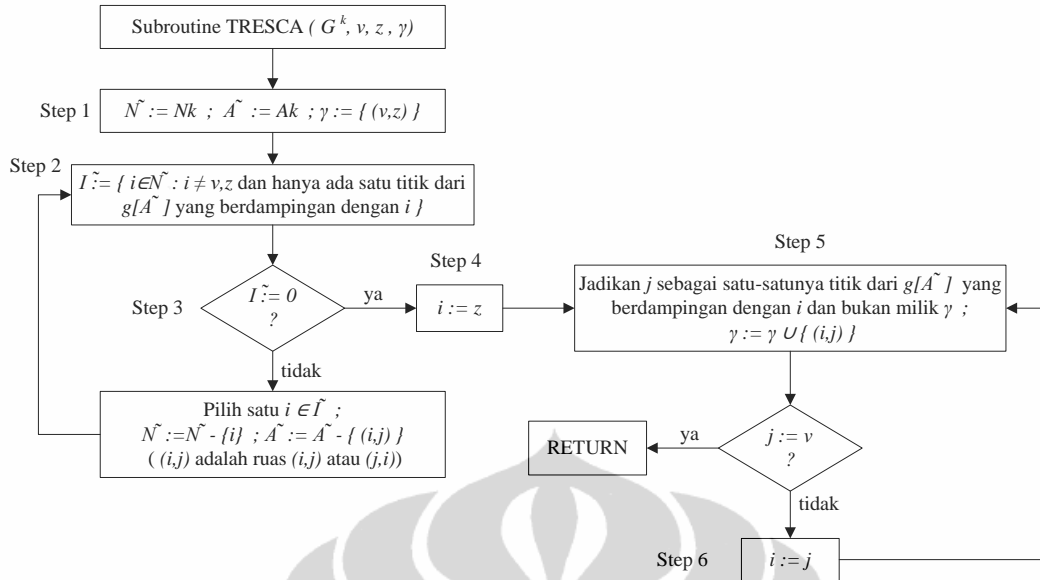
Gambar 3.19a, 3.19b serta 3.19c menggambarkan diagram alir dari algoritma *Adjacent Extreme Flow* yang dikembangkan oleh Gallo (Gallo dan Sodini, 1979).





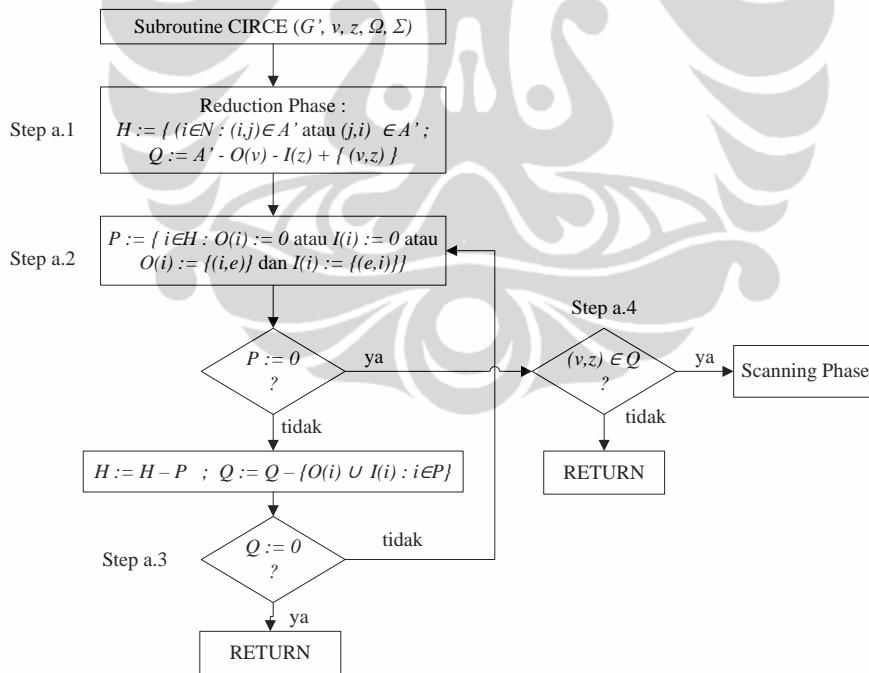
Gambar 3.19a Algoritma Adjacent Extreme Flow

Sumber : Gallo et al, 1979 (telah diolah kembali)



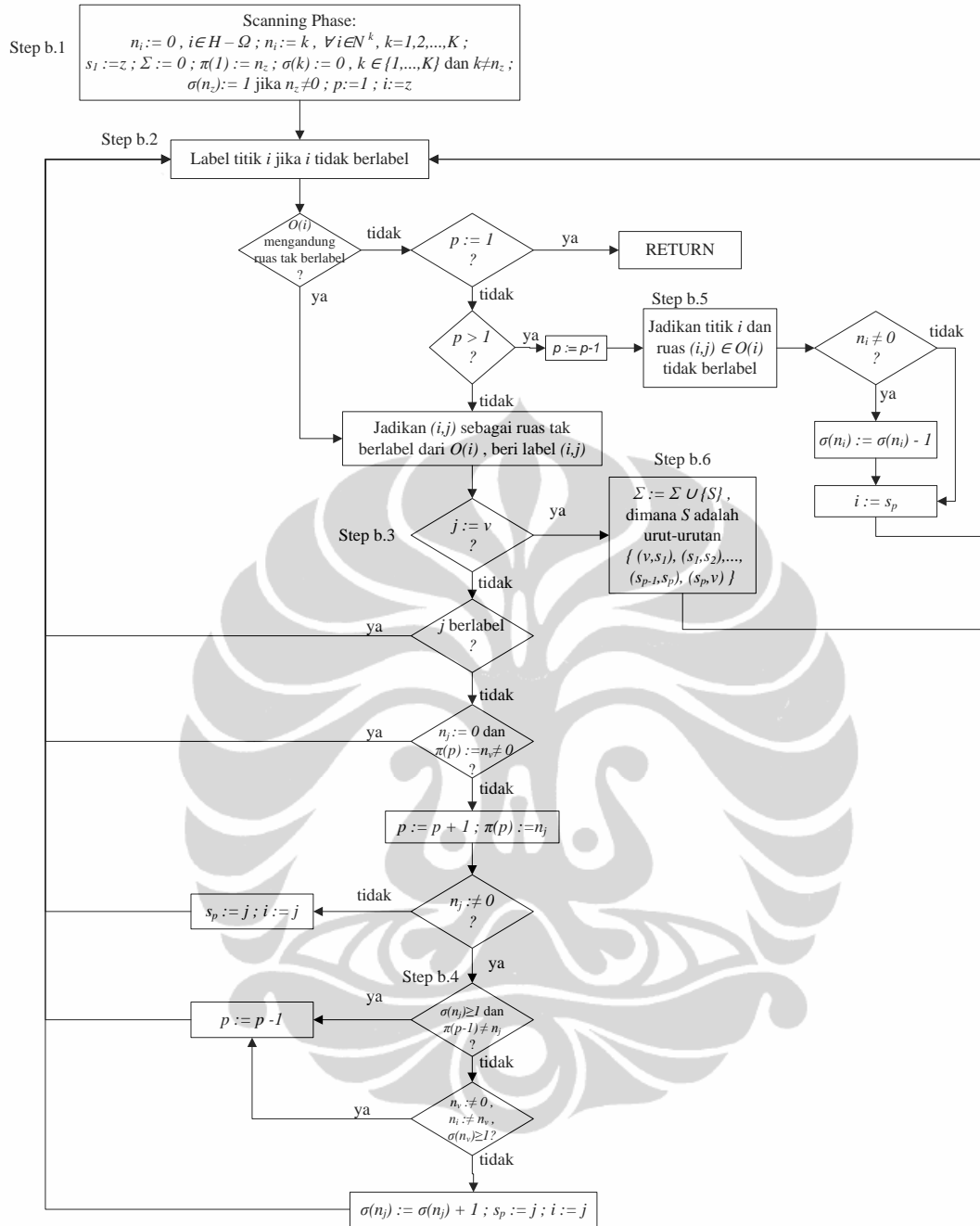
Gambar 3.19b Algoritma subroutine TRESCA

Sumber : Gallo et al, 1979 (telah diolah kembali)



Gambar 3.19c Algoritma subroutine CIRCE

Sumber : Gallo et al, 1979 (telah diolah kembali)



Gambar 3.19c Algoritma subroutine CIRCE (lanjutan)

Sumber : Gallo et al, 1979 (telah diolah kembali)

3.5 Kesimpulan

Pada bab ini dijelaskan berbagai teori yang melandasi pengembangan Model Lokasi yang khusus ditujukan pada sistem distribusi BUMN-PSO, yang dijelaskan pada bab setelah ini. Model Lokasi yang diperuntukkan bagi BUMN-PSO ini merupakan *state of the art* utama dari penelitian ini. Prinsip dari Model Lokasi yang dikembangkan adalah menggunakan model *Fixed Charge Location Problem*. Model ini dipilih mengingat biaya tetap fasilitas di dalam disertasi ini diasumsikan berbeda-beda antar tiap fasilitas serta jumlah fasilitas tidak menjadi kendala (*constraint*) /tidak dibatasi, dimana hal ini sejalan dengan pendekatan yang digunakan oleh model *Fixed Charge Location Problem* sedangkan model lokasi lainnya mengasumsikan biaya tetap yang sama untuk semua fasilitas.

State of the art lain dari Model Lokasi yang dikembangkan adalah penggunaan pendekatan Representasi Jaringan (RJ) di dalam memformulasi dan menyelesaikan model. RJ dipilih karena penggunaan komponen visual dari RJ memberi kemudahan dalam pemahaman masalah, bila dibandingkan dengan teknik-teknik formulasi yang menggunakan bentuk numerik (matematis). Pada bab ini dijelaskan hal-hal mendasar yang terkait dengan masalah RJ, termasuk di dalamnya bentuk-bentuk model dasar dari RJ, yaitu *Shortest Path*, *Maximum Flow*, *Minimum Cost Flow* serta *Minimum Concave Cost Flow*. Bentuk model dasar yang terakhir ini (*Minimum Concave Cost Flow*) menjadi ciri khusus pula di dalam disertasi ini.

Di bagian akhir bab ini dijelaskan tentang teori serta solusi dari masalah *Minimum Concave Cost Flow*, untuk kasus khusus, yaitu kasus komoditas tunggal serta titik sumber tunggal. Model Lokasi yang dikembangkan dalam disertasi ini merupakan pengembangan dari model dasar tersebut, yaitu untuk kasus multi komoditas dan multi sumber, mengingat BUMN-PSO menghasilkan (empat) jenis komoditas yang berbeda dan perusahaan mengelola 5 (lima) pabrik, sebagaimana dijelaskan pada bab 2.

BAB 4 DISAIN PENELITIAN

4.1 Pendahuluan

Disain sistem distribusi , khususnya disain lokasi dari fasilitas-fasilitas sistem distribusi beserta konsekuensinya terhadap alokasi permintaan, merupakan objek penelitian yang terus berkembang untuk memenuhi kebutuhan pengguna yang semakin kompleks dan membutuhkan inovasi-inovasi untuk meningkatkan efisiensi dan efektifitas sistem.

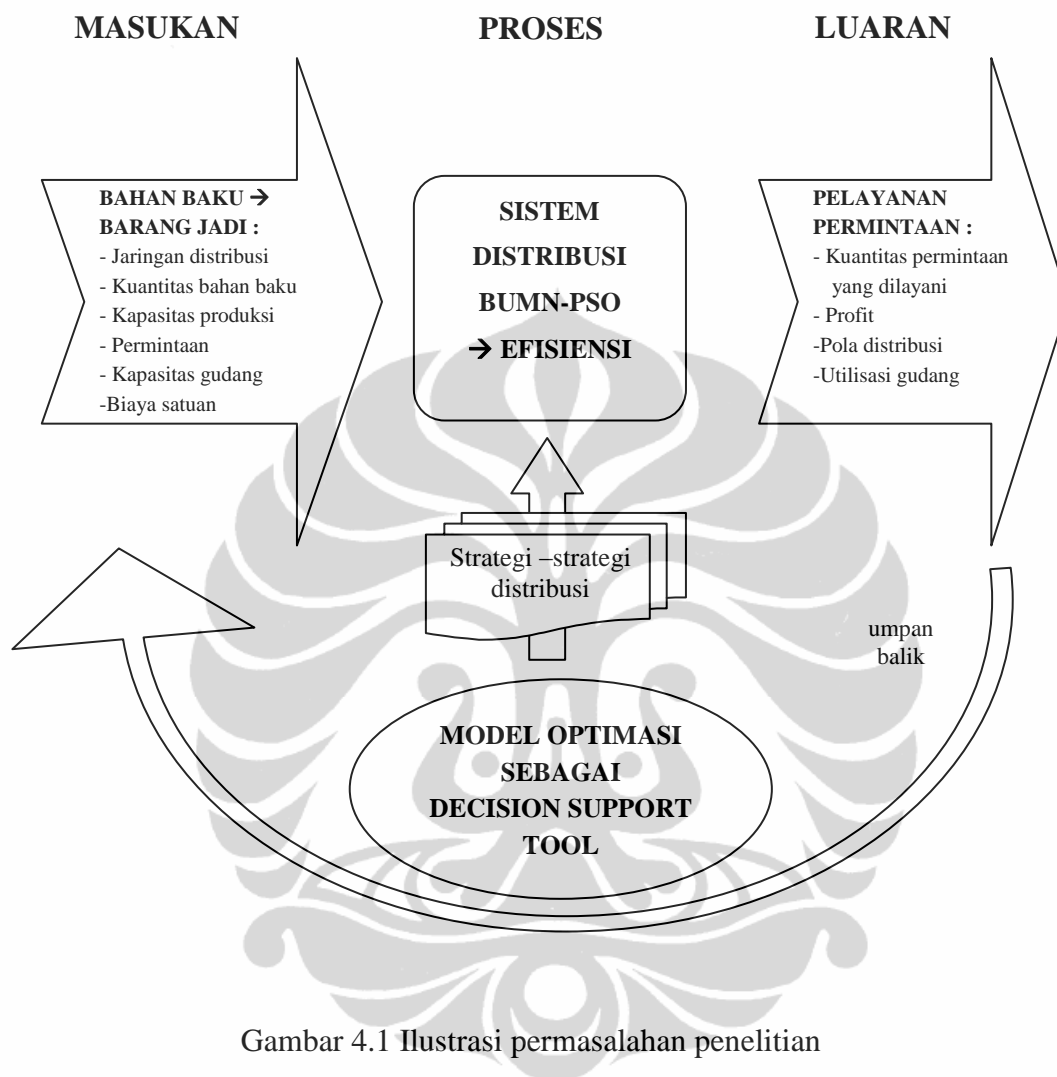
Penelitian ini dimaksudkan untuk mendisain sistem distribusi dari BUMN-PSO. BUMN-PSO yang berkecimpung dengan sistem distribusi barang memiliki karakteristik khusus di dalam sistem distribusinya, yang sejauh ini belum difasilitasi dalam penelitian-penelitian sebelumnya tentang sistem distribusi.

Di dalam bab 4 ini dijelaskan disain dari penelitian ini. Pada sub bab 4.2 dijelaskan secara rinci permasalahan penelitian, termasuk di dalamnya hipotesa serta hal-hal yang mendasar yang menjadi arah dari pengembangan model. Berdasarkan permasalahan penelitian tersebut, pada sub bab 4.3 dijelaskan dasar-dasar pertimbangan dalam pemilihan metode penelitian, sedangkan secara rinci metode penelitian yang dipilih dijelaskan pada sub bab 4.4.

4.2 Permasalahan Penelitian

Berdasarkan penjelasan tiga bab sebelumnya, permasalahan penelitian dapat digambarkan dalam suatu diagram masukan-proses-luaran sebagaimana diperlihatkan pada gambar 4.1. Sesuai tujuan dari penelitian ini, maka yang menjadi fokus pada penelitian ini adalah efisiensi dari sistem distribusi BUMN-PSO. Dari kajian awal pada penelitian ini dirumuskan suatu hipotesa yaitu adanya inefisiensi di dalam sistem distribusi BUMN-PSO. Berdasarkan hipotesa tersebut, dirasakan perlunya suatu strategi yang dapat meningkatkan efisiensi dari sistem. Untuk menguji strategi serta mengambil keputusan diperlukan suatu model optimasi yang dapat menguji efektifitas strategi terhadap sistem distribusi. Dengan model optimasi tersebut, berbagai strategi sistem

distribusi dapat diujicobakan untuk dilihat kinerjanya dalam meningkatkan efisiensi sistem.



Gambar 4.1 Ilustrasi permasalahan penelitian

Masukan (*input*) sistem berfungsi sebagai kendala model dan luaran menjadi keputusan model. Di dalam masukan sistem, terjadi transformasi dari bahan baku menjadi barang jadi, dimana keduanya memiliki karakteristik dalam hal bentuk jaringan distribusi, kuantitas suplai bahan baku, kapasitas produksi pabrik, permintaan, kapasitas gudang serta biaya satuan. Luaran dari sistem digambarkan dalam bentuk pelayanan dan keuntungan perusahaan, termasuk pola distribusi dan utilisasi gudang. Proses umpan balik (*feedback*) dapat dilakukan dalam upaya lebih mengefisienkan sistem.

Untuk melakukan penelitian guna meningkatkan efisiensi sistem distribusi BUMN-PSO, pertanyaan penelitian disusun berdasarkan diagram masukan – proses –luaran di atas, yaitu sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik sistem distribusi yang berlaku saat ini ?
2. Apa permasalahan yang ada pada sistem distribusi tersebut ?
3. Bagaimana bentuk alat (*tool*) untuk menilai efisiensi sistem ?
4. Bagaimana strategi untuk meningkatkan efisiensi sistem distribusi BUMN-PSO ?

4.3 Pemilihan Strategi Penelitian

Untuk menjawab pertanyaan penelitian di atas, perlu ditentukan suatu strategi penelitian yang digunakan sebagai rancangan umum dari penelitian tersebut (Saunders,M., Lewis,P. dan Thornhill,A, 2003). Strategi penelitian harus mengandung penjelasan tentang tujuan (*objective*) yang jelas, yang diturunkan dari pertanyaan penelitian, sumber perolehan data dan informasi serta kendala-kendala yang mungkin dihadapi.

Beberapa bentuk strategi penelitian (Saunders,M., Lewis,P. dan Thornhill,A, 2003) :

1. *Experiment*
2. *Survey*
3. *Case study*
4. *Grounded theory*
5. *Ethnography*
6. *Action Research*
7. *Cross-sectional study*
8. *Longitudinal study*
9. *Exploratory study*
10. *Descriptive study*
11. *Explanatory study*

Pertanyaan penelitian nomor 1 dan 2 berbentuk pertanyaan yang jawabannya memerlukan suatu klarifikasi atas suatu masalah. Dalam hal ini, penelitian ini pada tahap awalnya memerlukan suatu pengertian tentang bagaimana bentuk dan apa permasalahan yang ada pada sistem distribusi BMUN-PSO yang berlaku saat ini. Oleh karenanya, strategi penelitian yang dipilih untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan tersebut adalah studi eksplorasi (*Exploratory Study*). Robson (2002) menyatakan bahwa studi eksplorasi adalah cara untuk mempelajari “apa yang terjadi?”, mencari suatu pandangan / pemikiran baru, mengajukan pertanyaan serta menilai suatu fenomena dari sisi pandang yang baru (Saunders, M., Lewis, P. dan Thornhill, A, 2003).

Karena tujuan dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan efisiensi sistem distribusi BUMN-PSO, maka sebelum menentukan strategi untuk peningkatan efisiensi diperlukan suatu alat yang dapat menilai efisiensi dari sistem tersebut. Dalam hal ini alat tersebut berbentuk model matematis optimasi, yaitu Model Lokasi. Suatu model matematis mengandung variabel-variabel yang saling berhubungan.

Bentuk strategi penelitian yang paling sesuai dengan hal pemodelan (*modeling*) serta dapat menjawab pertanyaan nomor 3 adalah studi eksplanatori (*Explanatory Study*). Studi eksplanatori bertujuan untuk membentuk suatu hubungan kausal (*causal relationship*) diantara variabel-variabel.

Pertanyaan penelitian nomor 4 sesungguhnya terkait dengan pencarian bentuk-bentuk strategi yang dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi BUMN-PSO. Oleh karenanya, strategi penelitian yang tepat untuk menjawab pertanyaan nomor 4 adalah studi eksplorasi.

4.4 Taktik Penelitian

Berdasarkan penjelasan sub bab 4.3 tentang proses pemilihan strategi penelitian maka strategi yang dipilih pada penelitian disertasi ini adalah studi eksplorasi dan eksplanatori. Pemilihan strategi ini harus diikuti dengan pemilihan taktik, yaitu detail dari metode yang dipilih untuk pengumpulan data dan metode

analisa. Taktik yang dipilih dapat bersifat mutual, yaitu dengan satu taktik dapat menjawab kebutuhan kedua studi tersebut sekaligus.

Terdapat 3 (tiga) taktik untuk melakukan studi eksplorasi (Saunders, M., Lewis, P. dan Thornhill, A., 2003) , yaitu :

1. Pencarian melalui pustaka (kajian pustaka)
2. Pembicaraan dengan ahli dalam bidang terkait
3. Melakukan wawancara

Terkait dengan kedua studi yang dipilih dalam penelitian disertasi ini, maka taktik yang dipilih untuk melakukan kedua studi tersebut dalam rangka menjawab keseluruhan pertanyaan penelitian adalah :

1. Wawancara

Wawancara dilakukan terhadap manajemen BUMN-PSO. Wawancara menjadi hal yang esensial untuk mendapatkan informasi tentang karakteristik , implementasi serta permasalahan dari sistem distribusi yang berlaku saat ini. Berdasarkan informasi inilah penelitian dikembangkan. Sifat dari wawancara adalah informal dan berbentuk percakapan yang semi terstruktur (*semi-structured conversation*), yaitu wawancara yang sudah dilengkapi dengan kumpulan tema dan pertanyaan walau tidak dalam suatu bentuk kuesioner khusus dan baku (Saunders, M., Lewis, P. dan Thornhill, A., 2003). Target dari wawancara adalah mendapatkan gambaran tentang sistem distribusi yang berlaku saat ini dengan permasalahan-permasalahan yang dialami manajemen serta mendapatkan data dan informasi yang terkait dengan variabel-variabel dari model optimasi yang dikembangkan.

2. Kajian Pustaka

Kajian pustaka dilakukan untuk menjawab hampir semua pertanyaan penelitian, khususnya untuk pertanyaan nomor 3 dan 4. Kajian pustaka dimaksudkan untuk melihat rekam jejak dari penelitian-penelitian sebelumnya yang sejalan dengan penelitian ini serta menempatkan *state of the art* dari penelitian ini diantara penelitian-penelitian tersebut. Selain itu, kajian pustaka dimaksudkan sebagai referensi bagi hal-hal baru yang dikembangkan pada penelitian ini. Sumber kajian pustaka adalah publikasi ilmiah, buku teks serta peraturan perundangan.

3. Pengembangan model optimasi (*optimization modeling*)

Pengembangan model optimasi dimaksudkan untuk membuat hubungan kausal antar variabel-variabel yang mempengaruhi efisiensi sistem distribusi dan mendapatkan alat untuk pengambilan keputusan (*decision support tool*) terhadap berbagai pilihan strategi yang terkait dengan sistem distribusi usulan. Metode ini dimaksudkan untuk menjawab secara langsung pertanyaan penelitian nomor 3 dan luaran dari pemodelan itu sendiri dapat menjawab pertanyaan penelitian nomor 4, yaitu melalui simulasi model terhadap berbagai strategi peningkatan efisiensi sistem.

Tahapan yang dilakukan di dalam pengembangan model optimasi mengacu pada tahapan-tahapan yang umum dilakukan di dalam pemodelan (Taniguchi, E., Thompson, R.G., Yamada, T. dan Duin, V.R. , 2001), namun disesuaikan dengan kebutuhan khusus dari penelitian disertasi ini. Tahapan-tahapan tersebut dijelaskan sebagai berikut :

a. Perumusan masalah

Yaitu tahapan untuk merumuskan bentuk permasalahan apa yang diprediksi dampaknya terhadap suatu skenario strategi usulan. Sebagaimana dijelaskan sebelumnya, yang menjadi permasalahan penelitian adalah bagaimana meningkatkan efisiensi sistem distribusi BUMN-PSO.

b. Penetapan tujuan pemodelan

Tujuan dari pemodelan adalah untuk membuat suatu alat bantu pengambil keputusan dalam meningkatkan efisiensi sistem distribusi BUMN-PSO.

c. Penetapan kriteria

Yaitu menetapkan suatu ukuran kinerja yang dihasilkan oleh model , yang digunakan dalam pengambilan keputusan. Di dalam penelitian ini variabel yang digunakan sebagai kriteria adalah keuntungan (*profit*). Variabel keuntungan disini bukan merupakan representasi dari laba finansial perusahaan, tetapi lebih merupakan representasi dari “pendapatan dikurangi biaya”. Di dalam penelitian ini, keuntungan dianggap sebagai representasi dari efisiensi. Mengingat keuntungan merupakan relasi antara biaya dan pendapatan, maka peningkatan keuntungan diasumsikan sebagai indikasi bagi peningkatan efisiensi.

Bhutta dkk serta Hodder dkk (Hodder dan Dincer, 1985; Bhutta, Huq, Frazier & Mohamed, 2003) menggunakan kriteria ini di dalam model optimasinya.

d. Analisa sistem

Yaitu tahapan untuk mengidentifikasi komponen-komponen yang paling mendasar serta interaksinya di dalam sistem. Selain itu, faktor-faktor utama dan relasi diantaranya juga perlu diidentifikasi. Sebagaimana dijelaskan sebelumnya, variabel biaya transportasi, biaya produksi serta pendapatan merupakan komponen yang esensial dan perlu dipertimbangkan di dalam pemodelan.

e. Sintesa sistem

Yaitu proses memformulasikan model dalam bentuk persamaan matematis yang mengandung variabel-variabel yang diidentifikasi pada tahap analisa sistem.

f. Solusi model

Yaitu tahapan untuk menginvestigasi teknik untuk penyelesaian model

g. Pengembangan program aplikasi (*software development*)

Aplikasi ini umumnya sangat diperlukan untuk solusi model yang didasarkan pada masalah arus jaringan, yang solusinya sangat bersifat kombinatorik.

h. Verifikasi program aplikasi

Untuk meyakinkan bahwa sistem telah dapat direpresentasikan dengan baik, maka pada tahapan ini, prosedur-prosedur di dalam aplikasi diuji dan diperiksa atas kebenaran dalam struktur logika-nya.

i. Disain skenario optimasi

Pada tahapan ini dibuat berbagai bentuk skenario sistem yang diharapkan dapat memperbaiki sistem yang berlaku saat ini. Pertanyaan nomor 1 dan 2 dijadikan dasar dalam mendisain skenario sistem usulan, yaitu hal yang terkait dengan model integrasi serta bentuk jaringan distribusi usulan.

j. Simulasi

Dengan menggunakan program aplikasi dari model yang dikembangkan, berbagai skenario tersebut diuji-cobakan, untuk kemudian dilihat

dampaknya terhadap indikator kriteria, yaitu keuntungan. Tahapan simulasi ini juga digunakan untuk menguji ketangguhan dari model untuk menjawab tujuan dari pemodelan.

Simulasi yang dilakukan ini sesungguhnya bagian dari proses validasi model. Pada kasus-kasus tertentu dimana terdapat masalah dalam pengadaan data historis untuk kepentingan validasi, maka proses validasi dapat diganti dengan proses simulasi sebagai cara independen untuk memverifikasi luaran dari model (Ahuja, Magnanti dan Orlin, 1993) .

k. Pengambilan kesimpulan

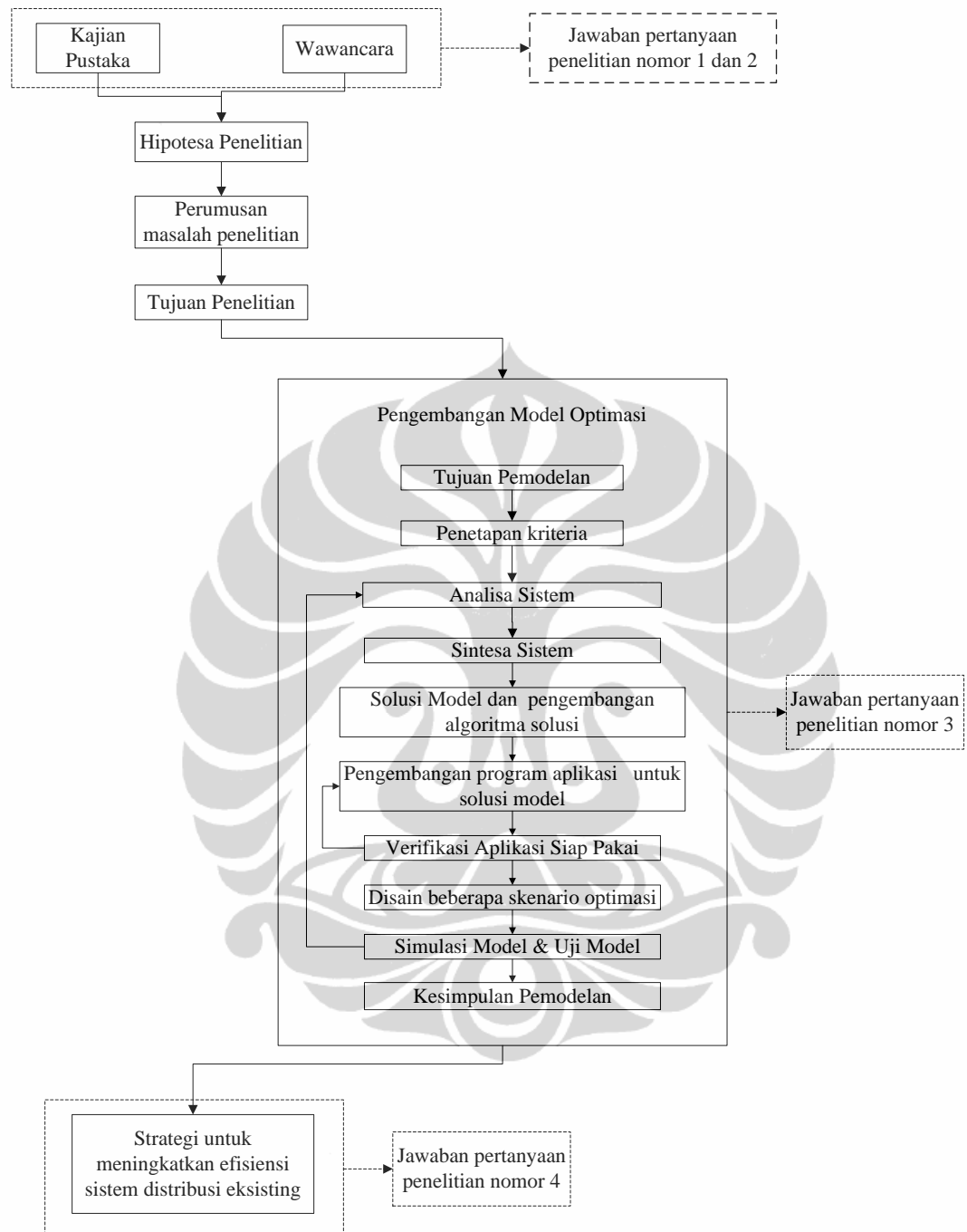
Pengambilan keputusan terhadap skenario usulan yang terbaik dilakukan dengan melihat tren dari indikator kriteria untuk berbagai bentuk alternatif strategi sistem distribusi usulan.

Kesimpulan dari tahap pengembangan model optimasi digunakan sebagai dasar untuk menjawab pertanyaan penelitian nomor 4 yaitu bagaimana bentuk strategi untuk meningkatkan efisiensi sistem distribusi yang berlaku saat ini.

Keseluruhan tahapan penelitian tersebut dirangkum dalam tahapan penelitian sebagaimana digambarkan pada gambar 4.2.

4.5 Kesimpulan

Bab ini menjelaskan inti dari disain penelitian. Pada bab ini dijelaskan rumusan dari permasalahan penelitian dari disertasi ini dan rumusan tersebut dinyatakan dalam suatu bentuk pertanyaan. Pertanyaan penelitian ini diturunkan dari suatu hipotesa bahwa terjadi inefisiensi di dalam disain sistem distribusi barang yang dikelola oleh BUMN-PSO yang menjadi studi kasus. Untuk menjawab pertanyaan penelitian tersebut, dirancang suatu strategi penelitian yang berbentuk studi eksplorasi dan studi eksplanatori. Taktik yang dipilih terkait dengan kedua strategi tersebut adalah metode wawancara , kajian pustaka dan pengembangan model optimasi. Wawancara dilakukan terhadap manajemen BUMN-PSO, dan kajian pustaka meliputi kajian terhadap penelitian-penelitian terdahulu dalam publikasi ilmiah, teori-teori yang mendukung dalam buku teks serta peraturan perundangan.



Gambar 4.2 Disain penelitian

BAB 5

PENGEMBANGAN MODEL OPTIMASI

5.1 Pendahuluan

Pengembangan model optimasi pada penelitian disertasi ini merupakan tahapan yang dimaksudkan untuk membuat suatu alat bantu pengambilan keputusan (*decision support tool*) terhadap berbagai pilihan sistem distribusi yang dapat memperbaiki sistem distribusi BUMN-PSO yang berlaku saat ini.

Sebagaimana dijelaskan pada bab 4, proses pengembangan model meliputi tahapan-tahapan sebagai berikut : perumusan masalah dan tujuan pengembangan model, penetapan kriteria, analisa sistem, sintesa sistem, solusi model, pengembangan program aplikasi beserta verifikasinya, disain skenario dan proses simulasi untuk menguji model serta pengambilan keputusan. Di dalam bab 5 ini dijelaskan eksekusi dari tahapan-tahapan tersebut . Pada sub bab 5.2 dijelaskan kembali tujuan pemodelan serta kriteria model. Pada sub bab 5.3 dijelaskan proses analisa sistem. Termasuk di dalam analisa sistem yaitu penjelasan tentang sistem distribusi usulan beserta pertimbangannya, konsekuensi variabel yang dipilih beserta dasar pertimbangannya serta interaksi diantara variabel-variabel terpilih. Sub bab 5.4 merupakan penjelasan awal dari tahapan sintesa sistem, dimana pada penelitian ini sintesa sistem dikembangkan dalam dua formulasi, yaitu *Product-Based Model* dan *Resource-Based Model*. Kedua model tersebut masing-masing dibahas secara detail pada bab 6 dan 7.

5.2 Tujuan Pemodelan dan Kriteria Model

Sebagaimana dijelaskan pada sub bab 4.4, permasalahan penelitian adalah bagaimana meningkatkan efisiensi sistem distribusi BUMN-PSO. Untuk itu, tujuan dari pemodelan adalah untuk membuat suatu alat bantu pengambil keputusan dalam meningkatkan efisiensi sistem distribusi BUMN-PSO. Tujuan pemodelan ini dapat diterjemahkan secara lebih khusus yaitu membuat suatu model optimasi untuk menentukan lokasi titik-titik fasilitas/gudang sistem distribusi BUMN-PSO yang dapat meningkatkan efisiensi sistem. Pemodelan untuk menentukan lokasi titik-titik fasilitas sering disebut sebagai Model Lokasi (*Location Model*).

Sebagai kriteria model digunakan variabel keuntungan (*profit*), dimana keuntungan dianggap merupakan representasi dari efisiensi. Peningkatan keuntungan diasumsikan sebagai indikasi bagi peningkatan efisiensi. Variabel keuntungan disini bukan merupakan representasi dari laba finansial perusahaan, tetapi lebih merupakan representasi dari nilai matematis “pendapatan dikurangi biaya” semata.

5.3. Analisa Sistem

5.3.1. Sistem Distribusi BUMN-PSO yang Berlaku Saat Ini

Analisa sistem di dalam pemodelan dimaksudkan untuk mengidentifikasi komponen-komponen yang paling mendasar di dalam sistem serta interaksi diantara komponen-komponen tersebut di dalam sistem. Selain itu, faktor-faktor utama dan relasi diantaranya juga perlu diidentifikasi.

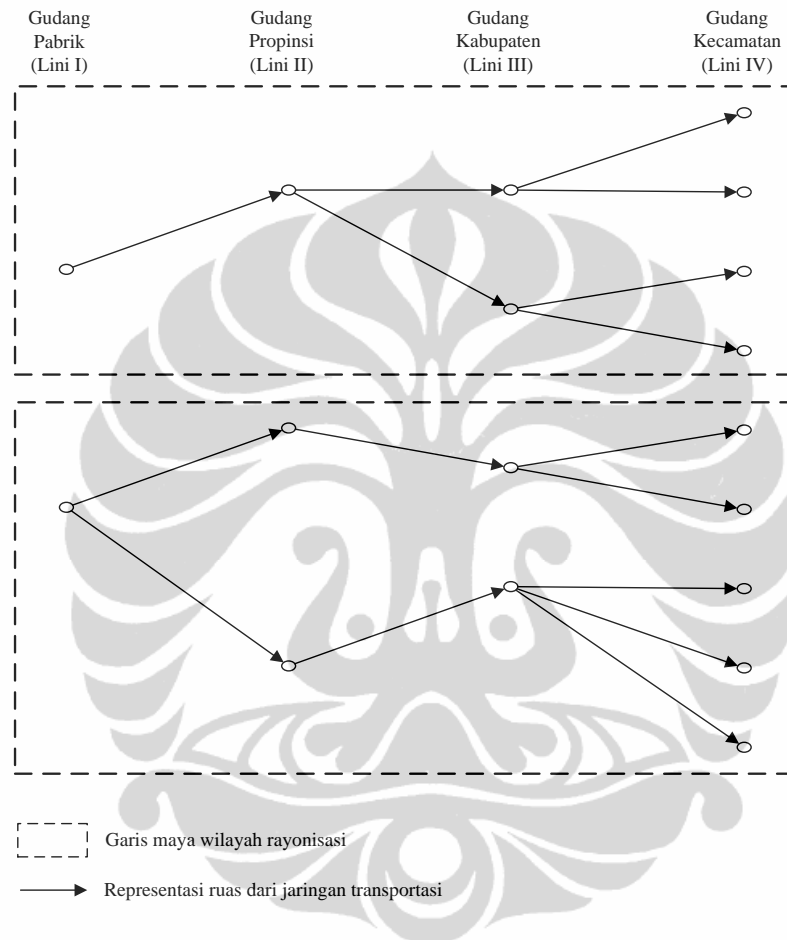
Sebagaimana telah dijelaskan pada bab 2, jaringan distribusi BUMN-PSO yang menjadi studi kasus terdiri dari :

- Pabrik (gudang pabrik) di lini I
- Gudang Propinsi (milik produsen, dalam hal ini anak perusahaan) di lini II
- Gudang Kabupaten (milik produsen) di lini III
- Gudang Kabupaten (milik distributor) di lini III
- Gudang Kecamatan (milik distributor) di lini IV

Struktur tersebut digambarkan dalam bentuk jaringan yang disederhanakan (gambar 5.1). Untuk penyederhanaan, mengingat gudang kabupaten milik produsen di lini III tidak harus ada, maka di dalam gambar 5.1 gudang kabupaten milik produsen dan distributor dianggap merupakan satu kesatuan.

Mekanisme produksi dan distribusi dimulai dari besaran permintaan terhadap komoditas yang berasal dari pemerintah, kemudian berdasarkan besaran tersebut perusahaan induk melakukan pembebanan produksi pada setiap pabrik (anak perusahaan). Pembebanan didasarkan pada pembagian rayon. Rayonisasi sendiri didasarkan hanya pada prinsip biaya transportasi minimum serta kemampuan kapasitas pabrik. Proses transportasi dari pabrik hingga lini IV menjadi tanggung jawab setiap pabrik dan dilaksanakan oleh pihak ketiga.

Karena proses transportasi menjadi tanggung jawab dari masing-masing pabrik, maka sistem yang berlaku saat ini dari tiap-tiap pabrik pada dasarnya berbentuk sumber tunggal dengan konsumen majemuk (single source - multi customers).



Gambar 5. 1 Sistem jaringan distribusi yang berlaku saat ini

5.3.2 Integrasi Sistem

Kesadaran akan kebutuhan terhadap perencanaan yang efektif serta kesadaran akan pentingnya dan relevansi antara sistem rantai suplai dengan bisnis perusahaan telah mengakibatkan berkembangnya beberapa pendekatan logistik yang mengarah pada integrasi sistem. Pendekatan ini ditunjang oleh adanya kemajuan di dalam bidang sistem informasi yang telah memungkinkan sistem

informasi yang mampu mendukung perencanaan dan manajemen dari operasional logistik yang terintegrasi .

Pengembangan yang dilakukan pada bidang logistik untuk menunjang kebutuhan akan operasional yang lebih terintegrasi di dasarkan pada konsep logistik total (*total logistics concept*) (Rushton, Croucher & Baker, 2006). Konsep logistik total ditujukan untuk memperlakukan elemen-elemen yang berbeda di dalam sistem rantai suplai sebagai satu sistem yang terintegrasi. Hal ini didasarkan pada kesadaran akan adanya interrelasi diantara elemen-elemen rantai suplai, yang perlu dipertimbangkan dalam konteks rantai suplai yang lebih luas. Sehingga rantai suplai dapat lebih dilihat sebagai suatu total sistem, daripada sekedar melihat elemen-elemen tersebut secara individu atau sub sistem yang terisolasi. Konsep logistik total ini memunculkan suatu *trade-off* biaya, namun akan memberi manfaat kepada sistem logistik secara keseluruhan. Pada konsep logistik total dimungkinkan terjadinya penambahan biaya pada satu fungsi tetapi akan memberikan penghematan yang lebih besar pada fungsi lainnya. Namun secara keseluruhan akan memberikan keuntungan pada sistem.

Konsep *trade-off* dari logistik total dapat diterapkan pada berbagai tingkatan , yaitu :

1. *Trade-off* di dalam suatu komponen sistem rantai suplai

Trade-off terjadi hanya di dalam satu fungsi tertentu dalam rantai suplai.

Sebagai contoh adalah bagaimana menempatkan lokasi penyimpanan (*storage*) dalam suatu depo. Pilihan pertama memungkinkan utilisasi penyimpanan yang tinggi namun kesulitan dalam hal pengambilan , sementara pilihan kedua memungkinkan kemudahan dalam pengambilan tetapi tidak memberikan utilisasi yang lebih baik dibandingkan pilihan pertama.

2. *Trade-off* diantara berbagai komponen sistem

Trade-off terjadi diantara elemen yang berbeda di dalam rantai suplai. Sebagai contoh adalah akibat bentuk kemasan produk jadi sedemikian rupa, yang cocok dengan karakteristik *pallet* pengangkutnya, di satu sisi membutuhkan biaya yang besar dalam hal pengemasannya (*packaging*), namun dampaknya dapat memberikan penghematan yang lebih besar pada komponen penanganan material (*material handling*).

3. *Trade-off* diantara fungsi-fungsi yang berbeda di dalam perusahaan.

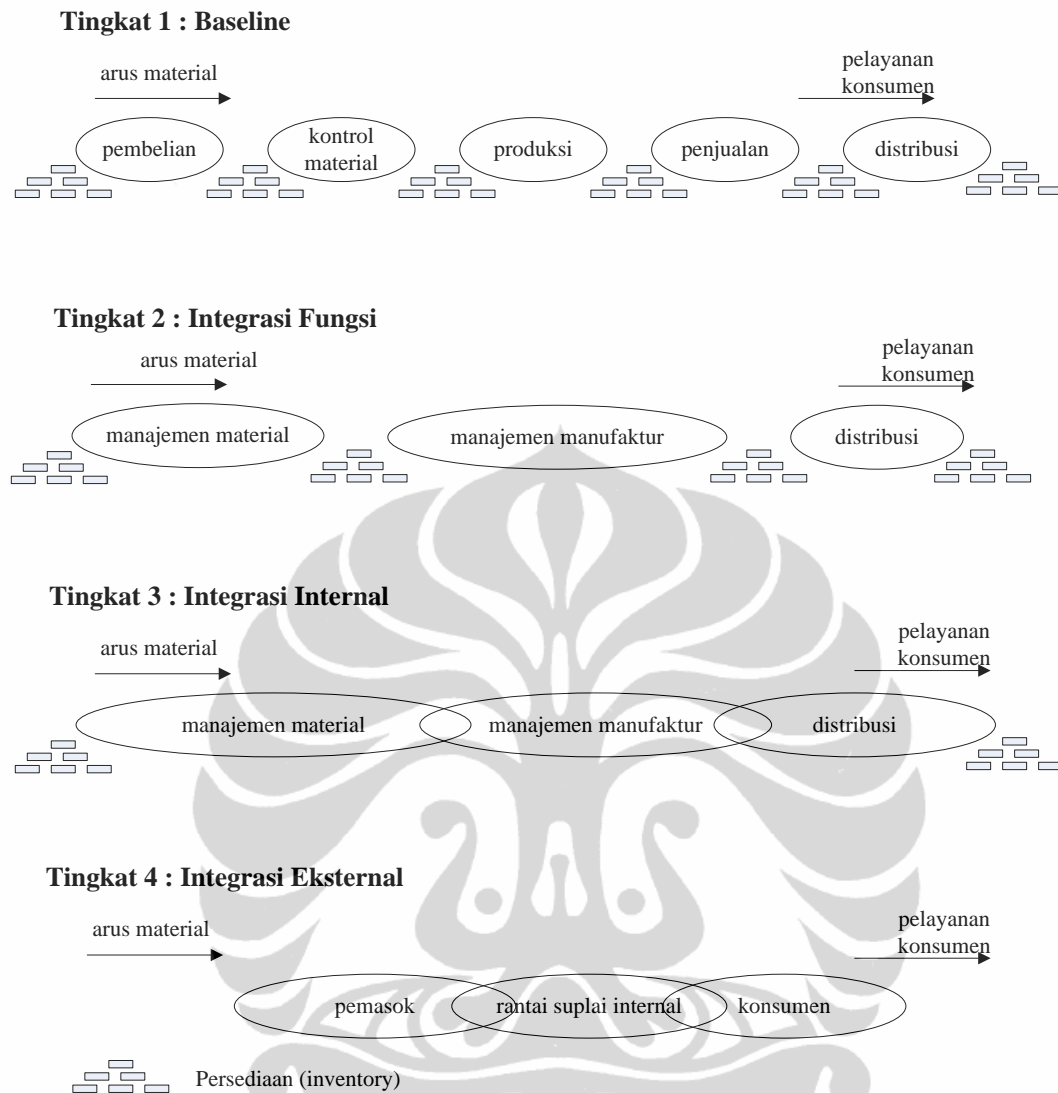
Sebagai contoh adalah *trade-off* akibat pengurangan jumlah depo. Dari sisi finansial, hal ini dapat mengurangi biaya serta terhadap fungsi distribusi hal ini dapat menyederhanakan kompleksitas struktur logistik. Namun, terhadap fungsi pemasaran hal ini dapat mengurangi tingkat pelayanan akibat bertambahnya jarak antara depo dengan pelanggan. Keputusan diambil dengan melihat *tradeoff* diantara ketiga fungsi tersebut.

4. *Trade-off* antara perusahaan dengan organisasi di luarnya yang masih saling terkait.

Sebagai contoh adalah pengiriman produk dari pabrik secara langsung ke toko milik pengecer (*retailer*) dibandingkan dengan pengiriman melalui depo distribusi milik pengecer. Alternatif terakhir ini dapat memberikan keuntungan bagi produsen maupun pengecer.

Gambar 5.2 memperlihatkan suatu contoh integrasi rantai suplai yang menggambarkan beberapa tingkatan integrasi dan dampaknya terhadap persediaan (*inventory*).

Pada tingkat dasar, terlihat bahwa komponen-komponen sistem rantai suplai masing-masing berdiri sendiri, sehingga terlihat bahwa persediaan / stok (*inventory*) terjadi di banyak lini. Bila sistem tingkat dasar tersebut diintegrasikan dengan cara menggabungkan berbagai fungsi/komponen sistem, maka terlihat lini stok menjadi makin berkurang. Pengurangan stok ini tentu saja berpengaruh pada pelayanan konsumen dan efisiensi biaya. Pada tingkat berikutnya, dilakukan integrasi internal diantara komponen-komponen yang ada pada tingkat sebelumnya. Integrasi ini memungkinkan stok hanya ada pada awal dan akhir sistem. Integrasi tahap berikutnya memperlihatkan adanya integrasi antara perusahaan yang bersangkutan dengan pihak lain di luarnya, yaitu pemasok (*supplier*) dan konsumen.



Gambar 5. 2 Integrasi Rantai Suplai

Sumber : Rushton et al, 2006

5.3.3 Sistem Distribusi Usulan

Dalam mendisain jaringan distribusi fisik usulan dilakukan beberapa pertimbangan (Rushton, Croucher & Baker, 2006), yaitu:

1. Karakteristik pasar

Konsumen utama dari komoditas BUMN-PSO adalah pengguna komoditas subsidi, yang letaknya tersebar luas secara geografis hampir di seluruh wilayah Indonesia, walaupun dengan besar permintaan yang beragam. Pasar ini menjadi khusus karena semua permintaan harus dilayani, tanpa melihat lokasi maupun

kuantitas permintaan. Dengan karakteristik yang demikian, maka sistem “*long channel*” merupakan pilihan yang tepat, yaitu pergerakan komoditas dari titik produksi menuju titik konsumen akhir melalui beberapa tahapan, yaitu titik-titik gudang yang berbeda fungsi maupun pengelolanya.

2. Karakteristik produk

Dalam hal karakteristik produk, komoditas BUMN-PSO tidak memiliki permasalahan khusus, seperti harga yang ekstrim mahal, material produk yang kompleks, kendala waktu dan kendala penanganan (*handling*) yang khusus.

3. Karakteristik jaringan

Dalam hal karakteristik jaringan, pertimbangan pemilihan bentuk jaringan distribusi terkait erat dengan tingkat efisiensi sistem.

Identifikasi awal terhadap sistem distribusi yang berlaku saat ini menunjukkan bahwa sistem masih mungkin ditingkatkan efisiensinya dengan melakukan integrasi. Hal ini didasarkan pada pertimbangan bahwa walaupun anak perusahaan-anak perusahaan tersebut berada di bawah satu perusahaan induk dan bergerak di dalam objek operasional yang sama namun fungsi operasional dari setiap anak perusahaan BUMN-PSO bersifat independen satu sama lain. Berdasarkan konsep logistik total, peluang untuk mengintegrasikan berbagai komponen sistem suplai masih cukup besar. Bentuk integrasi yang mungkin dilakukan adalah :

a. Operasional yang terintegrasi diantara semua pabrik

Bentuk ini memerlukan suatu perusahaan induk yang berkewenangan untuk mengatur operasional semua anak perusahaan/pabrik secara sentral (sistem operator tunggal). Dalam hal ini sistem rayon dihapuskan.

b. Adanya penggunaan bersama suatu fasilitas (*common facility*).

Fasilitas yang mungkin digunakan bersama adalah gudang-gudang di lini II (propinsi). Fasilitas ini dapat difungsikan sebagai gudang konsolidasi, dimana komoditas dari berbagai sumber dapat dikirim ke gudang ini dan untuk selanjutnya dengan menggunakan kendaraan dengan kapasitas yang lebih besar diangkut menuju gudang lini III. Proses konsolidasi ini merupakan strategi untuk menerapkan *economy of scale*.

4. Karakteristik kompetitor

Mengingat mayoritas komoditas yang dikelola oleh BUMN-PSO adalah komoditas publik/subsidi, dimana tidak ada persaingan berarti di dalam hal penjualan, maka faktor kompetitor tidak terlalu mempengaruhi bentuk jaringan usulan.

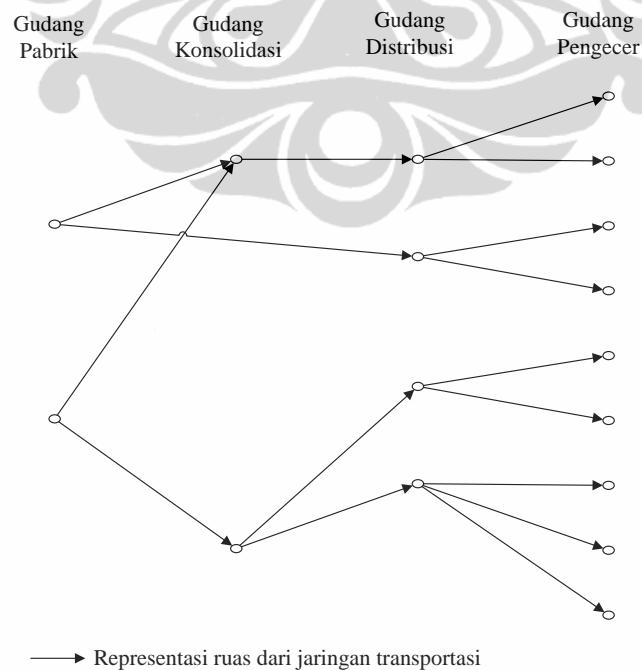
5. Sumber daya perusahaan

Sistem jaringan usulan pada dasarnya akan memanfaatkan semaksimal mungkin infrastruktur yang ada, namun akan dilakukan perubahan fungsi dari sebagian fasilitas. Perubahan fungsi tersebut tentu saja akan dapat membawa konsekuensi pada perubahan sistem dan ukuran fasilitas saat ini.

Bentuk jaringan distribusi usulan direpresentasikan dalam bentuk jaringan sebagaimana digambarkan pada gambar 5.3.

Sistem jaringan usulan terdiri dari 4 (empat) lini yaitu :

- Gudang Pabrik
- Gudang Konsolidasi
- Gudang Distribusi
- Gudang Pengecer (*Retailer*)



Gambar 5. 3 Sistem jaringan distribusi usulan

Pada sistem ini, gudang konsolidasi berfungsi untuk proses konsolidasi komoditas, yaitu tempat bergabungnya komoditas dari berbagai sumber untuk kemudian dibawa ke gudang lini berikutnya dengan armada berukuran besar (misalnya kereta). Selain itu, gudang konsolidasi juga dapat berfungsi untuk menerima komoditas dalam jumlah besar dari satu sumber, untuk kemudian dibawa ke gudang lini berikutnya dengan armada-armada yang lebih kecil. Pada sistem jaringan usulan ini, gudang konsolidasi dapat juga difungsikan hanya sebagai gudang distribusi. Gudang distribusi lebih berfungsi untuk menjamin komoditas sampai di tempatnya pada waktu dan jumlah yang tepat.

Dalam sistem distribusi usulan dimungkinkan adanya proses transportasi secara langsung dari gudang pabrik menuju gudang distribusi, yaitu apabila secara ekonomis hal ini lebih menguntungkan bila dibandingkan harus melalui gudang konsolidasi. Di dalam sistem usulan ini diasumsikan bahwa gudang distribusi harus selalu ada, sehingga tidak dimungkinkan adanya proses transportasi dari gudang pabrik langsung ke gudang pengecer. Selain itu, di dalam model jaringan usulan ini dimungkinkan adanya penjualan produk di titik-titik gudang pabrik, gudang konsolidasi maupun distribusi.

Dengan adanya satu perusahaan induk yang mengelola kesemua pabrik, maka jaringan distribusi usulan berbentuk multi sumber multi konsumen (*multi sources - multi customers*).

5.3.4 Variabel Model dan Interaksi antar Variabel

Berdasarkan sistem distribusi usulan, maka dilakukan identifikasi terhadap variabel-variabel yang esensial, yang harus disertakan dalam model serta interaksi diantara variabel-variabel tersebut (Soehodho, S. dan Nahry, 2008).

Sesuai tujuan dari pemodelan, yaitu membuat suatu model untuk menentukan lokasi titik-titik fasilitas sistem distribusi BUMN-PSO yang dapat meningkatkan efisiensi sistem saat ini, maka variabel yang perlu dipertimbangkan adalah :

1. Biaya transportasi

Variabel biaya transportasi merupakan variabel yang paling esensial di dalam model distribusi. Dari survey biaya logistik di Amerika Serikat yang dilakukan oleh Herbert W Davis & Company (2005), komponen transportasi merupakan

komponen yang paling dominan dalam biaya logistik, yaitu 45% dari total biaya, diikuti dengan biaya pengelolaan persediaan (*inventory carrying cost*) 23% dan biaya pergudangan (*storage/warehousing cost*) 22% serta biaya administrasi 10% (Rushton, A., Croucher, P. dan Baker, P., 2006). Angka-angka ini selaras dengan hasil survey produktivitas logistik di Eropa yang dilakukan oleh A.T. Kearney, dimana biaya transportasi meliputi 41% biaya total logistik, diikuti dengan biaya pengelolaan persediaan 23% dan biaya pergudangan 21% serta biaya administrasi 15% (Rushton, A., Croucher, P. dan Baker, P., 2006).

2. Biaya produksi

Identifikasi terhadap sub-sistem produksi dari sistem distribusi yang berlaku saat ini menunjukkan bahwa :

- Keempat jenis produk yang dihasilkan oleh BUMN-PSO memiliki bahan baku utama berupa gas alam.
- Biaya pengadaan bahan gas alam tersebut meliputi 60% dari biaya total produksi.
- Perbedaan harga bahan baku dan perbedaan kondisi alat produksi mengakibatkan terjadinya perbedaan biaya satuan produksi untuk tiap pabriknya.

Mengingat optimasi sistem distribusi usulan bersifat sentralisasi dan berbentuk *multi sources*, maka di dalam pembebanan produksi pada tiap-tiap pabrik oleh perusahaan induk perlu untuk memperhitungkan biaya produksi di tiap pabrik tersebut. Apabila total kapasitas dari semua pabrik melebihi total permintaan (kondisi *excess capacity*), maka secara rasional proses pembebanan akan memprioritaskan pabrik yang biaya produksinya lebih kecil untuk dibebani produksi yang lebih besar. Namun, sesuai dengan konsep logistik total, di dalam sistem yang terintegrasi akan ada *tradeoff* antara biaya produksi dan biaya transportasi, sehingga terpilih pembebanan yang memberikan biaya total (total biaya transportasi dan biaya produksi) terkecil (Soehodho, S. dan Nahry, 2009 b).

3. Biaya tetap fasilitas (*fixed cost of facility*)

Sebagaimana dijelaskan pada sub bab 3.2.1 tentang masalah lokasi (*location problem*), biaya tetap fasilitas dapat digambarkan sebagai biaya investasi untuk membuka suatu fasilitas. Di dalam implementasinya, biaya tetap fasilitas ini sangat dimungkinkan berbeda-beda diantara fasilitas yang ada serta biaya ini menjadi hal penting untuk dipertimbangkan dalam rangka melihat *tradeoff* antara biaya dan manfaat akibat penempatan/pembukaan suatu titik fasilitas. Pembukaan titik fasilitas di satu sisi akan menambah nilai pelayanan pada konsumen dan dapat mengurangi biaya transportasi, namun di sisi lain tentu saja hal ini berdampak pada bertambahnya biaya akibat investasi fasilitas.

4. Harga jual (*selling price*)

Apabila biaya produksi penting untuk dipertimbangkan, khususnya pada kondisi kapasitas berlebih (*excess capacity*), maka kebalikannya adalah bahwa pada kondisi permintaan yang berlebih (*excess demand*), perusahaan induk harus memilih titik permintaan yang mana yang harus diprioritaskan pemenuhannya dan yang dapat memberikan keuntungan finansial terbesar. Sekali lagi, proses pemilihan ini akan membuat suatu *tradeoff* antara total biaya (yaitu biaya produksi, biaya transportasi dan biaya tetap fasilitas) dengan pendapatan (*revenue*) yang diperoleh dari pemenuhan permintaan di suatu titik (Soehodho, S. dan Nahry, 2009 b).

Hal khusus yang perlu diperhatikan di dalam *tradeoff* tersebut adalah bahwa *tradeoff* tidak dapat semata melihat nilai keuntungan yang terbesar sebagai alternatif sistem yang dipilih. Hal ini disebabkan oleh karakteristik BUMN-PSO yang memiliki kewajiban untuk memenuhi kebutuhan publik terhadap produk subsidi secara penuh, tanpa melihat keuntungan yang mungkin didapatnya. Dalam hal ini BUMN-PSO wajib menjalankan misi pelayanan publiknya. Oleh karenanya, *tradeoff* harus memprioritaskan pemenuhan permintaan terhadap produk subsidi terlebih dahulu, baru kemudian dilakukan pemilihan alternatif berdasarkan keuntungan finansial.

Keempat variabel tersebut diasumsikan sebagai variabel terpenting yang harus disertakan di dalam Model Lokasi BUMN-PSO yang menjadi studi kasus.

Di dalam sistem distribusi usulan, dilakukan strategi untuk memanfaatkan *economy of scale* dengan cara memfungsikan gudang propinsi sebagai gudang konsolidasi, sehingga diharapkan dengan proses konsolidasi ini dapat diperoleh pengurangan biaya satuan transportasi. Selain itu, sentralisasi pembebanan pada sistem *multi sources* juga dapat memanfaatkan prinsip *economy of scale* ini pada proses produksi dengan cara membebani semaksimal mungkin satu pabrik hingga batas kapasitasnya, baru kemudian pembebanan dipindahkan pada pabrik berikutnya. Pembebanan maksimal hingga batas kapasitas dilakukan untuk mendapatkan pengurangan biaya produksi satuan.

Akibat dari penerapan *economy of scale*, khususnya yang terkait dengan variabel model dan interaksinya, adalah terbentuknya fungsi biaya total yang berbentuk *concave* terhadap volume komoditas pada variabel biaya transportasi dan biaya produksi. Teori yang terkait dengan fungsi biaya *concave* dijelaskan secara rinci pada sub bab 3.4. Sementara, fungsi biaya tetap fasilitas akan berbentuk konstanta karena besarnya biaya investasi untuk membuka suatu fasilitas tidak tergantung pada volume komoditas yang melewati fasilitas tersebut. Biaya tetap fasilitas salah satunya dipengaruhi oleh kapasitas dari fasilitas itu sendiri.

Untuk variabel harga jual, variabel ini terkait dengan komponen pendapatan (*revenue*) dan secara matematis bersifat negasi terhadap komponen biaya (*cost*). Karena harga jual satuan diasumsikan konstan, tidak dipengaruhi oleh volume penjualan, maka komponen pendapatan merupakan fungsi linear dari volume komoditas.

5.4 Batasan dan Asumsi dalam Pemodelan

1. Kapasitas gudang dimungkinkan untuk dibatasi atau tidak dibatasi, sedangkan kapasitas di ruas lainnya tidak dibatasi (*uncapacitated links*)
2. Biaya transportasi untuk membawa satu unit komoditas di suatu ruas tertentu sama untuk semua jenis komoditas
3. Pada ruas-ruas yang mempertimbangkan *economy of scale* pada biaya transportasi-nya, kapasitas kendaraan pada ruas tersebut lebih besar atau sama dengan total arus pada ruas tersebut

4. Kebijakan impor dan ekspor dapat dilakukan pada lini tertentu atau di tiap lini
5. Jaringan fisik distribusi terdiri dari maksimum empat lini (tiga *stages*)
6. Sistem distribusi dapat terdiri dari pabrik tunggal atau multi pabrik
7. Sistem distribusi dapat mengelola komoditas tunggal atau multi komoditas

5.5 Sintesa Sistem

Berdasarkan penjelasan sebelumnya tentang analisa sistem, dibentuk model matematis dari Model Lokasi yang dapat merepresentasikan sistem distribusi usulan yang dapat dimanfaatkan oleh BUMN-PSO untuk memilih lokasi bagi penempatan titik-titik fasilitasnya.

Terkait dengan konsep integrasi yang menjadi dasar dari perbaikan sistem yang berlaku saat ini, di dalam penelitian ini dibuat dua model optimasi sistem, yaitu :

1. *Product-based model*

Sistem optimasi pada model ini dilakukan secara sentral (*centralized*) oleh perusahaan induk, termasuk di dalamnya proses optimasi pembebanan (*assignment*) produksi pada tiap pabrik serta pola distribusi ke semua titik permintaan. Namun, optimasi dari tiap jenis komoditas bersifat independen satu sama lain dan optimasi berbasis pada besaran dari tiap jenis komoditas.

2. *Resource-based model*

Sama seperti pada *product-based model*, sistem optimasi pada model ini dilakukan secara sentral oleh perusahaan induk, namun pada model ini optimasi dari semua jenis komoditas dilakukan secara simultan / bersamaan dan optimasi berbasis pada besaran bahan baku.

Dengan optimasi menggunakan kedua model ini, fungsi tujuan dirumuskan untuk semua anak perusahaan secara bersama-sama, sehingga fungsi tujuan berada pada tingkat sistem, bukan pada sub sistem seperti yang berlaku pada model BUMN-PSO saat ini.

Bentuk fungsi tujuan serta variabel-variabel yang dilibatkan dalam fungsi tujuan untuk kedua model tersebut dibahas pada dua bab selanjutnya. Pada dasarnya bentuk fungsi tujuan, kendala serta variabel yang dilibatkan pada kedua model adalah sama. Hanya pada beberapa bagian terdapat perbedaan akibat

adanya perbedaan basis besaran yang dioptimasi, yaitu komoditas dan bahan baku.

5.6 Kesimpulan

Pada bab ini telah dijelaskan tahapan yang dilakukan pada pengembangan model optimasi, khususnya tahap penetapan tujuan dan kriteria model serta analisa sistem. Tujuan dari pemodelan adalah membuat suatu alat bantu pengambil keputusan dalam meningkatkan efisiensi sistem distribusi BUMN-PSO. Alat bantu tersebut sering disebut sebagai Model Lokasi. Sejalan dengan tujuan dari pemodelan yaitu untuk meningkatkan efisiensi, maka kriteria yang digunakan di dalam pemodelan adalah keuntungan. Keuntungan merupakan representasi dan indikator dari efisiensi.

Analisa sistem dilakukan dengan mempertimbangkan sistem yang berlaku saat ini, konsep integrasi yang menjadi dasar untuk meningkatkan efisiensi serta beberapa pertimbangan normatif. Melalui pertimbangan tersebut diusulkan suatu bentuk jaringan distribusi beserta variabel-variabel yang layak dipertimbangkan dalam model matematis usulan, yaitu variabel biaya transportasi, biaya produksi, biaya tetap fasilitas serta harga jual.

Terkait dengan konsep integrasi, dua model sistem optimasi diusulkan yaitu *product-based model* dan *resource-based model*. Sistem optimasi pada kedua model dilakukan secara sentral oleh perusahaan induk, namun pada *product-based model* optimasi dari tiap jenis komoditas bersifat independen satu sama lain sedangkan pada *resource-based model* optimasi dari semua jenis komoditas dilakukan secara bersamaan.

BAB 6

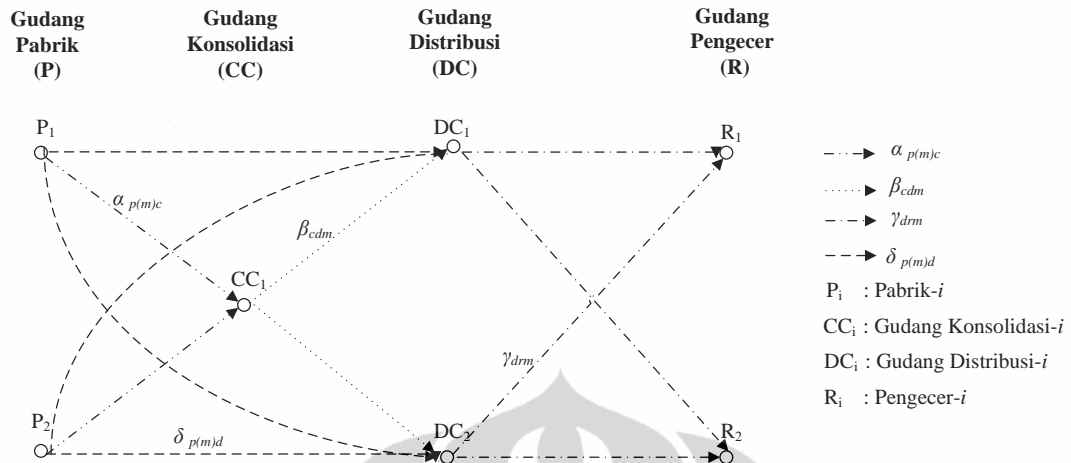
PRODUCT-BASED MODEL

6.1 Pendahuluan

Sebagai kelanjutan dari uraian tentang tahap pengembangan model optimasi, bab ini berisikan penjelasan tentang tahapan sintesa model hingga penyelesaian dari model optimasi *product-based model*. Pada sub bab 6.2 dijelaskan tentang formulasi matematis dari *product-based model* dan properti dari model tersebut dijelaskan pada sub bab 6.3. Di dalam penelitian disertasi ini, formulasi *product-based model* didekati oleh formulasi representasi jaringan. Sub bab 6.4 menjelaskan karakteristik dari representasi jaringan usulan. Selanjutnya, sub bab 6.5 menguraikan metode-metode heuristik yang dikembangkan untuk menyelesaikan model usulan, yaitu metode linierisasi dan pemrograman dua tingkat. Selain mengembangkan Model Lokasi, pada penelitian ini juga dikembangkan Model Alokasi serta pengembangan atas bentuk eselonisasi jaringan. Hal ini dijelaskan pada sub bab 6.6. Mengingat solusi masalah jaringan bersifat kombinatorik, maka solusi model memerlukan alat bantu komputasi, sehingga pada penelitian ini juga dikembangkan program aplikasi untuk menyelesaikan model usulan. Sub bab 6.7 menjelaskan tentang *stepwise* dari algoritma program serta pengembangan program aplikasinya. Sub bab 6.8 menjelaskan secara rinci dua contoh kasus yang diselesaikan oleh program aplikasi tersebut. Pada sub bab 6.9 solusi contoh-contoh kasus yang diselesaikan dengan program aplikasi dianalisa untuk kemudian dilakukan penilaian terhadap kinerja metode-metode usulan. Pada sub bab 6.10 dilakukan komparasi antara metode usulan dengan metode yang digunakan oleh BUMN-PSO saat ini. Pada sub bab 6.11 dijelaskan tentang penggunaan model usulan untuk kasus non BUMN-PSO.

6.2 Formulasi Product-based Model

Untuk keperluan formulasi model, bentuk jaringan distribusi usulan sebagaimana digambarkan pada gambar 5.3 disederhanakan dalam hal ukuran jaringan ke dalam bentuk jaringan sebagaimana digambarkan pada gambar 6.1.



Gambar 6.1 Contoh bentuk jaringan distribusi usulan yang disederhanakan

Bentuk model matematis Model Lokasi adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \min Z(X_c, Y_d, \alpha_{p(m)c}, \beta_{cdm}, \gamma_{drm}, \delta_{p(m)d}) = & \\
 \sum_{p \in P} \sum_{c \in C} u_{pc} \cdot \Phi_{pc} \left[\sum_{m \in M | p(m)=p} \alpha_{p(m)c} \right] + \sum_{c \in C} \sum_{d \in D} v_{cd} \cdot \Psi_{cd} \left[\sum_{m \in M} \beta_{cdm} \right] + \sum_{p \in P} \sum_{d \in D} z_{pd} \cdot \xi_{pd} \left[\sum_{m \in M | p(m)=p} \delta_{p(m)d} \right] + & \\
 \sum_{d \in D} \sum_{r \in R} w_{dr} \cdot \sum_{m \in M} (\gamma_{drm} \cdot \omega_{drm}) + \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} \left(\sum_{c \in C} \alpha_{p(m)c} + \sum_{d \in D} \delta_{p(m)d} \right) \cdot \eta_{p(m)} \left[\sum_{c \in C} \alpha_{p(m)c} + \sum_{d \in D} \delta_{p(m)d} \right] + & \\
 \sum_{c \in C} X_c \cdot FC_c + \sum_{d \in D} Y_d \cdot FD_d - \sum_{d \in D} \sum_{r \in R} \sum_{m \in M} \gamma_{drm} \cdot \rho_{rm} & \quad (6.1)
 \end{aligned}$$

subject to :

$$\sum_{p \in P} \alpha_{p(m)c} = \sum_{d \in D} \beta_{cdm}, \quad \forall c \in C, \forall m \in M \quad (6.2)$$

$$\sum_{c \in C} \beta_{cdm} + \sum_{p \in P} \delta_{p(m)d} = \sum_{r \in R} \gamma_{drm}, \quad \forall d \in D, \forall m \in M \quad (6.3)$$

$$\sum_{d \in D} \gamma_{drm} = \lambda_{rm}, \quad \forall r \in R, \forall m \in M^s \quad (6.4)$$

$$\sum_{d \in D} \gamma_{drm} \leq \lambda_{rm}, \quad \forall r \in R, \forall m \in M^c \quad (6.5)$$

$$\gamma_{drm} \leq Y_d \cdot \lambda_{rm}, \quad \forall d \in D, \forall r \in R, \forall m \in M \quad (6.6)$$

$$\sum_{p \in P} \alpha_{p(m)c} \leq X_c \cdot \sum_{r \in R} \lambda_{rm}, \quad \forall c \in C, \forall m \in M \quad (6.7)$$

$$\sum_{c \in C} \alpha_{p(m)c} + \sum_{d \in D} \delta_{p(m)d} \leq Cp_{p(m)}, \quad \forall p \in P, \forall m \in M \quad (6.8)$$

$$\sum_{c \in C} \sum_{m \in M} \beta_{cdm} + \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} \delta_{p(m)d} \leq Cd_d, \quad \forall d \in D \quad (6.9)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{m \in M} \alpha_{p(m)c} \leq Cc_c, \quad \forall c \in C \quad (6.10)$$

$$\alpha_{p(m)c} \geq 0, \quad \forall p \in P, \forall c \in C, \forall m \in M \quad (6.11)$$

$$\beta_{cdm} \geq 0, \quad \forall c \in C, \forall d \in D, \forall m \in M \quad (6.12)$$

$$\gamma_{drm} \geq 0, \quad \forall d \in D, \forall r \in R, \forall m \in M \quad (6.13)$$

$$\delta_{p(m)d} \geq 0, \quad \forall p \in P, \forall d \in D, \forall m \in M \quad (6.14)$$

$$X_c = [0,1], \quad \forall c \in C \quad (6.15)$$

$$Y_d = [0,1], \quad \forall d \in D \quad (6.16)$$

Initial :

- p* : menunjukkan nomor pabrik
c : menunjukkan nomor gudang konsolidasi
d : menunjukkan nomor gudang distribusi
r : menunjukkan pengecer
m : menunjukkan jenis komoditas
p(m) : menunjukkan pabrik $p \in P$ yang memproduksi komoditas-*m*

Kumpulan :

- P* : Kumpulan pabrik
C : Kumpulan gudang konsolidasi
D : Kumpulan gudang distribusi
R : Kumpulan pengecer
M : Kumpulan komoditas
 $M^s \in M$: Kumpulan komoditas subsidi
 $M^c \in M$: Kumpulan komoditas komersial

Variabel Keputusan :

- $X_c = 1$ jika gudang konsolidasi-*c* dibuka ; 0 jika tidak
 $Y_d = 1$ jika gudang distribusi-*d* dibuka ; 0 jika tidak
 $\alpha_{p(m)c}$: kuantitas komoditas-*m* yang berpindah dari pabrik *p(m)* ke gudang konsolidasi-*c*

- β_{cdm} : kuantitas komoditas- m yang berpindah dari gudang konsolidasi- c ke gudang distribusi- d
- γ_{drm} : kuantitas komoditas- m yang berpindah dari gudang distribusi- d ke pengecer- r
- $\delta_{p(m)d}$: kuantitas komoditas- m yang berpindah dari pabrik $p(m)$ ke gudang distribusi- d

Parameter Input :

- ρ_{rm} : harga jual komoditas- m pada pengecer- r
- u_{pc} : jarak dari pabrik- p ke gudang konsolidasi- c
- v_{cd} : jarak dari gudang konsolidasi- c ke gudang distribusi- d
- w_{dr} : jarak dari gudang distribusi- d ke pengecer- r
- z_{pd} : jarak dari pabrik- p ke gudang distribusi- d
- FC_c : biaya tetap fasilitas dari gudang konsolidasi- c
- FD_d : biaya tetap fasilitas dari gudang distribusi- d
- ω_{drm} : biaya per satuan jarak untuk memindahkan satu unit komoditas- m dari gudang distribusi- d ke pengecer- r
- λ_{rm} : permintaan terhadap komoditas- m pada pengecer- r
- $Cp_{p(m)}$: kapasitas pabrik- p untuk memproduksi komoditas- m
- Cd_d : kapasitas gudang distribusi- d
- Cc_c : kapasitas gudang konsolidasi- c

Fungsi Input :

- $\Phi_{pc}[\cdot], \forall p \in P, \forall c \in C$: biaya per satuan jarak untuk memindahkan komoditas- m dari pabrik- p ke gudang konsolidasi- c (merupakan fungsi *concave* dari volume total)
- $\Psi_{cd}[\cdot], \forall c \in C, \forall d \in D$: biaya per satuan jarak untuk memindahkan komoditas- m dari gudang konsolidasi- c ke gudang distribusi- d (merupakan fungsi *concave* dari volume total)
- $\xi_{pd}[\cdot], \forall p \in P, \forall d \in D$: biaya per satuan jarak untuk memindahkan komoditas- m dari pabrik- p ke gudang distribusi- d

(merupakan fungsi *concave* dari volume total)
 $\eta_{p(m)}[c], \forall p \in P$: biaya per satuan volume untuk memproduksi komoditas- m pada pabrik- p

6.3 Properti Product-based Model

Properti dari Model Lokasi usulan untuk *product-based model* (PBM), dijelaskan sebagai berikut :

- Titik-titik gudang konsolidasi maupun distribusi pada jaringan distribusi usulan merupakan titik-titik yang memiliki potensi untuk dibukanya gudang di lokasi tersebut atau merupakan lokasi gudang eksisting.
- Fungsi tujuan dari model (persamaan 6.1) adalah memaksimalkan keuntungan, yaitu memaksimalkan (pendapatan – biaya), atau secara matematis dapat dinyatakan dalam bentuk meminimalkan (-keuntungan) atau meminimalkan (biaya – pendapatan).
- Fungsi tujuan mewakili Model Lokasi yang melibatkan sejumlah komoditas- m (multi komoditas), sejumlah titik sumber dan titik konsumen (*multi sources multi consumers*)
- Empat suku pertama dari fungsi tujuan adalah merupakan representasi dari biaya transportasi, berturut-turut antara pabrik dan gudang konsolidasi, gudang konsolidasi dan gudang distribusi, pabrik dan gudang distribusi serta antara gudang distribusi dan pengecer. Akibat penerapan *economy of scale* pada biaya transportasi primer (*primary/trunking/line-haul transportation*) sebagaimana dijelaskan pada sub bab 3.4.1, maka biaya per satuan volume komoditas akan berkurang dengan bertambahnya volume komoditas yang dipindahkan. Konsekuensinya adalah biaya total transportasi per satuan jarak akan berbentuk fungsi *concave* (Zangwill, 1968). Fungsi ini digambarkan pada bentuk fungsi biaya transportasi *concave* antara pabrik dan gudang konsolidasi ($\Phi_{pc}[\cdot], \forall p \in P, \forall c \in C$), antara gudang konsolidasi dan gudang distribusi ($\Psi_{cd}[\cdot], \forall c \in C, \forall d \in D$) serta antara pabrik dan gudang distribusi ($\xi_{pd}[\cdot], \forall p \in P, \forall d \in D$). Diantara gudang distribusi dan pengecer diasumsikan tidak terjadi penerapan *economy of scale* karena sifat transportasinya adalah sekunder (*secondary / final delivery transportation*),

dimana digunakan kendaraan-kendaraan kecil dengan kapasitas penuh (contoh: truk). Oleh karenanya, biaya transportasi antara gudang distribusi dan pengecer (suku ke-empat) berbentuk fungsi linear.

- Suku ke-lima dari fungsi tujuan menggambarkan biaya produksi, yang juga merupakan fungsi *concave* akibat adanya *economy of scale*. Biaya produksi per satuan volume merupakan fungsi $\eta_{p(m)}[\cdot], \forall p \in P$.
- Suku ke-enam dan tujuh menggambarkan biaya tetap fasilitas apabila fasilitas tersebut dibuka atau ditutup. Variabel keputusan X_c dan Y_d merupakan bilangan biner $[0,1]$ yang menunjukkan keputusan dibuka atau ditutupnya berturut-turut gudang konsolidasi dan gudang distribusi (lihat persamaan (6.15) dan (6.16)). Apabila pada kondisi optimal nilai X_c adalah nol, maka hal ini mengartikan bahwa gudang konsolidasi- c tidak perlu dibuka dan berlaku sebaliknya bila bernilai satu. Hal ini berlaku pula untuk nilai optimal bagi Y_d .
- Suku ke-delapan menggambarkan komponen pendapatan, yaitu volume komoditas dikalikan dengan harga jual satuan komoditas. Mengingat pendapatan secara matematis bersifat negasi dengan biaya, maka suku ke-delapan bernilai negatif.
- Persamaan (6.2) dan (6.3) merupakan kendala konservasi arus atau keseimbangan massa di titik gudang konsolidasi dan distribusi. Maknanya adalah bahwa jumlah arus yang masuk ke titik tersebut akan sama dengan jumlah arus yang keluar dari titik tersebut karena kebutuhan arus di titik (*node flow requirement*) di titik antara tersebut adalah nol.
- Persamaan (6.4) dan (6.5) merupakan kendala konservasi arus di titik pengecer. Sebagai titik permintaan, kebutuhan arus di titik tersebut adalah sebesar permintaan di titik tersebut. Dalam Model Lokasi BUMN-PSO kendala konservasi arus di titik permintaan dibedakan atas jenis pengguna nya, yaitu komoditas subsidi dan komersial. Persamaan (6.4) menunjukkan bahwa permintaan atas komoditas subsidi (λ_{rm}) harus dilayani secara penuh, sementara dari persamaan (6.5) ditunjukkan bahwa komoditas komersial tidak harus selalu secara penuh dilayani. Kedua persamaan ini menjadi pembeda antara model matematis perusahaan komersial umumnya, dengan perusahaan BUMN-PSO.

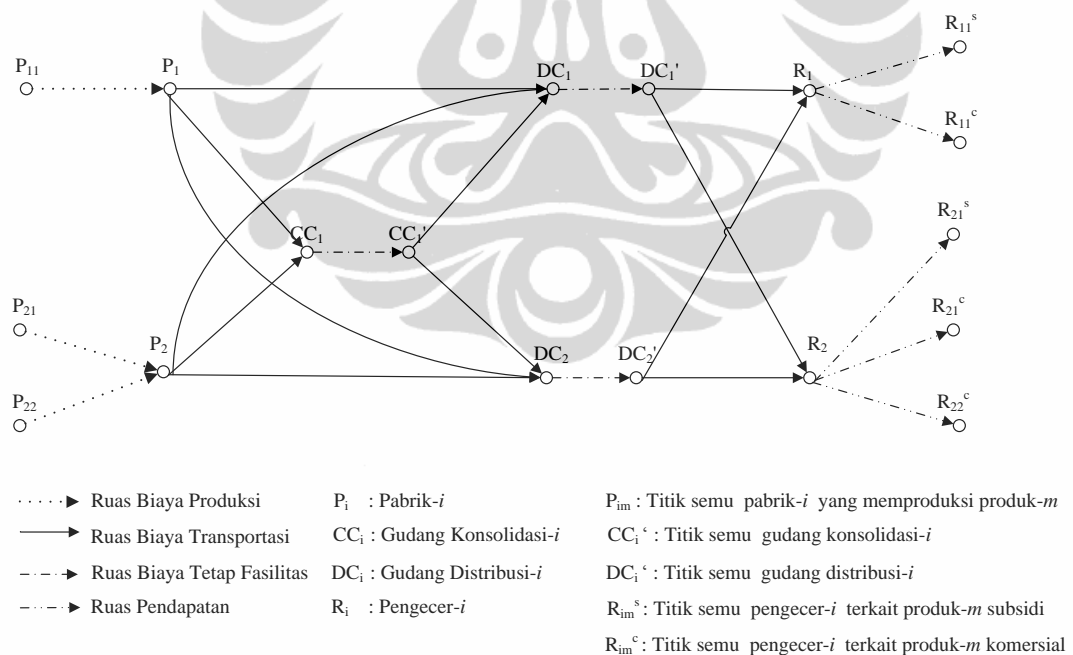
- Persamaan (6.6) dan (6.7) berfungsi untuk menjamin bahwa tidak akan ada arus yang masuk ke gudang konsolidasi atau gudang distribusi apabila gudang tersebut ditutup.
- Persamaan (6.8) merupakan kendala konservasi arus di titik sumber, yaitu pabrik (gudang pabrik). Sebagai titik suplai, kebutuhan arus di titik tersebut dibatasi oleh kapasitas produksi dari pabrik yang bersangkutan terhadap tiap jenis komoditas.
- Kondisi pertidaksamaan yang dinyatakan pada persamaan (6.8) dan (6.5) menunjukkan bahwa kondisi sistem dimungkinkan dalam keadaan tidak seimbang. Kondisi ini dinyatakan sebagai :
 - Kondisi kapasitas berlebih (*excess capacity*) , bila total kapasitas semua pabrik terhadap suatu jenis komoditas lebih besar dari total permintaan atas komoditas tersebut.
 - Kondisi permintaan berlebih (*excess demand*) , bila total permintaan terhadap suatu jenis komoditas lebih besar dari total kapasitas semua pabrik atas komoditas tersebut.
 - Kondisi seimbang bila total permintaan sama dengan total suplai
- Model Lokasi usulan mempertimbangkan adanya batasan bagi jumlah arus/komoditas yang masuk ke setiap gudang , yaitu dibatasi oleh kapasitas gudang tersebut (*capacitated model*). Hal ini ditunjukkan melalui persamaan (6.9) dan (6.10), yaitu berturut-turut untuk gudang distribusi dan gudang konsolidasi. Sementara, untuk arus yang melewati ruas besarnya tidak dibatasi (*uncapacitated links*).
- Persamaan (6.11)~(6.14) merupakan kendala arus non-negatif, yaitu menandai bahwa besarnya arus tidak boleh negatif.
- Mengingat komponen fungsi tujuan berbentuk fungsi *concave* dan linear, maka penjumlahan dari kedua fungsi akan berbentuk fungsi *concave*. Sementara itu, kendala dari fungsi tujuan seluruhnya bersifat linear sehingga wilayah *feasible*-nya berbentuk *convex polyhedron*. Selain itu, model usulan berkaitan dengan multi komoditas, sehingga Model Lokasi usulan berbentuk *Minimum Concave-cost Multicommodity Flow problem* (MCMF).

6.4 Formulasi Representasi Jaringan bagi Product-based Model

6.4.1 Properti Representasi Jaringan dari Product-based Model

Pada penelitian ini, solusi dari pemrograman matematis diselesaikan melalui pendekatan formulasi Representasi Jaringan (Soehodho, S. dan Nahry, 2010c). Sebagaimana dijelaskan pada sub bab 3.3, Representasi Jaringan (RJ) merupakan metode untuk memformulasikan bentuk matematis ke dalam bentuk arus jaringan dengan menggunakan diagram sebagaimana yang digunakan pada teori *graph* dan teori arus jaringan. Pada RJ, formula matematis ditransformasikan ke dalam bentuk masalah jaringan, yaitu dengan menambahkan ruas dan link semu (*dummy nodes and links*) ke dalam jaringan asal (*original network*).

Untuk contoh kasus sebagaimana diperlihatkan pada gambar 6.1, bentuk RJ yang dapat mewakili model matematis dari masalah optimasi (6.1)~(6.16) adalah sebagaimana digambarkan pada gambar 6.2.



Gambar 6. 2 Contoh Representasi Jaringan

Representasi Jaringan pada gambar 6.2 dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Pada contoh kasus ini dilibatkan dua jenis komoditas, yaitu komoditas 1 dan 2 serta dua jenis pengguna, yaitu subsidi (s) dan komersial (c)
- Setiap ruas dan titik pada RJ selalu mewakili aktivitas tertentu dan memiliki atribut berupa biaya satuan , yaitu biaya yang akan dikenakan kepada setiap arus yang melewati ruas/titik tertentu, arus yang melewati ruas, nilai batas atas dan batas bawah dari arus di ruas serta nilai batas atas dan batas bawah kebutuhan arus di titik (*node flow requirement*).
- Ruas antara titik $P_{pm} - P_p$ (p dan m berturut-turut menunjukkan nomor pabrik dan jenis (material) produk) merupakan representasi dari biaya di pabrik- p untuk memproduksi komoditas- m . Biaya produksi ini merupakan fungsi dari jumlah arus di ruas tersebut. Dengan diketahuinya biaya satuan serta jumlah arus yang melewati ruas ini maka dapat ditentukan biaya produksi yang terkait dengan pabrik- p dan komoditas- m . Total biaya di ruas-ruas antara $P_{pm} - P_p, \forall p, \forall m$ ini sesungguhnya merupakan representasi dari suku kelima dari persamaan (6.1).
- Ruas-ruas antara titik-titik $P_p - CC_c, P_p - DC_d, CC'_c - DC_d$, serta $DC'_d - R_r$ (c, d dan r berturut-turut menunjukkan nomor gudang konsolidasi, gudang distribusi dan pengecer) merupakan representasi dari biaya transportasi berturut-turut antara pabrik- p dan gudang konsolidasi- c , pabrik- p dan gudang distribusi- d , gudang konsolidasi- c dan gudang distribusi- d , serta gudang distribusi- d dan pengecer- r . Total biaya di ruas-ruas antara $P_p - CC_c, P_p - DC_d, CC'_c - DC_d, DC'_d - R_r, \forall p, \forall c, \forall d, \forall r, \forall m$ ini sesungguhnya merupakan representasi dari empat suku pertama dari persamaan (6.1)
- Ruas-ruas antara $CC_c - CC'_c$ dan $DC_d - DC'_d$ merupakan representasi dari biaya tetap fasilitas, berturut-turut untuk gudang konsolidasi dan gudang distribusi. Dengan mengabaikan X_c dan Y_d sebagai variabel keputusan dari optimasi matematis persamaan (6.1), maka total biaya di ruas-ruas antara $CC_c - CC'_c$ dan $DC_d - DC'_d, \forall c, \forall d$ merupakan representasi dari suku keenam dan ke-tujuh dari persamaan (6.1). Variabel keputusan X_c dan Y_d akan

direpresentasikan dalam bentuk algoritma pemilihan lokasi yang akan dijelaskan pada sub bab 6.5.1.1.

- Ruas-ruas antara $R_r - R_{rm}^s$ dan $R_r - R_{rm}^c$ merupakan representasi dari pendapatan (*revenue*) dari penjualan komoditas- m subsidi maupun komersial di pengecer- r . Total pendapatan dari ruas-ruas antara $R_r - R_{rm}^s$ dan $R_r - R_{rm}^c, \forall r, \forall m$ masing-masing digambarkan sebagai hasil kali antara harga jual satuan dari produk- m subsidi maupun komersial (sebagai biaya satuan ruas) dengan jumlah arus di ruas tersebut. Total pendapatan dari ruas-ruas tersebut sesungguhnya merupakan representasi dari suku ke-delapan dari persamaan (6.1).

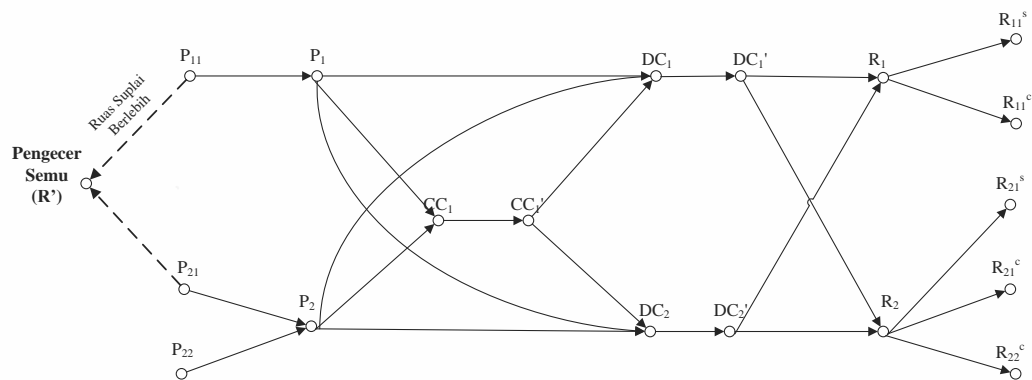
Apabila model menghendaki konsiderasi tambahan terhadap komponen biaya yang timbul di titik (*node*), seperti biaya *handling* di gudang, maka komponen biaya ini dapat direpresentasikan dalam bentuk biaya yang ditambahkan pada biaya di ruas yang masuk (*link-in*) ke titik tersebut.

6.4.2 Formulasi Ketidakseimbangan Suplai dan Permintaan

Pada sistem distribusi, termasuk sistem distribusi BUMN-PSO, sering ditemukan kondisi dimana kemampuan suplai dari semua pabrik melebihi total permintaan. Kondisi ini disebut sebagai kondisi kapasitas berlebih (*excess capacity*). Pada kondisi ini, perlu ditentukan pabrik mana yang harus beroperasi secara penuh dan pabrik mana yang harus beroperasi di bawah kapasitasnya. Sebaliknya, dimungkinkan pula terjadi total permintaan yang lebih besar dari total kemampuan suplai, yaitu disebut sebagai kondisi permintaan berlebih (*excess demand*). Pada kondisi ini, perlu ditentukan titik-titik permintaan mana yang dapat disuplai secara penuh dan titik-titik suplai mana yang tidak dapat dipenuhi secara penuh. Dalam pemodelan usulan, solusi untuk memilih titik-titik produksi (pada kasus kapasitas berlebih) dan titik-titik permintaan (pada kasus permintaan berlebih) dilakukan secara terintegrasi di dalam model (*endogenous*).

6.4.2.1 Kondisi Suplai Berlebih

Bentuk RJ untuk kondisi suplai berlebih digambarkan pada gambar 6.3.



Gambar 6.3 Representasi Jaringan untuk kondisi suplai berlebih (excess supply)

Gambar 6.3 merupakan contoh RJ untuk suatu kasus kapasitas pabrik berlebih (*excess supply*). Pada contoh ini, diasumsikan bahwa komoditas 1 mengalami kondisi suplai berlebih, sementara komoditas 2 dalam keadaan seimbang. Untuk membentuk RJ pada kondisi ini, kepada jaringan asal ditambahkan titik semu yaitu titik Pengecer Semu (R'). Dari semua titik P_{pm} , $m = 1, \forall p$ ditambahkan ruas menuju R' . Ruas-ruas tersebut disebut ruas suplai berlebih (*excess supply link*). Fungsi dari ruas ini adalah untuk menampung kelebihan kapasitas dari semua pabrik, sehingga seolah-olah pabrik-pabrik tersebut mensuplai suatu titik permintaan, namun titik tersebut sesungguhnya semu (titik R'). Kebutuhan arus di titik R' adalah sebesar selisih total permintaan dengan total suplai terhadap komoditas yang bersangkutan. Nilai ini pasti bertanda negatif karena titik R' berfungsi sebagai titik permintaan.

Biaya ruas satuan dari ruas suplai berlebih dapat diasumsikan nol bila tidak ada prioritas apapun pada suatu pabrik tertentu untuk memproduksi lebih atau kurang dibandingkan yang lain. Sementara, bila ada suatu kebijakan untuk memprioritaskan suatu pabrik untuk memproduksi lebih sedikit dibandingkan yang lain, maka biaya satuan ruas dari pabrik yang bersangkutan diatur sebagai suatu bilangan sembarang yang ekstrim kecil dibandingkan biaya satuan ruas dari pabrik yang lain. Dalam optimasi, hal ini akan berakibat pada kemungkinan yang lebih besar bagi terpilihnya ruas tersebut untuk dikurangi produksinya. Sebaliknya, bila suatu pabrik diminta untuk memproduksi lebih banyak dibandingkan yang lain, maka biaya satuan ruas yang terkait dengan pabrik

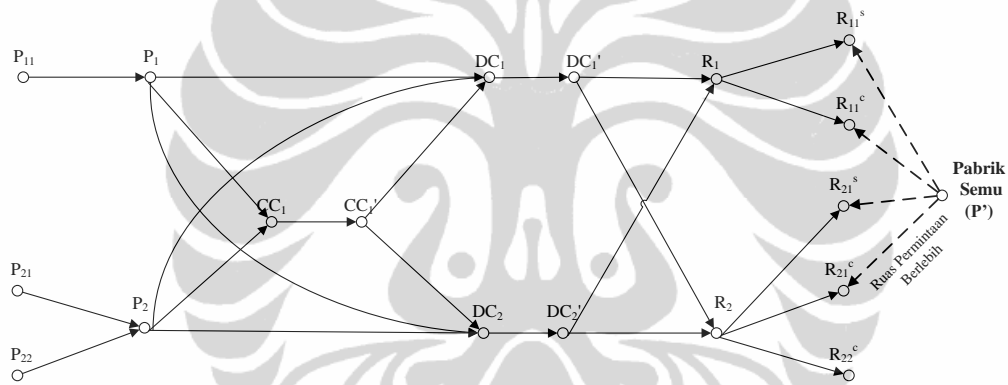
tersebut diatur sebagai bilangan yang ekstrim besar dibandingkan yang lain, sehingga kemungkinan untuk terpilihnya ruas tersebut untuk dikurangi produksinya semakin kecil.

6.4.2.2 Kondisi Permintaan Berlebih

Kondisi permintaan berlebih dapat diselesaikan dengan dua cara, yaitu :

a. Pengurangan permintaan

Gambar 6.4a merupakan contoh RJ untuk masalah permintaan berlebih dengan cara pengurangan permintaan. Pada contoh ini, diasumsikan bahwa komoditas 1 mengalami kondisi permintaan berlebih, sementara komoditas 2 dalam keadaan seimbang.



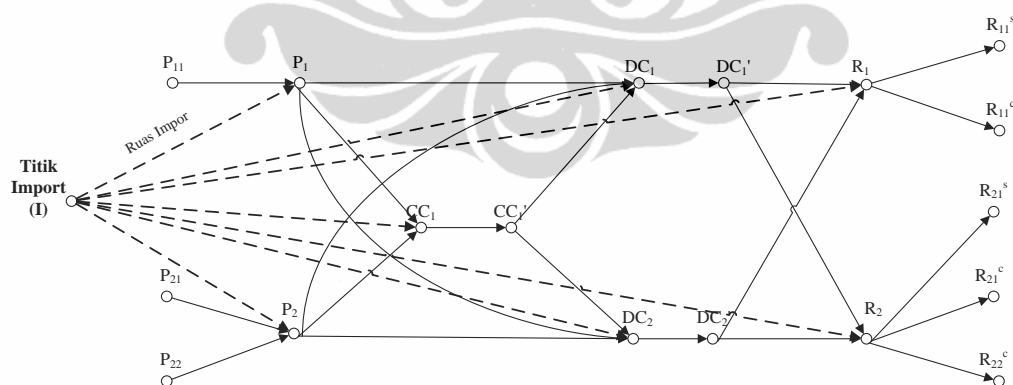
Gambar 6. 4a Representasi Jaringan untuk kondisi permintaan berlebih (*excess demand*) dengan pengurangan permintaan

Untuk membentuk RJ pada kondisi ini, kepada jaringan asal ditambahkan titik semu yaitu titik Pabrik Semu (P'). Dari titik P' ditambahkan ruas menuju R_{rm}^s maupun R_{rm}^c , $m = 1, \forall r$. Ruas-ruas tersebut disebut ruas permintaan berlebih (*excess demand link*). Fungsi dari ruas ini adalah untuk mengurangi suplai terhadap titik-titik permintaan tertentu, sehingga seolah-olah titik-titik tersebut disuplai oleh suatu titik suplai (pabrik), namun titik tersebut sesungguhnya semu (titik P'). Kebutuhan arus di titik P' adalah sebesar selisih total permintaan dengan total suplai terhadap komoditas yang bersangkutan. Nilai ini pasti bertanda positif karena titik P' berfungsi sebagai titik sumber.

Penentuan biaya satuan ruas dari ruas permintaan berlebih terkait dengan karakteristik dari BUMN-PSO, yaitu adanya kewajiban perusahaan untuk memprioritaskan pemenuhan terhadap komoditas subsidi dibandingkan dengan komoditas komersial. Dengan adanya kewajiban tersebut, maka biaya satuan ruas dari ruas permintaan berlebih yang berakhir di titik pengecer yang terkait dengan komoditas subsidi diatur sebagai suatu bilangan sembarang yang ekstrim besar dibandingkan biaya satuan ruas menuju titik pengecer yang terkait dengan komoditas komersial. Dalam optimasi, hal ini akan berakibat pada kemungkinan yang lebih kecil bagi terpilihnya ruas subsidi tersebut untuk dikurangi supplainya. Sebaliknya, titik-titik pengecer yang terkait dengan komoditas komersial akan mempunyai kemungkinan lebih besar untuk dikurangi supplainya.

b. Kebijakan impor

Apabila kebijakan impor diizinkan untuk mengatasi kelebihan permintaan, maka RJ dari kondisi ini diperlihatkan pada gambar 6.4b. Dalam hal ini, kepada jaringan asal ditambahkan titik I sebagai Titik Impor dan dari titik I ini ditambahkan ruas-ruas impor menuju ke titik-titik yang diizinkan untuk menerima komoditas impor, yaitu titik-titik gudang atau langsung menuju titik pengecer itu sendiri bila diizinkan.



Gambar 6.4b Representasi Jaringan untuk kondisi permintaan berlebih (*excess demand*) dengan kebijakan impor

Dalam contoh gambar 6.4b, komoditas impor diizinkan diterima oleh gudang konsolidasi, gudang distribusi maupun pengecer sehingga terdapat ruas

impor menuju titik-titik tersebut sebagai ruas yang memiliki potensi untuk menyalurkan komoditas hingga ke titik pengecer.

Biaya satuan ruas dari ruas impor merupakan biaya yang harus dibayarkan untuk membeli satu satuan komoditas impor apabila komoditas tersebut diterima di titik akhir dari ruas tersebut. Kebutuhan arus di titik I adalah sebesar selisih total permintaan dengan total suplai terhadap komoditas yang bersangkutan. Nilai ini pasti bertanda positif karena titik I berfungsi sebagai titik sumber.

6.4.3 Masalah Minimum Concave Cost Multicommodity Flow dari Representasi Jaringan

Berdasarkan penjelasan tentang RJ dari Model Lokasi usulan, maka permasalahan asal (*original problem*) sebagaimana dinyatakan dalam persamaan (6.1) ~ (6.16) dapat dinyatakan dalam masalah RJ dengan persamaan berikut ini :

$$\min Z (x_{ij}) = \sum_{(i,j) \in A} \varphi_{ij} (x_{ij}) \quad (6.17)$$

subject to:

$$\sum_{(j:(i,j) \in A)} x_{ij} - \sum_{(j:(j,i) \in A)} x_{ji} = b(i) \quad \forall i \in N \quad (6.18)$$

$$\sum_{(j:(j,i) \in A)} x_{ij} \leq Cc_i \quad \forall i \in C \quad (6.19)$$

$$\sum_{(j:(j,i) \in A)} x_{ij} \leq Cd_i \quad \forall i \in D \quad (6.20)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad \forall (i, j) \in A \quad (6.21)$$

dimana :

$$\sum_{i=1}^n b(i) = 0 \quad (6.22)$$

N : Kumpulan titik pada Representasi Jaringan

A : Kumpulan ruas pada Representasi Jaringan

C : Kumpulan gudang konsolidasi

D : Kumpulan gudang distribusi

n : jumlah titik dalam Representasi Jaringan

Variabel Keputusan :

x_{ij} : arus agregat pada ruas (i,j) , yaitu total arus dari semua komoditas

Parameter Input :

$b(i)$: kebutuhan arus di titik- i

Fungsi Input :

$\varphi_{ij}(\cdot)$, $\forall (i,j) \in A$: fungsi biaya ruas (i,j)

Persamaan (6.17) merupakan fungsi tujuan dari masalah RJ. Bentuk ini sesungguhnya merupakan penyederhanaan dari persamaan (6.1). Penyederhanaan ini dimungkinkan karena semua fungsi biaya ruas RJ dapat dinyatakan dalam jumlah arus di ruas tersebut ($\varphi_{ij}(x_{ij})$, $\forall (i,j)$). Sementara pada persamaan (6.1) hal ini tidak dapat dilakukan karena fungsi biaya produksi masih dinyatakan dalam penjumlahan beberapa arus di ruas, serta komponen pendapatan juga masih dinyatakan dalam fungsi harga jual di titik (ρ_{rm}).

Di dalam persamaan matematis RJ, fungsi kendala (6.2)~(6.5) serta (6.8) telah ditransformasikan ke dalam bentuk persamaan konservasi arus (keseimbangan massa) yaitu persamaan (6.18) dan (6.22). Bentuk-bentuk pertidaksamaan pada persamaan (6.5) dan (6.8) ditransformasikan ke dalam bentuk sub representasi jaringan berlebih (*excess subnetwork representation*) sebagaimana dijelaskan pada sub bab 6.4.2. Sedangkan persamaan untuk membatasi kapasitas gudang (persamaan (6.9) dan (6.10)) ditransformasikan ke dalam persamaan (6.19) dan (6.20) serta persamaan kendala arus non negatif (6.11)~(6.14) ditransformasikan ke dalam persamaan (6.21).

Persamaan kendala yang terkait dengan bilangan binair X_c dan Y_d (persamaan (6.6), (6.7), (6.15) dan (6.16)) tidak digunakan lagi di dalam persamaan matematis RJ karena X_c dan Y_d tidak lagi menjadi variabel keputusan pada RJ.

Mengingat pada RJ seluruh biaya ruas adalah merupakan fungsi dari arus di ruas yang bersangkutan, sedangkan biaya tetap fasilitas tidak dipengaruhi oleh jumlah arus yang melewatinya (lihat *Fixed Charge Location Problem*, sub bab 3.2.2), maka biaya satuan pada ruas RJ yang merepresentasikan biaya tetap fasilitas diatur sama dengan nol. Biaya tetap fasilitas ini akan diakomodasikan

dalam algoritma penyelesaian masalah RJ. Hal ini akan dijelaskan pada bagian selanjutnya.

Mengingat persamaan (6.17) berbentuk fungsi *concave* serta persamaan kendala (6.18)~(6.21) merupakan fungsi linear dan membentuk wilayah *feasible* yang berbentuk *convex polyhedron*, maka masalah RJ berbentuk *Minimum Concave cost Multicommodity Flow problem* (MCMF).

6.5 Solusi masalah MCMF dari Representasi Jaringan Product-based Model

Berdasarkan penjelasan sebelumnya, masalah MCMF dari PBM kini sudah ditransformasikan ke dalam bentuk masalah MCMF dari Representasi Jaringan. Permasalahan berikutnya adalah bagaimana menyelesaikan masalah MCMF dari RJ.

Sebagaimana dijelaskan pada sub bab 3.4.2.1, penyelesaian masalah MCMF dari RJ pada dasarnya diselesaikan dengan teknik *branch and bound* (Gallo, Sandi dan Sodini, 1980). Namun algoritma yang dikembangkan oleh Gallo dkk berlaku untuk kondisi komoditas tunggal, sumber tunggal (*single source*) serta fasilitas yang tidak dibatasi kapasitasnya, sementara PBM terkait dengan multi komoditas, multi sumber serta fasilitas yang dibatasi kapasitasnya. Oleh karenanya solusi untuk masalah MCMF dari RJ diselesaikan dengan dua pendekatan utama, yaitu :

1. Dilakukan pendekatan linier terhadap fungsi *concave*.

Pendekatan linier (linierisasi) dilakukan dengan dua cara :

- a. Linierisasi tunggal
- b. Linierisasi bertahap

2. Fungsi biaya tetap menggunakan fungsi *concave*

Pada pendekatan ini, penyelesaian PBM dilakukan dengan menggunakan suatu pemrograman dua tingkat (*bi-level programming*) yang bersifat heuristik tapi tetap didasarkan pada algoritma *branch and bound* dari Gallo

Taksonomi penggunaan kedua pendekatan tersebut diperlihatkan pada tabel 6.1.

Walaupun pemrograman dari Model Lokasi usulan mengasumsikan adanya pembatasan pada kapasitas gudang (*capacitated*), namun pada penelitian ini dimungkinkan kondisi sebaliknya, yaitu kapasitas gudang yang tidak dibatasi

Tabel 6. 1 Metode pendekatan untuk penyelesaian MCMF

KARAKTERISTIK	Uncapacitated Warehouses	Capacitated Warehouses
Sumber tunggal	Metode Gallo	-
	Metode linierisasi tunggal	Metode linierisasi tunggal
	Metode linierisasi bertahap	Metode linierisasi bertahap
Multi sumber	Pemrograman Dua Tingkat (sebagai modifikasi dari Metode Gallo)	-
	Metode linierisasi tunggal	Metode linierisasi tunggal
	Metode linierisasi bertahap	Metode linierisasi bertahap

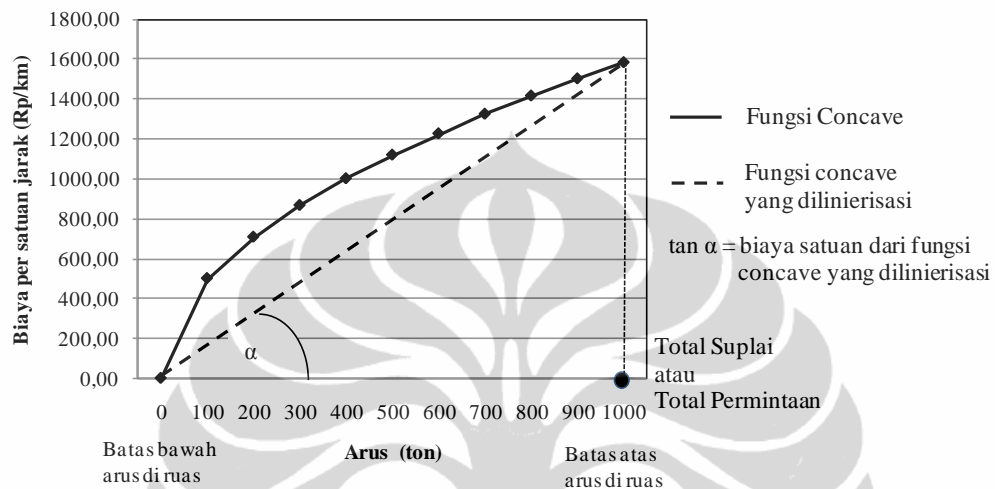
(*uncapacitated warehouses*) . Kondisi *uncapacitated* digunakan apabila titik-titik gudang pada jaringan distribusi fisik hanya merupakan titik-titik maya yang menunjukkan titik tersebut sebagai titik yang potensial untuk dibukanya gudang di tempat tersebut, sementara gudang itu sendiri belum ada dan belum dapat ditentukan ukuran atau kapasitasnya.

Kondisi *uncapacitated* dapat pula digunakan pada kondisi perbaikan sistem, dimana fisik gudang sudah ada namun akan dilakukan redefinisi terhadap kapasitasnya. Pada kasus *uncapacitated*, ukuran atau kapasitas gudang yang terpilih didefinisikan berdasarkan nilai variabel keputusan dari hasil optimasi, yaitu besarnya arus optimal yang melewati ruas-ruas yang mewakili Biaya Tetap Fasilitas.

6.5.1 Metode Linierisasi Tunggal (Single Linearization)

Pada linearisasi tunggal , fungsi *concave* dari biaya arus di ruas didekati dengan fungsi linear antara titik batas bawah arus di ruas (*lower bound flow*) dan titik batas atas (*upper bound flow*) dari fungsi *concave* (lihat gambar 6.5). Batas bawah dan batas atas arus menggambarkan berturut-turut jumlah minimum dan maksimum arus yang mungkin lewat di ruas terkait. Pada linierisasi tunggal, yang

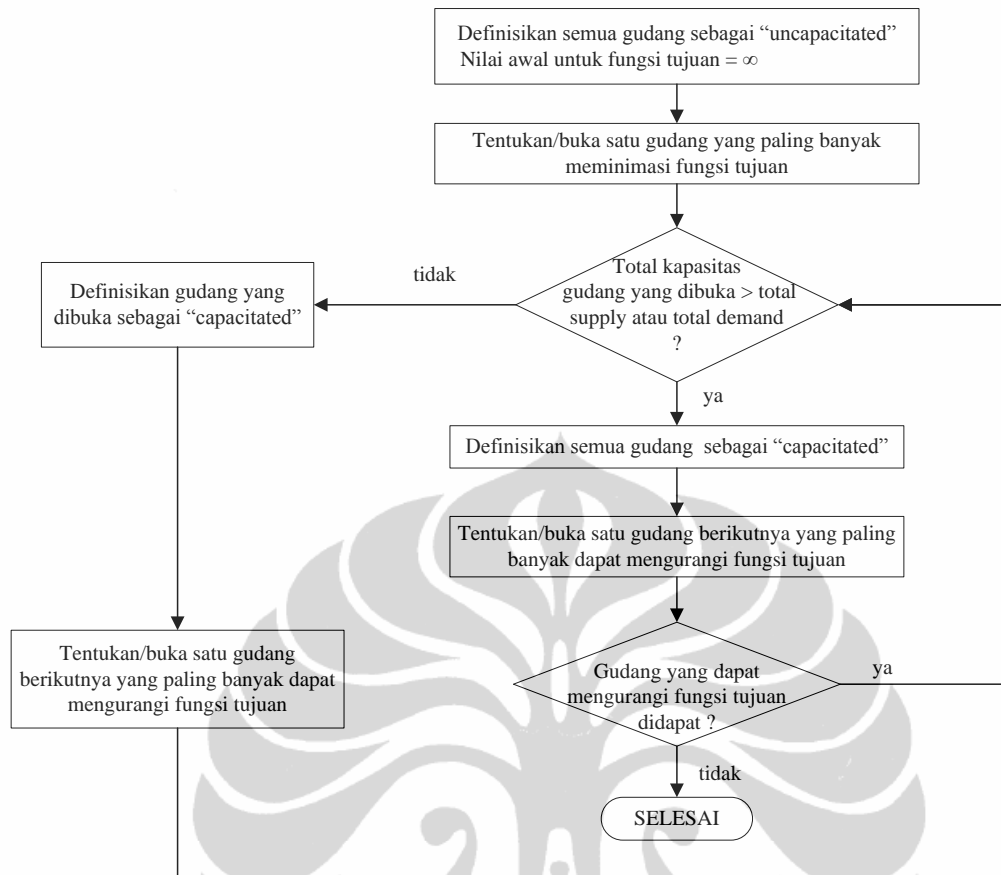
menjadi batas bawah dari arus di tiap ruas adalah nol dan yang menjadi batas atasnya adalah $\min \{total\ suplai, total\ permintaan\}$ untuk kasus kapasitas gudang tidak dibatasi, atau $\min \{total\ suplai, total\ permintaan, kapasitas\ ruas\}$ untuk kasus kapasitas gudang dibatasi .



Gambar 6.5 Contoh proses linierisasi tunggal

6.5.1.1 Kapasitas Gudang yang Dibatasi (Capacitated Warehouses)

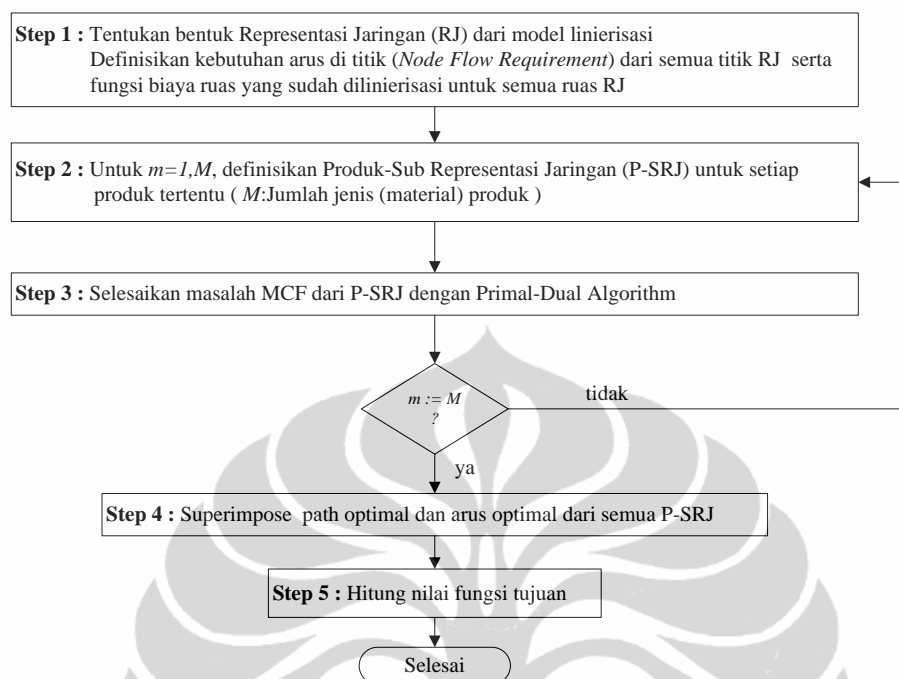
Setelah fungsi biaya di ruas yang berbentuk linier terbentuk, penyelesaian masalah MCMF dari persamaan (6.17) menjadi disederhanakan sebagai masalah MCF (Minimum Cost Flow). Penyelesaian masalah MCF tersebut digambarkan pada diagram alir pada gambar 6.6 dan 6.7. Penyelesaian ini dapat digunakan untuk kasus sumber tunggal maupun multi sumber. Gambar 6.6 menjelaskan diagram alir dari proses pemilihan lokasi gudang. Algoritma untuk pemilihan lokasi pada kasus-kasus ini merupakan modifikasi dari algoritma ADD yang dikembangkan untuk kasus *uncapacitated* (gambar 3.5) (Soehodho, S. dan Nahry , 2010d). Nilai fungsi tujuan, yang menjadi dasar dalam pemilihan lokasi, dihitung melalui tahapan pada diagram alir gambar 6.7 (Soehodho, S. dan Nahry , 2009d).



Gambar 6.6 Diagram alir dari proses pemilihan lokasi gudang (capacitated warehouses)

Prinsip dasar dari modifikasi algoritma ADD adalah :

1. Pada awal iterasi, semua gudang diasumsikan sebagai *uncapacitated*.
2. Setiap kali terpilih satu gudang yang memberikan nilai fungsi tujuan terkecil, kapasitas gudang tersebut dibuat menjadi terbatas (*capacitated*) sesuai kapasitasnya, dan dilakukan pengecekan apakah kapasitas gudang tersebut bersama dengan gudang-gudang lain yang sudah terpilih dapat menampung semua arus yang akan lewat (yaitu besaran total suplai, untuk kasus permintaan berlebih, atau total permintaan, untuk kasus suplai berlebih). Apabila total kapasitas gudang yang dibuka sudah melebihi total suplai atau total permintaan, seluruh kapasitas gudang dibuat menjadi terbatas.
3. Proses pemilihan gudang mengikuti tahapan algoritma ADD, yaitu dimulai dari satu gudang dibuka dan dilanjutkan dengan kombinasi dua gudang, tiga gudang dan seterusnya hingga tidak diperoleh lagi pengurangan nilai fungsi tujuan.



Gambar 6. 7 Diagram alir perhitungan nilai fungsi tujuan masalah MCF

Diagram alir pada gambar 6.7 dapat dijelaskan sebagai berikut :

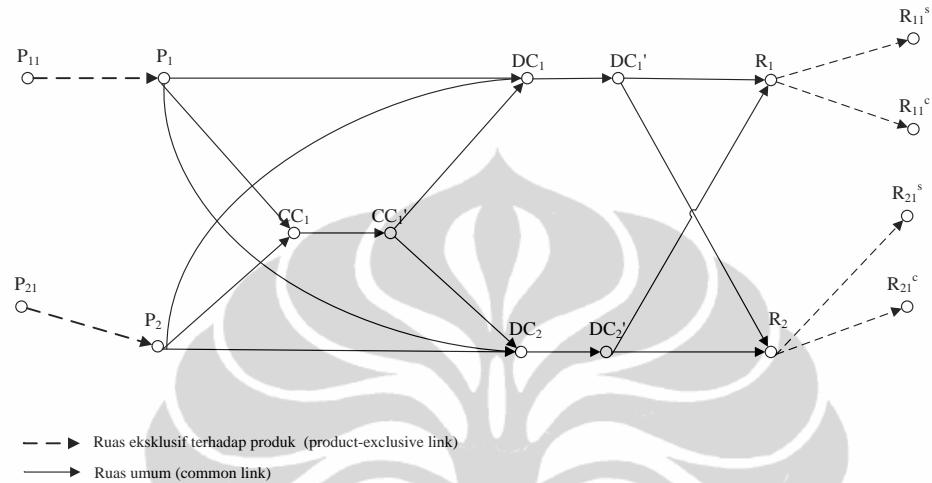
Step 1 :

Pada tahap ini dilakukan pembentukan RJ dari pemrograman matematis usulan yang dilinierisasi. Termasuk di dalamnya adalah penentuan besarnya kebutuhan arus di titik (*Node Flow Requirement*) dari semua titik RJ serta penentuan fungsi biaya ruas yang sudah dilinierisasi dari semua ruas RJ. Mengingat tahapan perhitungan nilai fungsi tujuan adalah bagian dari algoritma penentuan lokasi (gambar 6.6), maka bentuk RJ tergantung pada eksistensi gudang-gudang pada iterasi yang terkait dengan algoritma penentuan lokasi.

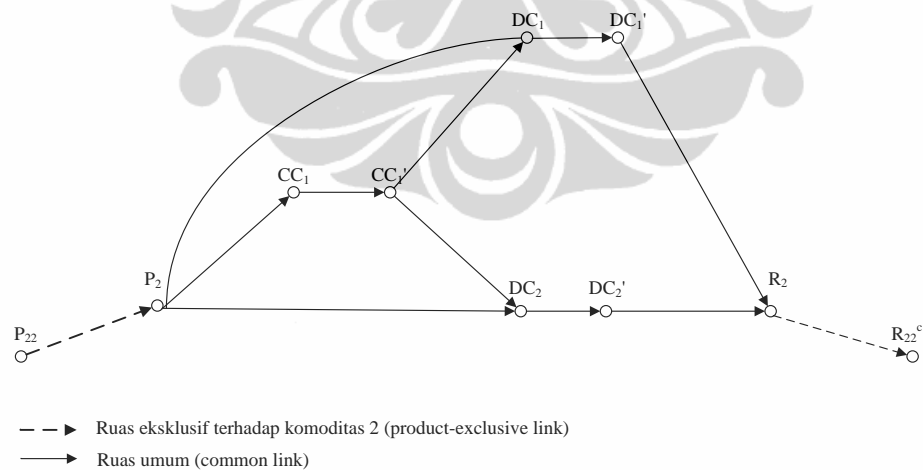
Step 2 :

Tahap ini mengakomodasikan masalah multi komoditas pada RJ. Pada tahap ini dilakukan pembentukan sub jaringan dari RJ yang diperuntukkan secara khusus untuk masing-masing komoditas. Sub jaringan tersebut disebut sebagai Produk-Sub Representasi Jaringan (P-SRJ). P-SRJ dari suatu komoditas sesungguhnya

adalah jaringan yang hanya mengandung ruas-ruas yang dapat dilalui oleh komoditas tersebut. Suatu contoh P-SRJ dari RJ yang mengelola dua jenis komoditas sebagaimana dicontohkan pada gambar 6.2 diperlihatkan pada gambar 6.8a dan 6.8b (berturut-turut P-SRJ untuk komoditas 1 dan 2).



Gambar 6.8a Contoh Produk-Sub Representasi Jaringan komoditas 1



Gambar 6.8b Contoh Produk-Sub Representasi Jaringan komoditas 2

P-SRJ mengandung dua jenis ruas, yaitu :

1. Ruas eksklusif terhadap komoditas tertentu (*product-exclusive link*)

Yaitu ruas-ruas yang hanya dapat dilewati oleh satu jenis komoditas tertentu.

Ruas jenis ini dibentuk untuk mengakomodasikan adanya biaya satuan ruas yang sifatnya khusus berlaku untuk komoditas tertentu. Di dalam model RJ usulan, ruas-ruas yang mewakili biaya produksi dan pendapatan merupakan ruas eksklusif karena besarnya biaya satuan produksi ataupun harga jual suatu jenis komoditas berbeda dengan komoditas lain.

2. Ruas umum (*common link*)

Yaitu ruas-ruas yang dapat dilewati oleh semua jenis komoditas karena biaya satuan ruas tersebut berlaku sama untuk semua komoditas. Pada model RJ usulan, ruas-ruas yang mewakili biaya transportasi dan biaya tetap fasilitas merupakan ruas umum karena biaya satuan untuk memindahkan satu jenis komoditas adalah sama dengan komoditas yang lain atau bahkan berbagai komoditas dimungkinkan untuk diangkut dalam kendaraan pengangkut yang sama. Selain itu, biaya investasi untuk membuka suatu fasilitas tidak tergantung pada jenis komoditas, sehingga ruas yang mewakili biaya tetap fasilitas juga merupakan ruas umum.

Pada gambar 6.8a terlihat bahwa P-SRJ komoditas 1 hanya mengandung ruas-ruas eksklusif yang terkait dengan komoditas 1 (yaitu ruas $P_{11}-P_1$, $P_{21}-P_2$, $R_1-R_{11}^s$, $R_1-R_{11}^c$, $R_2-R_{21}^s$, $R_2-R_{21}^c$) serta ruas-ruas umum. Sedangkan P-SRJ komoditas 2 hanya mengandung ruas-ruas eksklusif yang terkait dengan komoditas 2 (yaitu ruas $P_{22}-P_2$ dan $R_2-R_{22}^c$) serta ruas-ruas umum. Akibatnya, pada P-SRJ komoditas 2 tidak terdapat titik pabrik P_1 karena pabrik-1 tidak memproduksi komoditas 2, selain itu juga tidak terdapat titik pengecer R_1 karena pada pengecer-1 tidak ada permintaan terhadap komoditas 2.

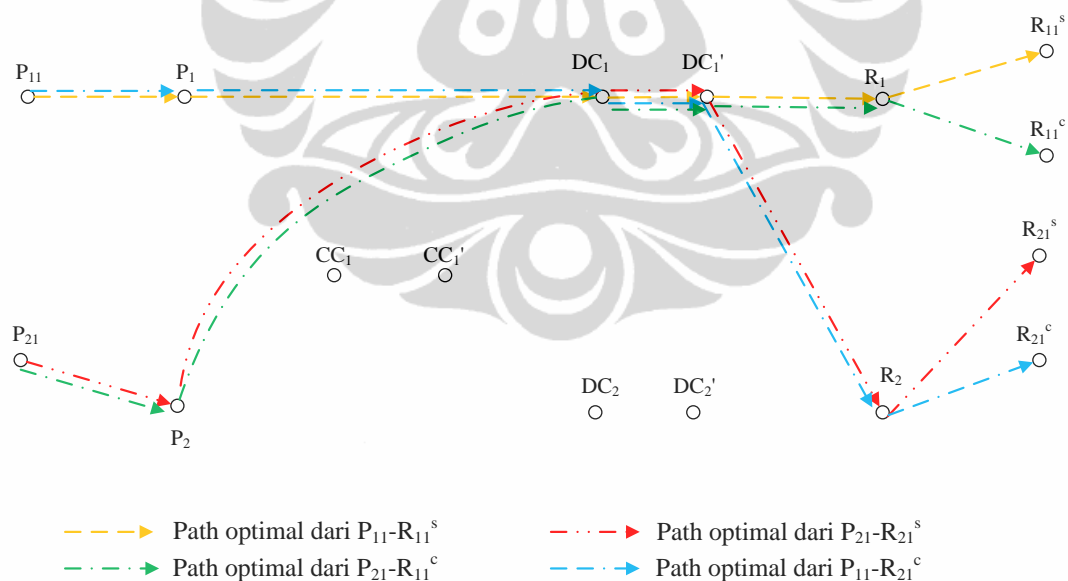
Sebagaimana dijelaskan sebelumnya, semua fungsi biaya di ruas yang berlaku pada P-SRJ adalah berbentuk fungsi linier atau konstanta terhadap jumlah arus.

Step 3 :

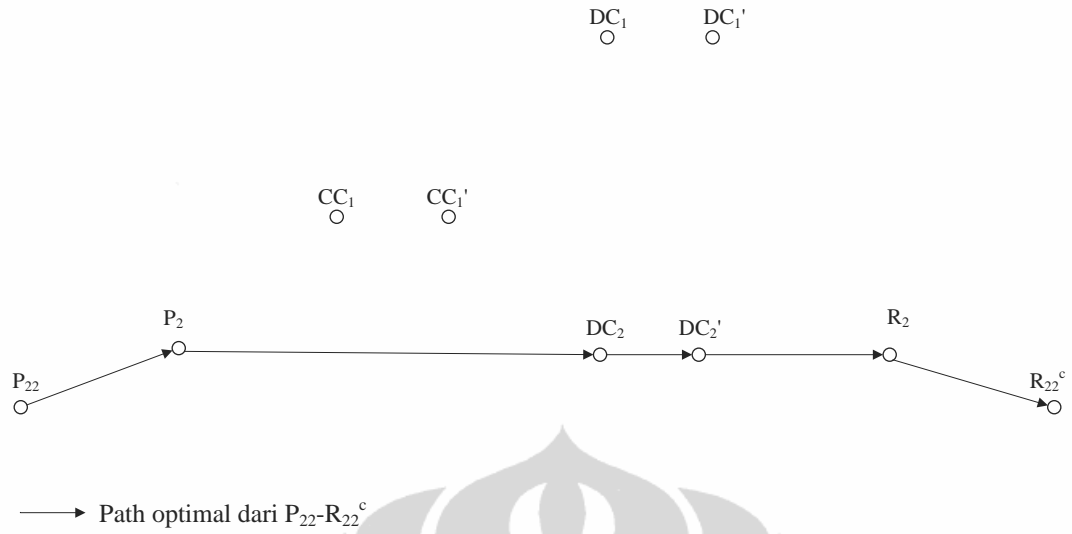
Setelah terbentuk P-SRJ untuk semua komoditas, maka dilakukan penyelesaian atas masalah Minimum Cost Flow dari semua P-SRJ satu per satu dengan algoritma Primal-Dual sebagaimana dijelaskan pada sub bab 3.3.4.2 dan gambar 3.11. Luaran dari Primal-Dual adalah *path* optimal serta arus optimal dari semua P-SRJ.

Step 4 :

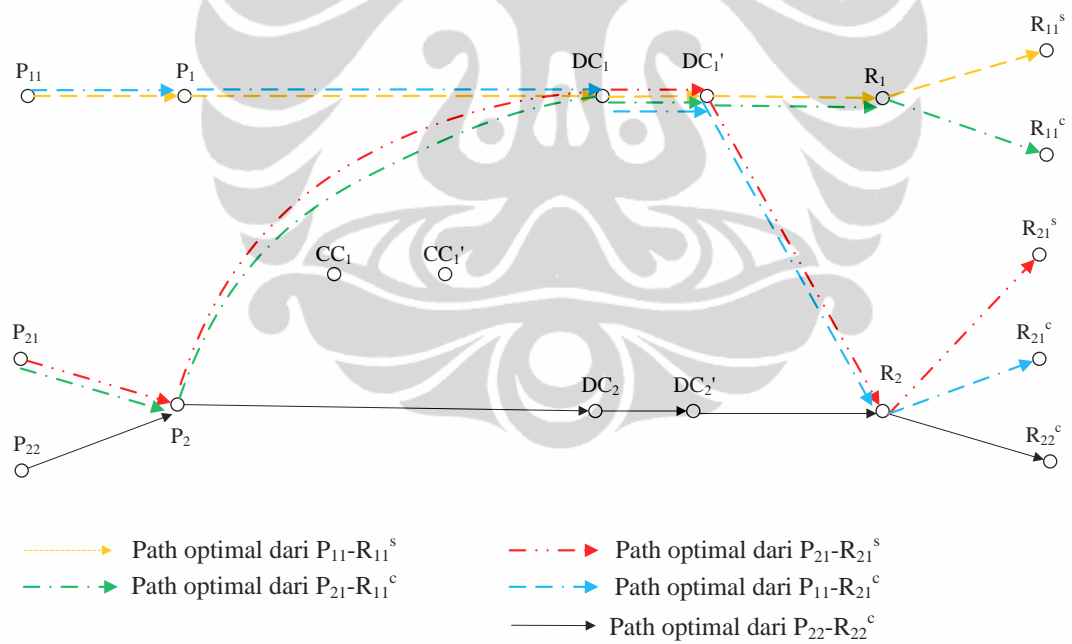
Pada tahap ini dilakukan penggabungan (*superimpose*) path optimal - path optimal dari semua P-SRJ. Penggabungan ini dimungkinkan karena bentuk fungsi biaya di ruas adalah linier serta adanya biaya satuan yang sama untuk semua jenis komoditas (pada ruas umum) atau adanya ruas eksklusif pada ruas-ruas yang memiliki biaya satuan berbeda antar komoditasnya, sehingga berlaku hukum substitusi di dalam penjumlahan matematis arus di ruas. Gambar 6.9a, 6.9b dan 6.9c memperlihatkan contoh dari penggabungan ini.



Gambar 6.9a Path optimal dari P-SRJ komoditas 1



Gambar 6.9b Path optimal dari P-SRJ komoditas 2



Gambar 6.9c Path optimal gabungan dari P-SRJ komoditas 1 dan 2

Step 5 :

Berdasarkan arus optimal dari hasil penggabungan, dapat dihitung nilai fungsi tujuan dari masalah MCMF yang sudah dilinierisasi.

6.5.1.2 Kapasitas Gudang yang Tidak Dibatasi (Uncapacitated Warehouses)

Penyelesaian masalah MCMF untuk kasus kapasitas gudang tidak dibatasi dengan metode linierisasi tunggal pada prinsipnya menggunakan algoritma ADD sebagaimana dijelaskan pada gambar 3.5 dan perhitungan nilai fungsi tujuan menggunakan tahapan-tahapan pada gambar 6.7.

6.5.2 Metode Linierisasi Bertahap (Gradual Linearization)

Penyelesaian masalah MCMF yang dilinierisasi dengan metode linierisasi bertahap untuk kasus kapasitas dibatasi dan tidak dibatasi pada prinsipnya sama dengan tahapan pada metode linierisasi tunggal. Perbedaan keduanya hanya terletak pada penentuan biaya satuan di ruas sebagai hasil linierisasi fungsi *concave*. Pada linierisasi tunggal, proses linierisasi hanya dilakukan satu kali, yaitu di awal proses iterasi, sementara pada linierisasi bertahap proses linierisasi dilakukan pada setiap iterasi dari algoritma Primal-Dual.

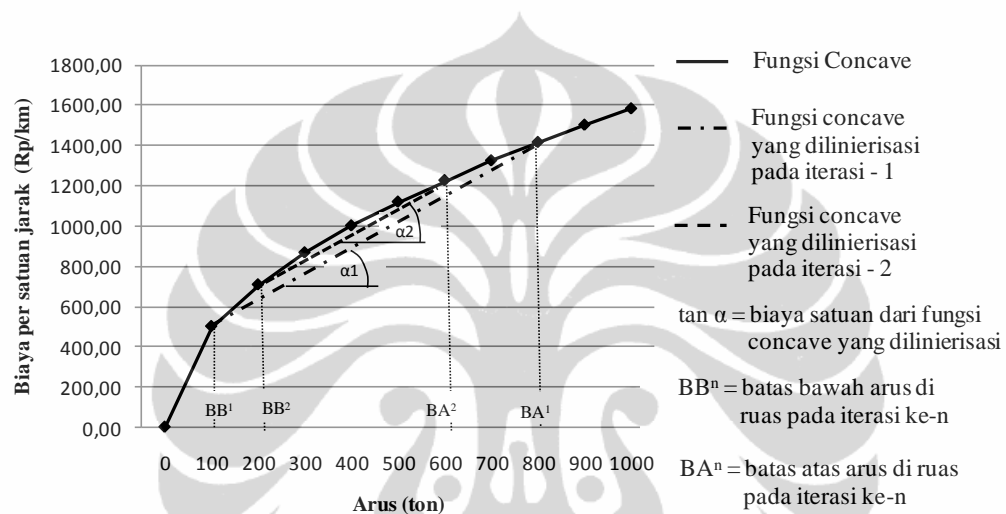
Pada algoritma Primal-Dual untuk penyelesaian masalah Minimum Cost Flow (MCF) sebagaimana dijelaskan pada sub bab 3.3.4.2, terjadi proses penambahan arus (*flow augmenting*) secara bertahap pada setiap iterasinya, sehingga seluruh arus dapat terkirim dari titik sumber ke titik terminal. Dengan terkirimnya sejumlah arus melewati ruas-ruas *shortest path* maka pada tiap akhir iterasi akan terjadi perubahan batas atas dan batas bawah arus di ruas. Pada linierisasi bertahap, fungsi *concave* didekati sebagai fungsi linier dengan menggunakan batas bawah dan batas atas yang berubah-ubah, sesuai dengan perkiraan besarnya arus maksimum (batas atas arus) dan minimum (batas bawah arus) yang dapat melewati ruas yang bersangkutan pada iterasi tertentu.

Besarnya batas atas dan batas bawah arus di ruas adalah sebagai berikut :

BB^n = arus yang ada di ruas (*current link flow*) pada iterasi ke- n

BA^n = arus berlebih (*current excess flow*, e) pada titik sumber + arus yang ada di ruas (*current link flow*) pada iterasi ke- n

Suatu contoh proses linierisasi bertahap diperlihatkan pada gambar 6.10. Pada contoh tersebut, di akhir iterasi ke-1, diperoleh nilai batas bawah arus di ruas sebesar BB^1 dan batas atasnya sebesar BA^1 . Berdasarkan besaran tersebut, biaya satuan di ruas yang bersangkutan untuk iterasi ke-2 adalah sebesar $\tan \alpha_1$, dimana α_1 adalah sudut yang terbentuk oleh fungsi linier antara BB^1 dan BA^1 pada iterasi ke-1. Perhitungan batas bawah dan batas atas berlanjut untuk iterasi ke-2 sesuai hasil penambahan arus di ruas (*flow augmenting*) pada iterasi tersebut.



Gambar 6.10 Contoh proses linierisasi bertahap

6.5.3 Pemrograman Dua Tingkat (Bi-level Programming)

Dasar pemikiran dari Pemrograman Dua Tingkat (PDT) adalah mengubah bentuk satu jaringan multi sumber menjadi beberapa sub jaringan berbentuk sumber tunggal untuk mempertahankan bentuk fungsi biaya di ruas tetap sebagai fungsi *concave*. Dengan transformasi ini masalah MCMF dapat diselesaikan dengan algoritma Gallo (Soehodho, S. dan Nahry, 2009e).

Transformasi jaringan multi sumber menjadi beberapa sub jaringan sumber tunggal pada aplikasinya sesungguhnya analog dengan sistem rayonisasi (*clustering*) yang dilakukan oleh BUMN-PSO. Pada sistem rayonisasi, sebagian titik tujuan dikelompokkan pada satu titik sumber dan sebagian lain dari titik tujuan dikelompokkan pada titik sumber yang lain. Perbedaan mendasar antara sistem rayonisasi yang dilakukan oleh BUMN-PSO dengan sistem *clustering* pada

PDT adalah dalam hal variabel yang dipertimbangkan. Pada BUMN-PSO rayonisasi hanya mempertimbangkan variabel biaya transportasi, sementara PDT melibatkan biaya transportasi, biaya produksi serta pendapatan. Selain itu, PDT menggunakan sistem rayonisasi hanya sebagai solusi antara (*intermediate solution*) bagi optimasi sistem, sementara BUMN-PSO menggunakan sistem rayonisasi hingga solusi final-nya. Dengan pendekatan dua tingkat ini, disadari bahwa solusi PDT merupakan nilai pendekatan bagi solusi global dari PBM.

Berikut ini akan dijelaskan tahapan kerja dari PDT sebagaimana digambarkan pada diagram alir gambar 6.11.

Pemrograman Tingkat Satu

Tujuan dari pemrograman tingkat satu adalah untuk mengubah jaringan yang berbentuk multi sumber menjadi sub jaringan - sub jaringan yang berbentuk sumber tunggal. Pada tingkat satu ini fungsi *concave* dari masalah MCMF ditransformasikan menjadi fungsi linear, dengan menggunakan metode linierisasi tunggal atau bertahap sebagaimana dijelaskan pada sub bab 6.5.1 dan 6.5.2.

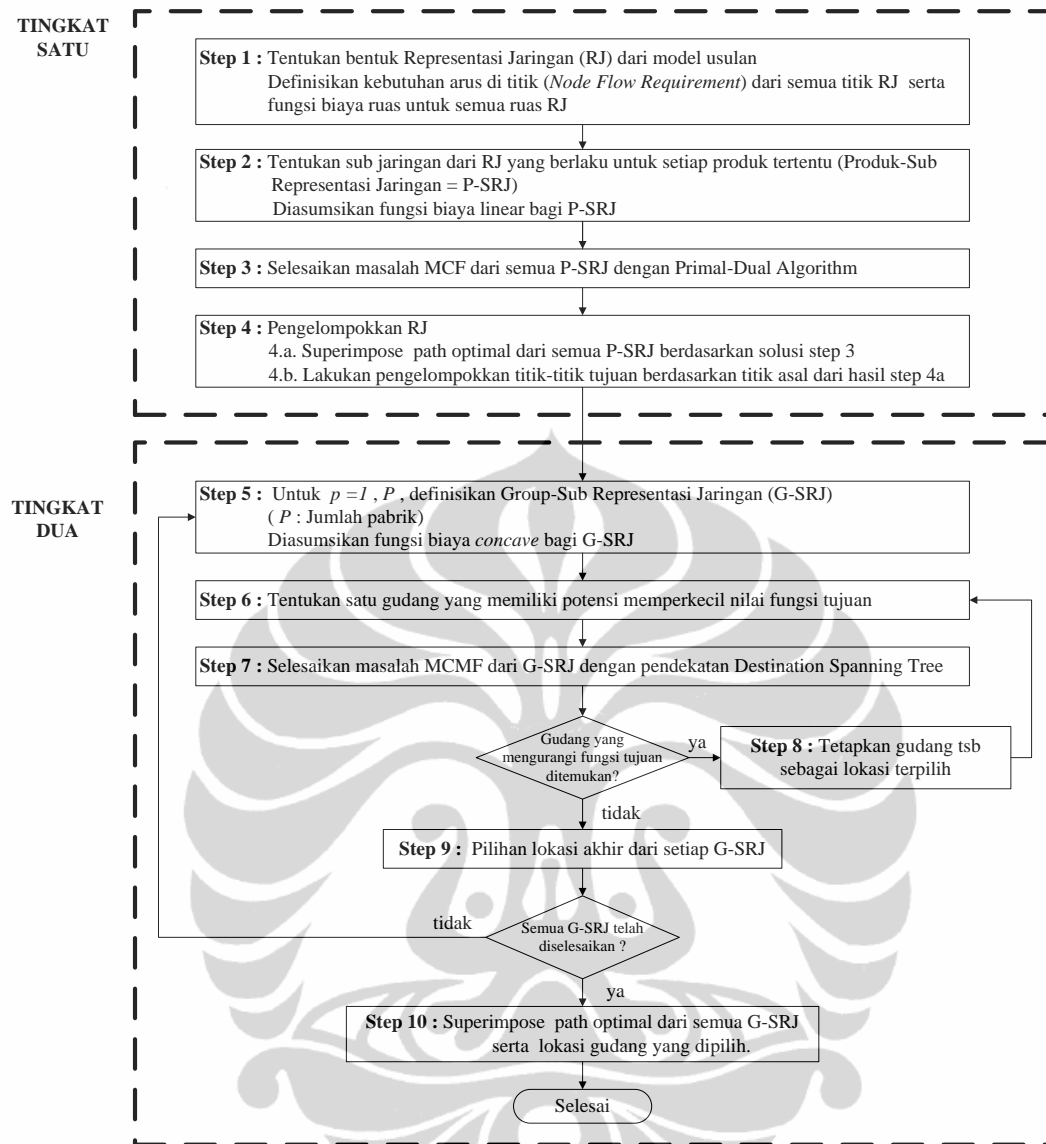
Penjelasan tiap tahap dari pemrograman tingkat satu adalah sebagai berikut :

Step 1 :

Pada tahap ini dilakukan pembentukan RJ dari pemrograman matematis usulan. Termasuk di dalamnya adalah penentuan besarnya kebutuhan arus di titik (*Node Flow Requirement*) dari semua titik RJ serta penentuan fungsi biaya di ruas dari semua ruas RJ. Pada tahap ini, semua fungsi biaya ditransformasikan ke dalam bentuk fungsi linier.

Step 2 :

Pada tahap ini dilakukan pembentukan Produk-Sub Representasi Jaringan (P-SRJ) untuk semua jenis komoditas.



Gambar 6.11 Diagram alir Pemrograman Dua Tingkat

Step 3 :

Setelah terbentuk P-SRJ untuk semua komoditas, maka dilakukan penyelesaian atas masalah Minimum Cost Flow dari semua P-SRJ satu per satu dengan algoritma Primal-Dual sebagaimana dijelaskan pada sub bab 3.3.4.2 dan gambar 3.11. Luaran dari Primal-Dual adalah *path* optimal serta arus optimal dari semua P-SRJ.

Step 4 :

Tahap ini dimaksudkan untuk melakukan pengelompokan (*clustering*) titik-titik tujuan dari RJ berdasarkan titik asalnya. Hal ini dilakukan dengan menjumlahkan/menggabungkan (*superimpose*) *path* optimal - *path* optimal dari semua P-SRJ. Gambar 6.9a, 6.9b dan 6.9c memperlihatkan contoh dari penjumlahan dan pengelompokan ini.

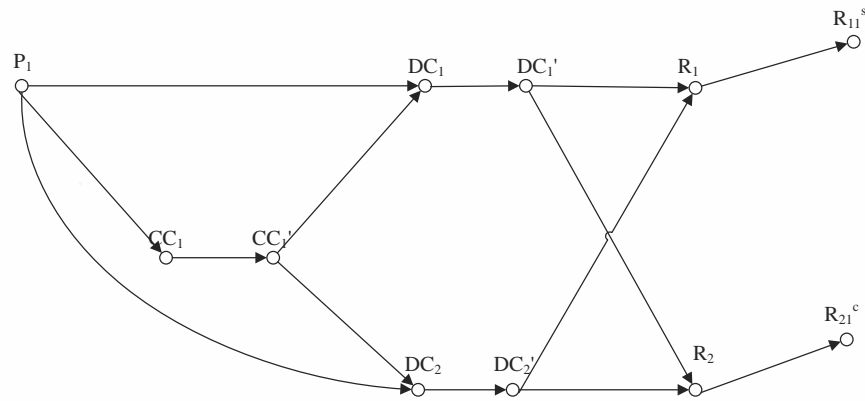
Pada gambar 6.9a dan 6.9b diperlihatkan *path* optimal untuk melayani setiap titik permintaan dari pabrik yang mensuplainya. *Path-path* optimal ini digunakan sebagai dasar untuk melakukan pengelompokan titik-titik permintaan. Pada gambar 6.9c terlihat bahwa titik R_{11}^s dan R_{21}^c disuplai oleh pabrik 1, sementara titik R_{11}^c , R_{21}^s dan R_{22}^c disuplai oleh pabrik 2. Dari sini dapat disimpulkan bahwa titik R_{11}^s dan R_{21}^c dikelompokkan ke dalam kelompok pabrik 1 dan titik R_{11}^c , R_{21}^s serta R_{22}^c dikelompokkan ke dalam kelompok pabrik 2.

Pemrograman Tingkat Dua

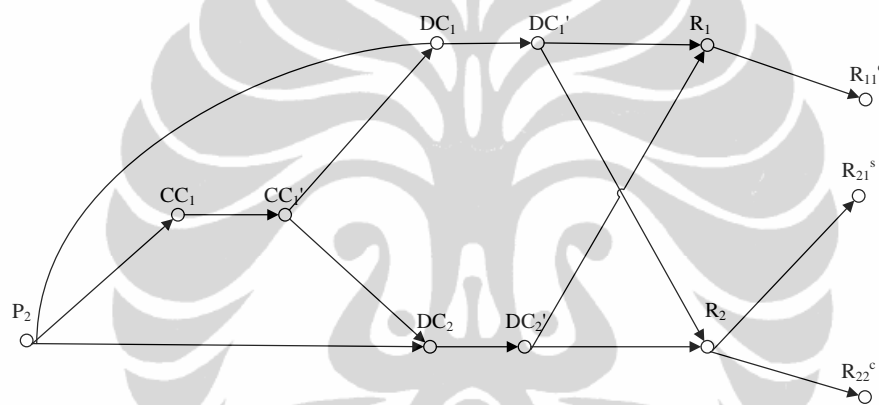
Tujuan dari pemrograman tingkat dua adalah untuk menyelesaikan masalah Minimum Concave Cost Flow dari sub jaringan - sub jaringan RJ. Sub jaringan - sub jaringan RJ terbentuk berdasarkan hasil pengelompokan pada step 4.

Step 5 :

Pada tahap ini dilakukan pembentukan Group-Sub Representasi Jaringan (G-SRJ) berdasarkan pengelompokan pada step 4. G-SRJ adalah sub jaringan dari RJ yang berbentuk sumber tunggal, sehingga satu RJ akan membentuk P - G-SRJ, dimana P adalah jumlah sumber/pabrik yang ada. Pada setiap G-SRJ berlaku fungsi asal dari fungsi biaya di ruas dari jaringan asal, yaitu fungsi *concave* atau fungsi linier. Contoh G-SRJ yang terbentuk dari step 4 diperlihatkan pada gambar 6.12a dan 6.12b. Pada G-SRJ pabrik 1, terlihat hanya ada ruas-ruas yang berasal dari pabrik 1 (P_1) serta gudang konsolidasi maupun distribusi, sementara pada G-SRJ pabrik 2 (gambar 6.12b) hanya ada ruas-ruas yang berasal dari pabrik 2 (P_2). Untuk penyederhanaan, titik $P_{pm} \forall p, \forall m$ tidak disertakan dalam G-SRJ. Hal ini tidak mempengaruhi solusi model karena setiap G-SRJ pasti berada dalam



Gambar 6.12a Group Sub Representasi Jaringan dari pabrik 1



Gambar 6.12b Group Sub Representasi Jaringan dari pabrik 2

keseimbangan suplai dan permintaan, sehingga besarnya total biaya produksi di tiap pabrik (yang direpresentasikan oleh ruas-ruas $P_{pm} - P_p \forall p, \forall m$) menjadi tetap (konstanta).

Step 6 ~ Step 9:

Setelah terbentuk G-SRJ, maka pada setiap G-SRJ dilakukan proses pemilihan lokasi. Proses pemilihan didasarkan pada algoritma ADD sebagaimana dijelaskan pada sub bab 3.2.2.1. Perhitungan nilai fungsi tujuan, yang pada dasarnya adalah bagian dari penentuan titik optimum global, dilakukan menggunakan algoritma yang dikembangkan oleh Gallo dkk (Gallo, Sandi dan Sodini, 1980) sebagaimana dijelaskan pada sub bab 3.4.2.1, yang menggunakan prinsip pembentukan Destination Spanning Tree dari setiap G-SRJ.

Step 10 :

Pada tahap terakhir ini, semua path optimal dari semua G-SRJ digabungkan, sehingga dapat ditentukan titik-titik gudang mana yang harus dibuka dan titik-titik mana yang tidak perlu dibuka berdasarkan besarnya arus yang lewat di ruas-ruas yang mewakili biaya tetap fasilitas. Bila besarnya arus optimal di ruas yang mewakili biaya tetap fasilitas sama dengan nol menunjukkan bahwa gudang yang terkait dengan ruas tersebut tidak perlu dibuka dan sebaliknya apabila besarnya arus tidak sama dengan nol, maka gudang yang bersangkutan perlu dibuka.

Berdasarkan proses pengambilan keputusan yang demikian, dapat dikatakan bahwa keputusan lokasi (*location decision*) pada PDT didasarkan pada besarnya arus, sedangkan keputusan lokasi dari pemrograman matematis asal (persamaan 6.1) didasarkan pada bilangan binari.

6.6. Pengembangan dari Model Lokasi Usulan**6.6.1 Model Alokasi**

Walaupun tujuan dari penelitian disertasi ini adalah suatu model optimasi sistem distribusi yang dapat mewakili karakteristik BUMN-PSO, dan model tersebut berbentuk Model Lokasi, namun pada pengembangan lebih lanjut dari penelitian ini dikembangkan pula Model Alokasi bagi sistem tersebut (Soehodho, S. dan Nahry, 2009a). Model Alokasi dibedakan dengan Model Lokasi dalam hal eksistensi dari fasilitas / gudang dari sistem distribusi. Apabila pada Model Lokasi eksistensi / lokasi gudang menjadi pertanyaan model, maka pada Model Alokasi eksistensi dan lokasi gudang telah ditetapkan. Pada Model Alokasi, yang menjadi variabel keputusan (*decision variables*) adalah alokasi optimal terhadap masing-masing pabrik dalam memenuhi seluruh permintaan yang ada. Model Alokasi biasanya lebih bersifat operasional.

Berdasarkan bentuk umum dari jaringan distribusi sebagaimana digambarkan pada gambar 6.1, bentuk model matematis Model Alokasi adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
\min Z(X_c, Y_d, \alpha_{p(m)c}, \beta_{cdm}, \gamma_{drm}, \delta_{p(m)d}) = & \\
\sum_{p \in P} \sum_{c \in C} u_{pc} \cdot \Phi_{pc} \left[\sum_{m \in M | p(m)=p} \alpha_{p(m)c} \right] + \sum_{c \in C} \sum_{d \in D} v_{cd} \cdot \Psi_{cd} \left[\sum_{m \in M} \beta_{cdm} \right] + \sum_{p \in P} \sum_{d \in D} z_{pd} \cdot \xi_{pd} \left[\sum_{m \in M | p(m)=p} \delta_{p(m)d} \right] + & \\
\sum_{d \in D} \sum_{r \in R} w_{dr} \cdot \sum_{m \in M} (\gamma_{drm} \cdot \omega_{drm}) + \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} \left(\sum_{c \in C} \alpha_{p(m)c} + \sum_{d \in D} \delta_{p(m)d} \right) \eta_{p(m)} \left[\sum_{c \in C} \alpha_{p(m)c} + \sum_{d \in D} \delta_{p(m)d} \right] - & \\
\sum_{d \in D} \sum_{r \in R} \sum_{m \in M} \gamma_{drm} \cdot \rho_{rm} & \quad (6.23)
\end{aligned}$$

subject to :

$$\sum_{p \in P} \alpha_{p(m)c} = \sum_{d \in D} \beta_{cdm}, \quad \forall c \in C, \forall m \in M \quad (6.24)$$

$$\sum_{c \in C} \beta_{cdm} + \sum_{p \in P} \delta_{p(m)d} = \sum_{r \in R} \gamma_{drm}, \quad \forall d \in D, \forall m \in M \quad (6.25)$$

$$\sum_{d \in D} \gamma_{drm} = \lambda_{rm}, \quad \forall r \in R, \forall m \in M^s \quad (6.26)$$

$$\sum_{d \in D} \gamma_{drm} \leq \lambda_{rm}, \quad \forall r \in R, \forall m \in M^c \quad (6.27)$$

$$\sum_{c \in C} \alpha_{p(m)c} + \sum_{d \in D} \delta_{p(m)d} \leq C p_{p(m)}, \quad \forall p \in P, \forall m \in M \quad (6.28)$$

$$\sum_{c \in C} \sum_{m \in M} \beta_{cdm} + \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} \delta_{p(m)d} \leq C d_d, \quad \forall d \in D \quad (6.29)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{m \in M} \alpha_{p(m)c} \leq C c_c, \quad \forall c \in C \quad (6.30)$$

$$\alpha_{p(m)c} \geq 0, \quad \forall p \in P, \forall c \in C, \forall m \in M \quad (6.31)$$

$$\beta_{cdm} \geq 0, \quad \forall c \in C, \forall d \in D, \forall m \in M \quad (6.32)$$

$$\gamma_{drm} \geq 0, \quad \forall d \in D, \forall r \in R, \forall m \in M \quad (6.33)$$

$$\delta_{p(m)d} \geq 0, \quad \forall p \in P, \forall d \in D, \forall m \in M \quad (6.34)$$

Initial :

- p : menunjukkan nomor pabrik
- c : menunjukkan nomor gudang konsolidasi
- d : menunjukkan nomor gudang distribusi
- r : menunjukkan pengecer
- m : menunjukkan jenis komoditas
- $p(m)$: menunjukkan pabrik $p \in P$ yang memproduksi komoditas- m

Kumpulan :

- P : Kumpulan pabrik
 C : Kumpulan gudang konsolidasi
 D : Kumpulan gudang distribusi
 R : Kumpulan pengecer
 M : Kumpulan komoditas
 $M^s \in M$: Kumpulan komoditas subsidi
 $M^c \in M$: Kumpulan komoditas komersial

Variabel Keputusan :

- $\alpha_{p(m)c}$: kuantitas komoditas- m yang berpindah dari pabrik $p(m)$ ke gudang konsolidasi- c
 β_{cdm} : kuantitas komoditas- m yang berpindah dari gudang konsolidasi- c ke gudang distribusi- d
 γ_{drm} : kuantitas komoditas- m yang berpindah dari gudang distribusi- d ke pengecer- r
 $\delta_{p(m)d}$: kuantitas komoditas- m yang berpindah dari pabrik $p(m)$ ke gudang distribusi- d

Parameter Input :

- ρ_{rm} : harga jual komoditas- m pada pengecer- r
 u_{pc} : jarak dari pabrik- p ke gudang konsolidasi- c
 v_{cd} : jarak dari gudang konsolidasi- c ke gudang distribusi- d
 w_{dr} : jarak dari gudang distribusi- d ke pengecer- r
 z_{pd} : jarak dari pabrik- p ke gudang distribusi- d
 ω_{drm} : biaya per satuan jarak untuk memindahkan satu unit komoditas- m dari gudang distribusi- d ke pengecer- r
 λ_{rm} : permintaan terhadap komoditas- m pada pengecer- r
 $Cp_{p(m)}$: kapasitas pabrik- p untuk memproduksi komoditas- m
 Cd_d : kapasitas gudang distribusi- d
 Cc_c : kapasitas gudang konsolidasi- c

Fungsi Input :

- $\Phi_{pc}[\cdot], \forall p \in P, \forall c \in C$: biaya per satuan jarak untuk memindahkan komoditas- m dari pabrik- p ke gudang konsolidasi- c (merupakan fungsi *concave* dari volume total)
- $\Psi_{cd}[\cdot], \forall c \in C, \forall d \in D$: biaya per satuan jarak untuk memindahkan komoditas- m dari gudang konsolidasi- c ke gudang distribusi- d (merupakan fungsi *concave* dari volume total)
- $\xi_{pd}[\cdot], \forall p \in P, \forall d \in D$: biaya per satuan jarak untuk memindahkan komoditas- m dari pabrik- p ke gudang distribusi- d (merupakan fungsi *concave* dari volume total)
- $\eta_{p(m)}[\cdot], \forall p \in P$: biaya per satuan volume untuk memproduksi komoditas- m pada pabrik- p

6.6.2 Pengembangan Eselonisasi Jaringan Distribusi

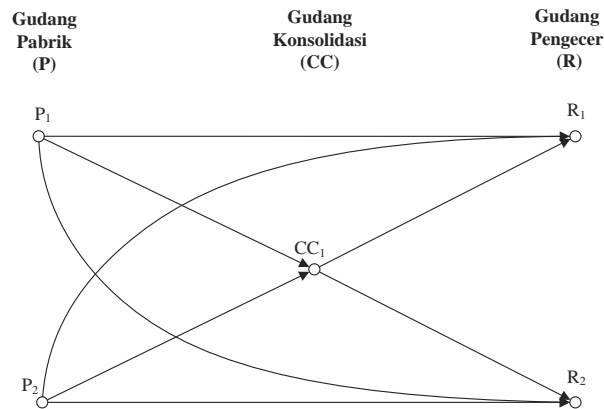
Hingga tahap ini, bentuk jaringan fisik sistem distribusi yang diusulkan adalah berbentuk tiga tahap (*3-stages*), yaitu terdiri dari pabrik, gudang konsolidasi, gudang distribusi dan pengecer (gambar 6.1). Bentuk ini pada dasarnya adalah merupakan bentuk jaringan dari BUMN-PSO yang menjadi studi kasus. Dalam rangka mencari bentuk sistem maupun bentuk jaringan yang lebih efisien, maka di dalam pengembangan lebih lanjut dari penelitian ini dilakukan pengembangan terhadap bentuk dari jaringan ini yaitu berbentuk jaringan dua tahap (*2-stages*) yang dibedakan lagi atas dua bentuk, yaitu :

1. Jaringan Dua Tahap – Hanya ada Gudang Konsolidasi

Jaringan ini terdiri dari pabrik , gudang konsolidasi serta pengecer.

Produk yang dihasilkan dari pabrik didistribusikan ke pengecer melalui gudang konsolidasi atau langsung menuju pengecer. Gudang konsolidasi hanya digunakan bila memang keberadaannya dapat lebih mengefisienkan sistem.

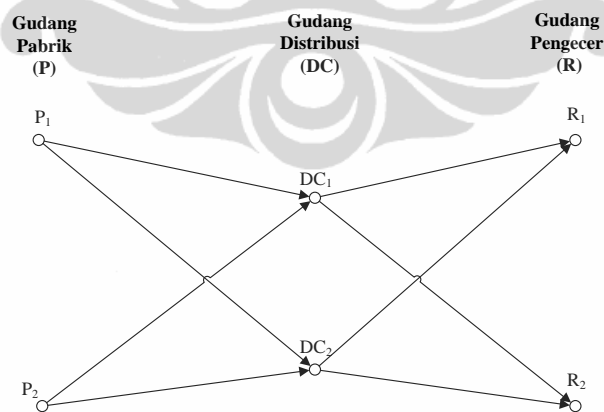
Gambar 6.13 memperlihatkan contoh dari jaringan ini.



Gambar 6.13 Contoh Jaringan Dua Tahap –
Hanya ada Gudang Konsolidasi

2. Jaringan Dua Tahap – Hanya ada Gudang Distribusi

Pada jaringan ini, hanya ada pabrik, gudang distribusi dan pengecer. Sebagaimana fungsinya, yaitu sebagai gudang pengaman, semua produk yang dihasilkan oleh pabrik diharuskan melewati salah satu gudang distribusi, sehingga tidak dimungkinkan adanya ruas yang menghubungkan langsung pabrik dan pengecer. Gambar 6.14 memperlihatkan contoh dari jaringan ini.



Gambar 6. 14 Contoh Jaringan Dua Tahap –
Hanya ada Gudang Distribusi

6.7. Pengembangan Program Aplikasi

6.7.1 Stepwise dari Solusi Model

6.7.1.1 Stepwise dari Solusi Model Alokasi

A. Metode Linierisasi

Pengembangan *stepwise* dari solusi Model Alokasi dengan metode Linierisasi merujuk pada algoritma yang digambarkan pada gambar 3.11 (tentang Prosedur algoritma Primal Dual) dan gambar 6.7 (tentang perhitungan nilai fungsi tujuan masalah MCF).

Variabel luaran program :

$x_{superimpose\ ij}$: Arus optimal di tiap ruas dan path optimalnya.

Z : Nilai fungsi tujuan pada kondisi optimal

Asumsi untuk metode Linierisasi :

- Jaringan bisa berbentuk sumber tunggal atau multi sumber
- *Uncapacitated atau capacitated warehouse*

Step 0 : Inisialisasi

$x_{ijm} := 0 \quad \forall i, j, m \in RJ ; \forall (i, j) \in RJ, \forall m \in M$, berlaku $x_{im} := 0$,

$r_{ji} := 0$;

$BB_{ij} := 0 \quad \forall (i, j) \in RJ$;

$BA_{ij} := \min \{ total\ suplai, total\ permintaan \} \quad \forall (i, j) \in RJ$

Lakukan transformasi fungsi biaya *concave* $cc_{ij} = a_{1ij} \cdot x_{ij}^{a_{2ij}}$ menjadi

fungsi linier $c_{ij} = \frac{(a_{1ij} \cdot BA_{ij}^{a_{2ij}}) - (a_{1ij} \cdot BB_{ij}^{a_{2ij}})}{BA_{ij} - BB_{ij}} \quad \forall i, j \in RJ$

Set $m := 1$

Step 1 : Pembentukan Produk Sub Representasi Jaringan dari komoditas- m

$G[P-SRJ]_m$

Set $b(i)_m :=$ Kapasitas pabrik- i untuk komoditas- $m \quad \forall i \in$ titik pabrik;

$b(i)_m :=$ Permintaan pengecer- i terhadap komoditas- m

$\forall i \in$ titik pengecer ; $b(i)_m := 0 \quad \forall i \in$ titik antara

Step 2 : Pembentukan Excess Subnetwork , bila ada.

Jika $SS := SD$, menuju step 3. Jika tidak, menuju step 2a.

Step 2a : Hitung total suplai dan total permintaan

$$SS := \sum_i b(i)_m \quad \forall i, b(i)_m > 0 ; SD := \sum_i b(i)_m \quad \forall i, b(i)_m < 0$$

Step 2b : Tambahkan titik pengecer atau titik pabrik semu

Jika $SS > -(SD)$: tambahkan titik pengecer semu ; tambahkan excess links antara setiap titik asal dari $G[P-SRJ]_m$ dengan titik pengecer (semu) ; $r_{ij} := SS - SD \quad \forall (i,j) \in \text{Excess links}$;

$$c_{ij} := 0 \quad \forall (i,j) \in \text{Excess links} .$$

Jika tidak, jika $SS < -(SD)$: tambahkan titik pabrik semu ; tambahkan excess links antara titik pabrik semu dengan setiap titik tujuan dari $G[P-SRJ]_m$, $r_{ij} := SD - SS \quad \forall (i,j) \in \text{Excess Links}$;

$$c_{ij} := \infty \quad \forall (i,j) \in \text{Excess Links} , j \in \text{titik pengecer komoditas subsidi};$$

$$c_{ij} := 0 \quad \forall (i,j) \in \text{Excess Links}, j \in \text{titik pengecer komoditas komersial}.$$

Jika tidak, menuju step 3

Step 3 : Pembentukan Transformed Network**Step 3a : Tambahkan titik sumber (s)**

Jika $SS \geq -SD$, $b(s)_m := SS$. Jika tidak, $b(s)_m := -SD$.

Tambahkan begin transformed links antara titik - s dengan setiap titik asal dari $G[P-SRJ]_m$; $r_{ij} := b(j)_m$;

$$c_{ij} := 0 \quad \forall (i,j) \in \text{Transformed links}$$

Step 3b : Tambahkan titik terminal (t)

Jika $SS \geq -SD$, $b(t)_m := -SS$. Jika tidak, $b(t)_m := SD$.

Tambahkan end transformed links antara setiap titik tujuan dari $G[P-SRJ]_m$ dengan titik -t ; $r_{ijm} := -b(i)_m$; $c_{ij} := \infty$, bila (i,j) terkait dengan komoditas komersial atau $c_{ij} := 0$, bila (i,j) terkait dengan komoditas subsidi $\forall (i,j) \in \text{End Transformed Link}$

Step 4 : Redefinisi kebutuhan arus di titik untuk titik-titik antara

$$b(i)_m := 0 \quad \forall i \neq s, i \neq t$$

Step 5 : Penyelesaian masalah MCF dengan algoritma Primal-Dual

Inisialisasi : $n := 0$;

Residual Network := $G(x) := G[\text{Transformed } P\text{-SRJ}]$;

$e(s) := b(s)_m$; $e(t) := b(t)_m$; $c_{ijm}^{\pi^n} := c_{ij}$; $\pi_{im}^n := 0$;

$x_{ijm} := 0$

Step 5a : Tentukan shortest path dari titik-s ke titik-i

$n := n + 1$. Shortest path $d_{im}^n \forall i \in G(x)$ berdasarkan $c_{ijm}^{\pi^{n-1}}$

Step 5b : Perbarui node potential

$\pi_{im}^n := \pi_{im}^{n-1} - d_{im}^n \forall i \in G(x)$

Step 5c : Perbarui reduced cost

$c_{ijm}^{\pi^n} := c_{ij} - \pi_{im}^n + \pi_{jm}^n \forall (i, j) \in G(x)$

Step 5d : Tentukan Admissible Network : $G^0(x)$

Set $c_{ijm}^{\pi^n} := 0 \forall (i, j)$ dari $G^0(x)$

Step 5e : Pilih satu path p^n antara $s - t$ dari $G^0(x)$. Tentukan augmented flow Δ

$\Delta := \min_{(i,j) \in p^n} r_{ij} \forall (i, j) \in p^n$; $x_{ijm} := x_{ijm} + \Delta \forall (i, j) \in p^n$

$\Delta := 0$; $x_{ijm} := x_{ijm} \forall (i, j) \notin p^n$

Step 5f : Perbarui Residual Network $G(x)$

Jika $x_{ijm} > 0$ dan $x_{jim} = 0$, tambahkan ruas (j, i) , dimana

$r_{ij} := r_{ij} - x_{ijm}$; $r_{ji} := x_{ijm}$; $c_{ji} = -c_{ij}$;

$c_{jim}^{\pi^n} := -c_{ijm}^{\pi^n} \forall (i, j) \in G[P\text{-SRJ}]$

Step 5g : Perbarui $e(s)$ dan $e(t)$

$e(s) := e(s) - \Delta$; $e(t) := e(t) + \Delta$

Jika pilihan adalah metode linierisasi bertahap, menuju step 5h.

Jika pilihan adalah metode linierisasi tunggal, menuju step 5i

Step 5h : Perbarui batas bawah dan batas atas arus serta biaya satuan ruas

Jika $e(s) : \neq 0$, $x_{ijm} := x_{ijm} - x_{jim} \forall (i, j) \in G[P\text{-SRJ}]$

$BB_{ij} := x_{ijm}$; $BA_{ij} := e(s) + x_{ijm}$

$$c_{ij} = \frac{(a_{1ij} \cdot BA_{ij}^{a_{2ij}}) - (a_{1ij} \cdot BB_{ij}^{a_{2ij}})}{BA_{ij} - BB_{ij}} \quad \forall i, j \in G[P-SRJ], \text{ kembali ke}$$

step 5a .

Jika tidak, jika $e(s) := 0$ dan $m \neq M$,

$x_{ijm} := x_{ijm} - x_{jim} \quad \forall (i, j) \in G[P-SRJ]$, $m := m+1$ kembali ke step 1.

Jika tidak, menuju step 7.

Step 5i : Updating

Jika $e(s) \neq 0$, kembali ke step 5a .Jika tidak, jika $e(s) := 0$ dan $m \neq M$,

$x_{ijm} := x_{ijm} - x_{jim} \quad \forall (i, j) \in G[P-SRJ]$, $m := m+1$ kembali ke step 1.

Jika tidak, menuju step 7.

Step 6 : Superimpose arus optimal dari semua P-SRJ

$$x_{superimpose \ ij} := \sum_m x_{ijm} \quad \forall (i, j) \in G[P-SRJ]$$

Step 7 : Hitung nilai fungsi tujuan

$$Z := \sum_{ij} f_{ij} (x_{superimposed \ ij}) . \text{ STOP.}$$

B. Metode Gallo

B.1 Stepwise Penentuan Adjacent Extreme Flow

(Sumber : Gallo dan Sodini, 1979 (telah diolah kembali))

Pengembangan *stepwise* dari penentuan *adjacent extreme flow* merujuk pada algoritma yang digambarkan pada gambar 3.19a , 3.19b dan 3.19c tentang algoritma *Adjacent Extreme Flow*.

Variabel luaran program :

Σ : Kumpulan *cycle* γ yang terbentuk

$x_{adjacent \ extreme \ ij}$: *adjacent extreme flow* dari suatu set *extreme flow*

Z_γ : Nilai fungsi tujuan dari setiap set *adjacent extreme flow*

Z^* : Nilai fungsi tujuan terkecil dari semua Z_γ

T^* : *Tree* terkait dengan nilai Z^*

INISIALISASI : Tetapkan *initial extreme flow* $x_{extreme\ ij} \forall (i, j) \in G$

PHASE I : *Tentukan tree dari graph G yang mengandung ruas-ruas $A_1(x)$*

- I.1 Tentukan $N_1 := \{i \in N : \text{dimana } (i, j) \in A_1 \text{ atau } (j, i) \in A_1\}$, $K := 0$. Menuju I.2.
- I.2 Jika $N_1 := \emptyset$, menuju I.6. Jika tidak, pilih satu $i \in N_1$. Set $k := k + 1$ dan $N^k := \emptyset$ dan $L := \emptyset$. Menuju I.3.
- I.3 $\forall j \notin N^k$, dimana $(i, j) \in A_1$ atau $(j, i) \in A_1$, set $L := L \cup \{j\}$.
Set $N^k := N^k \cup \{i\}$. Menuju I.4.
- I.4 Jika $L := \emptyset$, menuju I.5. Jika tidak pilih satu $l \in L$ dan set $i := l$, $L := L - \{i\}$. Menuju I.3.
- I.5 Set $K := k$, $N_1 := N_1 - N^k$. Menuju I.2.
- I.6. Untuk $k := 1, 2, \dots, K$, tentukan $A^k := \{(i, j) \in A_1 : i, j \in N^k\}$, $G^k := g[A^k]$ dan $\Omega := \{N^1, N^2, \dots, N^K\}$. Menuju Phase II.

PHASE II : *Tentukan unique chain antara titik z dan v pada tree tertentu*

- II.1 Tentukan $\Gamma := \emptyset$, $A'_2 := \{(i, j), \text{ dimana } (i, j) \in A_2 \text{ dan } x_{ij} := 0, \text{ atau } (j, i) \in A_2 \text{ dan } x_{ij} := b_{ij}\}$, $k := 0$. Menuju II.2.
- II.2. Jika $k := K$, menuju phase III. Jika tidak, set $k := k + 1$,
 $C^k := \{(i, j) \in A'_2 : i, j \in N^k\}$, $A'_2 := A'_2 - C^k$. Menuju II.3.
- II.3 Jika $C^k := \emptyset$, menuju II.2. Jika tidak, pilih satu ruas $(v, z) \in C^k$ dan menuju subroutine TRESKA (G^k, v, z, γ). Menuju II.4.
- II.4 Set $\Gamma := \Gamma \cup \{\gamma\}$, $C^k := C^k - \{(v, z)\}$. Menuju II.3.

PHASE III : *Tentukan cycles pada $A_2(x)$ yang memenuhi teorema 2*

(lihat penjelasan 3.4.2.2)

- III.1 Tentukan $A_1 := \{(i, j) : \text{dimana } (i, j) \in A_1 \text{ atau } (j, i) \in A_1\}$. Menuju III.2
- III.2 Jika $A'_2 := 0$, menuju IV.1. Jika tidak, pilih satu ruas $(v, z) \in A'_2$. Tentukan $A' := A'_1 \cup A'_2$ dan $G' := g[A']$. Menuju III.3.
- III.3 Menuju subroutine CIRCE (G', v, z, Ω, Σ). Tentukan $\Gamma := \Gamma \cup \Sigma$ dan $A'_2 := A'_2 - \{(v, z)\}$. Menuju III.2.

PHASE IV : *Penentuan Adjacent Extreme Flow*

IV.1 Modifikasi graph G .

Jika $x_{extreme\ ij} := r_{ij}$, ubah ruas (i,j) menjadi $(j,i) \forall (i,j) \in G$.

IV.2 Definisikan ruas-ruas dari tiap cycle γ dari Γ

Jika γ^+ adalah kumpulan forward arcs dari γ dan γ^- adalah kumpulan forward arcs dari γ :

Jika $(i,j) \in \gamma^+ \forall (i,j) \in G$, set $\mu_{ij}(\gamma) := 1$. Jika tidak, jika $(i,j) \in \gamma^- \forall (i,j) \in G$, set $\mu_{ij}(\gamma) := -1$. Jika tidak, jika $(i,j) \notin \gamma \forall (i,j) \in G$, set $\mu_{ij}(\gamma) := 0$

IV.3 Menentukan arus maksimum δ yang bisa ditambahkan pada tiap cycle γ

Set $\delta^+ := \min\{r_{ij} - x_{extreme\ ij} \mid \forall (i,j) \in \gamma^+\}$ dan

$\delta^- := \min\{x_{extreme\ ij} \mid \forall (i,j) \in \gamma^-\}$;

$\delta(\gamma, x_{extreme\ ij}) := \min\{\delta^+, \delta^-\}$

IV.4 Hitung adjacent extreme flow yang dibentuk oleh tiap cycle γ

$x_{adjacent\ extreme\ ij} := x_{extreme\ ij} + \mu(\gamma) \delta(\gamma, x_{extreme\ ij}) \forall (i,j) \in G$

IV.5 Hitung nilai fungsi tujuan yang dihasilkan setiap set adjacent extreme flow

$Z_\gamma := \sum_{(i,j) \in G} f_{ij}(x_{adjacent\ extreme\ ij}) \forall \gamma$.

IV.6 Tentukan nilai fungsi tujuan terkecil dari semua set adjacent extreme flow

$Z^* := \min \{Z_\gamma \mid \forall \gamma \in \Gamma\}$ dan T^* adalah tree yang terkait dengan Z^* .

STOP.

Subroutine TRESCA (G^k, v, z, γ)

Mencari unique chain antara (v,z) pada tree $-K$

1- Tentukan $\tilde{N} := N^k, \tilde{A} := A^k, \gamma := \{(v,z)\}$. Menuju 2.

2- Tentukan $\tilde{I} := \{i \in \tilde{N} : i \neq v, z \text{ dan hanya ada satu titik dari } g[\tilde{A}] \text{ yang berdampingan dengan } i\}$. Menuju 3.

3- Jika $\tilde{I} := \emptyset$, menuju 4. Jika tidak, pilih satu $i \in \tilde{I}$ dan tentukan

$\tilde{N} := \tilde{N} - \{i\}, \tilde{A} := \tilde{A} - \{(i,j)\}$. ((i,j) menunjukkan ruas (i,j) atau (j,i)).

Menuju 2.

- 4- Set $i := z$. Menuju 5.
- 5- Tentukan titik- j sebagai satu-satunya titik dari $g[\tilde{A}]$ yang berdampingan dengan titik- i dan bukan bagian dari γ . Tentukan $\gamma := \gamma \cup \{(i, j)\}$.
Jika $j := v$, RETURN. Jika tidak, menuju 6.
- 6- Set $i := j$. Menuju 5.

Subroutine CIRCE (G', v, z, Ω, Σ)

Mencari semua cycles yang mungkin terbentuk

Phase Reduksi

- a.1 Tentukan $H := \{i \in N: \text{dimana } (i, j) \in A' \text{ atau } (j, i) \in A'\}$,
 $O(i) := \{(i, j) \in A'\}$, $I(i) := \{(i, j) \in A'\}$,
 $Q := A' - O(v) - I(z) + \{(v, z)\}$. Menuju a.2.
- a.2 Tentukan $P := \{i \in H: \text{dimana } O(i) := \emptyset, \text{ atau } I(i) := \emptyset, \text{ atau } O(i) := \{(i, e)\}$
dan $I(i) := \{(e, i)\}\}$. Jika $P := \emptyset$, menuju a.4. Jika tidak, tentukan
 $H := H - P$, $Q := Q - \{(O(i) \cup I(i): i \in P)\}$ dan menuju a.3.
- a.3 Jika $Q \neq \emptyset$, menuju a.2. Jika tidak RETURN.
- a.4 Jika $(v, z) \in Q$ menuju b.1. Jika tidak, RETURN.

Phase Scanning

- b.1 Tentukan $n_i := \emptyset, i \in H - \Omega$; $n_i := k, \forall i \in N^k, k := 1, 2, \dots, K$;
 $s_1 := z$; $\Sigma := \emptyset$; $\pi(1) := n_z$; $\sigma(k) := \emptyset, k \in \{1, \dots, K\}$ dan $k \neq n_z$:
 $\sigma(n_z) := 1$ jika $n_z \neq 0$; $p := 1$; $i := z$. Menuju b.2.
- b.2 Label titik- i , jika belum berlabel dan perhatikan $O(i)$. Jika $O(i)$ tidak mengandung ruas-ruas tak berlabel, maka RETURN jika $p := 1$ atau set $p := p - 1$ dan menuju b.5 jika $p > 1$. Jika tidak, tentukan (i, j) sebagai ruas tak berlabel dari $O(i)$, beri label dan menuju b.3.
- b.3 Jika $j := v$ menuju b.6. Jika j berlabel atau $n_j := 0$ dan $\pi(p) := n_v \neq \emptyset$,
menuju b.2. Jika tidak, set $p := p + 1$, $\pi(p) := n_j$ dan menuju b.4 jika
 $n_j \neq \emptyset$ atau jika $n_j := \emptyset$, set $s_p := j, i := j$ dan menuju b.2.

- b.4 Jika $\sigma(n_j) \geq 1$ dan $\pi(p-1) \neq n_j$, atau $n_v \neq \emptyset, n_i \neq n_v, \sigma(n_v) \geq 1$, set $p := p-1$ dan menuju b.2. Jika tidak, set $\sigma(n_j) := \sigma(n_j) + 1, s_p := j, i := j$ dan menuju b.2.
- b.5 Jadikan titik- i dan ruas $(i, j) \in O(i)$ tidak berlabel. Jika $n_i \neq \emptyset$, set $\sigma(n_i) := \sigma(n_i) - 1$. Set $i := s_p$ dan menuju b.2.
- b.6 Set $\Sigma := \Sigma \cup \{S\}$, dimana S adalah urutan $\{(v, s_1), (s_1, s_2), \dots, (s_{p-1}, s_p), (s_p, v)\}$ dan menuju b.2.

B.2 Stepwise Penentuan Titik Optimal

(Sumber : Gallo, Sandi dan Sodini, 1980 (telah diolah kembali))

Pengembangan *stepwise* dari solusi Model Alokasi dengan metode Gallo merujuk pada algoritma yang digambarkan pada gambar 3.15 tentang pencarian titik optimum global masalah MCCF.

Variabel luaran program :

Z^* : Nilai fungsi tujuan pada kondisi global optimal

T^* : Destination Spanning Tree pada kondisi global optimal

Asumsi :

- Jaringan berbentuk sumber tunggal
- Uncapacitated warehouse
- Titik asal = titik 1

Step 0 : Inisialisasi

$A' := \emptyset$. Tetapkan nilai awal upper bound : Z^* dan tree T^* terkaitnya (merupakan luaran dari program Penentuan Adjacent Extreme Flow).

Pilih satu titik tujuan p sembarang, $p \in G$

Step 1 : Tentukan semua link-in terhadap titik- p

$P(p) := \{(i, p) : (i, p) \notin A'\}$

Step 2 : Tentukan nilai penalti dari ruas (i, p)

(lihat persamaan 3.38~ 3.41)

Step 3: Sorting ruas (i,p)

Urut semua ruas (i,p) atas nilai penalti-nya masing-masing.

Step 4 : Set $P'(p)$

Tentukan sub himpunan dari $P(p)$:

$$P'(p) := \{(i,p) : (i,p) \in P(p) \text{ dan } i \notin T''\}$$

Step 5 : Pilih ruas (i,p)

Jika $P'(p) := 0$, menuju step 8.

Jika tidak, pilih (i,p) elemen pertama dari $P'(p)$ dan set $A' := A' \cup \{(i,p)\}$.

Step 6 : Tentukan lowerbound $Z(A')$ pada $T(A')$

$$Z(A') := f(x(T')) + f(x(T'')) + \min \{cy : y \in Y\}$$

(lihat persamaan 3.30~3.37)

(Solusi dari $\min \{cy : y \in Y\}$ menggunakan stepwise program Model Alokasi)

Jika $Z(A') \geq Z^*$, menuju step 8

Step 7 : Updating

Jika $i \in T' \cup \{1\}$ dan $D \subset N(A')$, set $Z^* := Z(A')$, $T^* := A'$, menuju step 8.

Jika $i \in T' \cup \{1\}$ dan $D \not\subset N(A')$, set $p := d_r$, dimana d_r adalah titik tujuan pertama yang bukan merupakan anggota dari $N(A')$ dan menuju step 1.

Jika $i \notin T' \cup \{1\}$, set $p := i$ dan menuju step 1.

Step 8 : Pembatalan penyertaan (i,j)

Jika $A' := \emptyset$, menuju step 9.

Jika tidak, jadikan (i,j) sebagai ruas terakhir yang disertakan dalam A' .

Set $A' := A' - \{(i,j)\}$, $P'(j) := P'(j) - \{(i,j)\}$, $p := j$, dan menuju step 5.

Step 9 : Nilai global optimal

Tentukan (Z^*, T^*) sebagai nilai fungsi tujuan dan Destination Spanning Tree dari titik global optimal. **STOP.**

6.7.1.2 Stepwise dari Solusi Model Lokasi

Pengembangan *stepwise* dari solusi Model Lokasi merujuk pada algoritma yang digambarkan pada gambar 6.6 tentang proses pemilihan lokasi gudang untuk kasus *capacitated warehouses*.

Variabel luaran :

Bila hanya ada gudang distribusi :

Z_{loc} : Nilai fungsi tujuan

DC_WH_{opened} : Nomor gudang distribusi yang harus dibuka

Bila hanya ada gudang konsolidasi :

Z_{loc} : Nilai fungsi tujuan

CC_WH_{opened} : Nomor gudang konsolidasi yang harus dibuka

Bila ada gudang konsolidasi dan gudang distribusi :

\hat{Z}_{loc} : Nilai fungsi tujuan

DC_WH_{opened} : Nomor gudang distribusi yang harus dibuka

CC_WH_{opened} : Nomor gudang konsolidasi yang harus dibuka

Step 0 : *Inisialisasi*

$WHlabel_w := 0 \forall w \in \text{warehouse set}; Linklabel_{ij} := 1 \forall (i, j) \in RJ,$

$(i, j) \notin \text{warehouse link};$

$Linklabel_{ij} := 0 \forall (i, j) \in RJ, (i, j) \in \text{warehouse link};$

$r_{ij} := \infty \forall (i, j) \in RJ; TotalCapWH := 0; TotalWHcost := 0;$

$TotalCapDCWH := 0; TotalDCWHcost := 0; Z''(0) := \infty; \hat{Z}(0) := \infty;$

$t := 0.$

Jika hanya ada gudang distribusi, menuju step 1

Jika tidak, jika hanya ada gudang konsolidasi, menuju step 11

Jika tidak, menuju step 18

Step 1 : *Bila hanya ada gudang distribusi*

$t := t + 1; w := 0; OV := \infty$

Step 2 : Cek setiap kombinasi pembukaan gudang distribusi

$w := w + 1$; $Linklabel_{ij} := 0 \forall (i,j) \in RJ, (i,j) \in \text{warehouse link}$,
 (i,j) bukan warehouse link dari $DC_WH_{opened}(d)$, $d := 1, \dots, t-1$. Jika
 $WHlabel_s := 1 \forall s \in DC_warehouse \text{ set}$, $Z''(t) := OV$, menuju step
 9. Jika tidak, jika $WHlabel_w := 1$ dan $w \neq N_{cc}$, menuju step 2, dan
 jika $WHlabel_w := 1$ dan $w = N_{cc}$, menuju step 4. Jika tidak, buka
 gudang distribusi ke- w . $Linklabel_{ij} := 1$ bila (i,j) adalah warehouse link
 dari gudang- w

Step 3 : Hitung nilai fungsi tujuan

Menuju **stepwise program Model Alokasi** untuk mendapatkan nilai- Z
 untuk graph yang terbentuk

$$Z' := Z + WHcost_w + TotalWHcost$$

Step 4 : Komparasi nilai fungsi tujuan akibat pembukaan gudang- w pada iterasi- t

Jika $Z' < OV$, maka $OV := Z'$, $WOV := w$. Jika $w := N_{DC}$ menuju
 step 5. Jika $w \neq N_{DC}$, menuju step 2. Jika $Z' \geq OV$ dan $w := N_{DC}$,
 menuju step 5. Jika tidak, menuju step 2.

Step 5 : Tetapkan keputusan lokasi untuk iterasi - t

$$Z''(t) := OV , \quad DC_WH_{opened}(t) := WOV$$

Step 6 : Cek kapasitas gudang yang dibuka

Jika total suplai \geq total permintaan,

Jika $TotalCapWH < total \text{ permintaan}$, menuju step 7. Jika tidak,
 menuju step 9.

Jika total suplai $<$ total permintaan,

jika $TotalCapWH < total \text{ suplai}$, menuju step 7. Jika tidak, menuju step 9.

Step 7 : Menetapkan WOV sebagai gudang distribusi yang dibuka pada iterasi- t

$WHlabel_{WOV} := 1$; $Linklabel_{ij} := 1$ bila (i,j) adalah warehouse link

dari gudang- WOV ; $TotalCapWH := TotalCapWH + WHcap_{WOV}$;

$TotalWHcost := TotalWHcost + WHcost_{WOV}$;

$r_{ij} := WHcap_{WOV}$ bila (i,j) adalah warehouse link dari gudang- WOV

Step 8 : Cek kapasitas gudang setelah gudang WOV dibuka

Jika $total\ suplai \geq total\ permintaan$,

jika $TotalCapWH < total\ permintaan$, menuju step 1. Jika tidak,
 $r_{ij} := WHcap_d \forall (i,j) \in warehouse\ link$, d adalah nomor gudang yang diwakili oleh ruas (i,j) , menuju step 1.

Jika $total\ suplai < total\ permintaan$, jika $TotalCapWH < total\ suplai$, menuju step 1. Jika tidak, $r_{ij} := WHcap_d \forall (i,j) \in warehouse\ link$, d adalah nomor gudang yang diwakili oleh ruas (i,j) , menuju step 1.

Step 9 : Komparasi nilai fungsi tujuan dari iterasi- t dengan $(t-1)$

Jika $Z''(t) \geq Z''(t-1)$, $Z_{loc} := Z''(t-1)$,

Gudang distribusi yang dibuka adalah :

$DC_WH_{opened}(v), v = 1, \dots, (t-1)$, **STOP**. Jika tidak, menuju step 10

Step 10 : Menetapkan WOV sebagai gudang distribusi yang dibuka pada iterasi terakhir

$WHlabel_{WOV} := 1$. $Linklabel_{ij} := 1$ bila (i,j) adalah warehouselink

dari gudang-WOV; $TotalCapWH := TotalCapWH + WHcap_{WOV}$;

$TotalWHcost := TotalWHcost + WHcost_{WOV}$;

$r_{ij} := WHcap_{WOV}$ bila (i,j) adalah warehouselink dari gudang-WOV .

Menuju step 1

Step 11 : Bila hanya ada gudang konsolidasi

$t := t + 1$

$r_{ij} := WHcap_c \forall c \in consolidation\ warehouse\ set$, bila (i,j) adalah warehouselink dari gudang konsolidasi- c ; $w := 0$; $OV := \infty$

Step 12 : Cek setiap kombinasi pembukaan gudang konsolidasi

$w := w + 1$; $Linklabel_{ij} := 0 \forall (i,j) \in RJ, (i,j) \in warehouse\ link$, (i,j) bukan warehouselink dari $CC_WH_{opened}(c), c := 1, \dots, t-1$.

Jika $WHlabel_s := 1 \forall s \in CC_warehouse\ set$, $Z''(t) := OV$, menuju step 16. Jika tidak, jika $WHlabel_w := 1$ dan $w \neq N_{cc}$, menuju step 12, dan jika $WHlabel_w := 1$ dan $w = N_{cc}$, menuju step 14.

Jika tidak, buka gudang konsolidasi ke- w ; $Linklabel_{ij} := 1$ bila (i,j) adalah warehouselink dari gudang- w

Step 13 : Hitung nilai fungsi tujuan

Menuju **stepwise program Model Alokasi** untuk mendapatkan nilai-Z untuk graph yang terbentuk

$$Z' := Z + WHcost_w + TotalWHcost$$

Step 14 : Komparasi nilai fungsi tujuan akibat pembukaan gudang-w pada iterasi-t

Jika $Z' < OV$, maka $OV := Z'$, $WOV := w$. Jika $w := N_{CC}$ menuju step 15. Jika $w \neq N_{CC}$, menuju step 12. Jika $Z' \geq OV$ dan $w := N_{CC}$, menuju step 15. Jika tidak, menuju step 12.

Step 15 : Tetapkan keputusan lokasi untuk iterasi - t

$$Z''(t) := OV , CC_WH_{opened}(t) := WOV ,$$

Step 16 : Komparasi nilai fungsi tujuan dari iterasi- t dengan (t-1)

Jika $Z''(t) \geq Z''(t-1)$, menuju step 16 a. Jika tidak, menuju step 17.

Step 16a : Cek fungsi tujuan bila semua gudang konsolidasi ditutup

$Linklabel_{ij} := 0 \forall (i,j)$, bila (i,j) adalah warehouselink dari semua gudang konsolidasi

Step 16b : Hitung nilai fungsi tujuan

Menuju **stepwise program Model Alokasi** untuk mendapatkan nilai-Z untuk graph yang terbentuk

$$Z' := Z$$

Step 16c : Komparasi nilai fungsi tujuan akibat penutupan semua gudang konsolidasi

Jika $Z' < Z''(t-1)$, maka $OV := Z'$, $WOV := \emptyset$; $Z_{loc} := OV$, tidak ada gudang konsolidasi yang dibuka. Jika tidak , $Z_{loc} := Z''(t-1)$,

Gudang konsolidasi yang dibuka adalah :

$$CC_WH_{opened}(v) , v = 1, \dots (t-1), \text{STOP.}$$

Step 17 : Menetapkan WOV sebagai gudang konsolidasi yang dibuka pada iterasi terakhir

$WHlabel_{WOV} := 1$; $Linklabel_{ij} := 1$ bila (i,j) adalah warehouselink dari gudang-WOV; $TotalWHcost := TotalWHcost + WHcost_{WOV}$.

Menuju step 11

Step 18 : Bila ada gudang konsolidasi dan gudang distribusi

$$t := t + 1$$

$r_{ij} := WHcap_c \quad \forall c \in \text{consolidation warehouse set}$, bila (i,j) adalah
warehouselink dari gudang konsolidasi- c ; $w := 0$; $OV := \infty$

Step 19 : Cek setiap kombinasi pembukaan gudang konsolidasi

$$w := w + 1 ;$$

$Linklabel_{ij} := 0 \quad \forall (i,j) \in RJ, (i,j) \in CC_warehouselink$, (i,j)
bukan warehouselink dari $CC_WH_{opened}(c), c := 1, \dots, t-1$.

Jika $WHlabel_s := 1 \quad \forall s \in CC_warehouse \text{ set}$, $Z''(t) := OV$, menuju
step 23. Jika tidak, jika $WHlabel_w := 1$ dan $w \neq N_{cc}$, menuju step
19, dan jika $WHlabel_w := 1$ dan $w = N_{cc}$, menuju step 21. Jika
tidak, buka gudang konsolidasi ke- w .
 $Linklabel_{ij} := 1$ bila (i,j) adalah warehouselink dari gudang
konsolidasi- w .

Step 20 : Hitung nilai fungsi tujuan

Menuju step 25 untuk mendapatkan nilai Z_{loc}

$$Z'' := Z_{loc} + WHcost_w + TotalWHcost$$

Step 21 : Komparasi nilai fungsi tujuan akibat pembukaan gudang konsolidasi- w pada iterasi- t

Jika $Z'' < OV$, maka $OV := Z''$, $WOV := w$. Jika $w := N_{CC}$ menuju
step 22. Jika $w \neq N_{CC}$, menuju step 19. Jika $Z'' \geq OV$ dan
 $w := N_{DC}$, menuju step 22.

Step 22 : Tetapkan keputusan lokasi untuk iterasi - t

$$\hat{Z}(t) := OV, \quad CC_WH_{opened}(t) := WOV,$$

$$DC_WH_{opened}(t) := DC'_WH_{opened}(v), v = 1, \dots, (s-1)$$

Step 23 : Komparasi nilai fungsi tujuan dari iterasi- t dengan $(t-1)$

Jika $\hat{Z}(t) \geq \hat{Z}(t-1)$, menuju step 23 a. Jika tidak, menuju step 24.

Step 23a : Cek fungsi tujuan bila semua gudang konsolidasi ditutup

$Linklabel_{ij} := 0 \quad \forall (i,j)$, bila (i,j) adalah warehouselink dari semua
gudang konsolidasi

Step 23b : Hitung nilai fungsi tujuan

Menuju step 25 untuk mendapatkan nilai Z_{loc}

$$Z'' := Z_{loc}$$

Step 23c : Komparasi nilai fungsi tujuan akibat penutupan semua gudang konsolidasi

Jika $Z'' < \hat{Z}(t-1)$, maka $OV := Z''$, $WOV := \emptyset$. $\hat{Z}_{loc} := OV$, tidak ada gudang konsolidasi yang dibuka.

Jika tidak, $\hat{Z}_{loc} := \hat{Z}(t-1)$,

Gudang konsolidasi yang dibuka adalah :

$$CC_WH_{opened}(v), v = 1, \dots, (t-1),$$

Gudang distribusi yang dibuka adalah : $DC_WH_{opened}(t-1)$, **STOP**.

Step 24 : Menetapkan WOV sebagai gudang konsolidasi yang dibuka pada iterasi terakhir

$WHlabel_{WOV} := 1$; $Linklabel_{ij} := 1$ bila (i,j) adalah warehouselink dari gudang-WOV; $TotalWHcost := TotalWHcost + WHcost_{WOV}$.

Menuju step 18

Step 25 : Cek kombinasi gudang distribusi

$$s := 0$$

Step 26 : Inisialisasi

$$s := s + 1; q := 0; OV_1 := \infty$$

Step 27 : Cek setiap kombinasi pembukaan gudang distribusi

$$q := q + 1;$$

$$Linklabel_{ij} := 0 \quad \forall (i,j) \in RJ, (i,j) \in DC_warehouselink,$$

(i,j) bukan warehouselink dari $DC'_WH_{opened}(d)$, $d := 1, \dots, s-1$.

Jika $WHlabel_v := 1 \quad \forall v \in DC_warehouse\ set$, $Z''(s) := OV_1$,

menuju step 34. Jika tidak, jika $WHlabel_q := 1$ dan $q \neq N_{cc}$, menuju

step 27, dan jika $WHlabel_q := 1$ dan $q = N_{cc}$, menuju step 29. Jika

tidak, buka gudang distribusi ke- q . $Linklabel_{ij} := 1$ bila (i,j) adalah warehouselink dari gudang distribusi- q .

Step 28 : Hitung nilai fungsi tujuan

Menuju *stepwise* program Model Alokasi untuk mendapatkan nilai-Z untuk graph yang terbentuk

$$Z' := Z + DC_WHcost_q + TotalDCWHcost$$

Step 29 : Komparasi nilai fungsi tujuan akibat pembukaan gudang distribusi-q pada iterasi-s

Jika $Z' < OV_1$, maka $OV_1 := Z'$, $WOV_1 := q$. Jika $q := N_{DC}$ menuju step 30. Jika $q \neq N_{DC}$, menuju step 27. Jika $Z' \geq OV_1$ dan $q := N_{DC}$, menuju step 30. Jika tidak, menuju step 27.

Step 30 : Tetapkan keputusan lokasi gudang distribusi untuk iterasi - s

$$Z''(s) := OV_1, DC'_{WH_{opened}}(s) := WOVI_1,$$

Step 31 : Cek kapasitas gudang distribusi yang dibuka

Jika total suplai \geq total permintaan,
jika $TotalCapDCWH < total\ permintaan$, menuju step 32. Jika tidak, menuju step 34. Jika total suplai $<$ total permintaan, jika $TotalCapDCWH < total\ suplai$, menuju step 32. Jika tidak, menuju step 34.

Step 32 : Menetapkan $WOVI_1$ sebagai gudang distribusi yang dibuka pada iterasi - s

$WHlabel_{WOVI_1} := 1$; $Linklabel_{ij} := 1$ bila (i,j) adalah warehouselink dari gudang- $WOVI_1$;

$$TotalCapDCWH := TotalCapDCWH + WHcap_{WOVI_1};$$

$$TotalDCWHcost := TotalDCWHcost + WHcost_{WOVI_1};$$

$r_{ij} := WHcap_{WOVI_1}$ bila (i,j) adalah warehouselink dari gudang- $WOVI_1$

Step 33 : Cek kapasitas setelah gudang $WOVI_1$ dibuka

Jika total suplai \geq total permintaan,
jika $TotalCapDCWH < total\ permintaan$, menuju step 26. Jika tidak,
 $r_{ij} := WHcap_d \quad \forall (i,j) \in \text{warehouse link}$, d adalah nomor gudang yang diwakili oleh ruas (i,j) , menuju step 26.

Jika total suplai $<$ total permintaan,

jika $TotalCapDCWH < total\ suplai$, menuju step 26. Jika tidak, $r_{ij} := WHcap_d \forall (i,j) \in DC_warehouse\ link$, d adalah nomor gudang yang diwakili oleh ruas (i,j) , menuju step 26 .

Step 34 : Komparasi nilai fungsi tujuan dari iterasi- s dengan $(s-1)$

Jika $Z''(s) \geq Z''(s-1)$, $Z_{loc} := Z''(s-1)$,

Gudang distribusi yang dibuka adalah :

$DC'_{WH_{opened}}(v)$, $v = 1, \dots (s-1)$, kembali ke step 20. Jika tidak, menuju step 35.

Step 35 : Menetapkan WOV_1 sebagai gudang distribusi yang dibuka pada iterasi terakhir

$WHlabel_{WOV_1} := 1$; $Linklabel_{ij} := 1$ bila (i,j) adalah warehouselink dari gudang- WOV_1 ;

$TotalCapDCWH := TotalCapDCWH + WHcap_{WOV_1}$;

$TotalDCWHcost := TotalDCWHcost + WHcost_{WOV_1}$;

$r_{ij} := WHcap_{WOV_1}$ bila (i,j) adalah warehouselink dari gudang- WOV_1 .

Menuju step 25

6.7.2 Pengembangan Source Code

Untuk membantu penyelesaian masalah Model Lokasi dan Model Alokasi sebagaimana dijelaskan pada bagian sebelumnya, pada penelitian disertasi ini dikembangkan pula program aplikasi. Aplikasi menggunakan bahasa pemrograman Fortran 90.

Berdasarkan permasalahan utama dari penelitian ini, yaitu Model Lokasi, beserta pengembangannya lebih lanjut sebagaimana dijelaskan hingga tahap ini, program aplikasi yang dikembangkan dikelompokkan sebagai berikut (tabel 6.2) :

Tabel 6. 2 Pengelompokkan modul dari program aplikasi untuk PBM

Masalah	Modul	Keterangan
Model Lokasi	Fungsi Concave Dilinierisasi - Kapasitas Dibatasi	Dapat digunakan untuk kasus kapasitas tidak dibatasi
	Fungsi Concave – Kapasitas Tidak Dibatasi	
Model Alokasi	Fungsi Concave Dilinierisasi - Kapasitas Dibatasi	Dapat digunakan untuk kasus kapasitas tidak dibatasi
	Fungsi Concave – Kapasitas Tidak Dibatasi	

6.7.2.1 Modul Model Lokasi (Fungsi Concave Dilinierisasi – Kapasitas Dibatasi)

Modul ini berfungsi untuk menyelesaikan masalah lokasi (*location problem*) untuk kasus fungsi biaya *concave* yang disederhanakan menjadi fungsi linier (linierisasi tunggal maupun bertahap) dan kapasitas gudang yang dibatasi. Namun modul ini juga dapat dimanfaatkan untuk menyelesaikan kasus yang sama tetapi dengan kondisi kapasitas gudang yang tidak dibatasi. Bentuk jaringan yang digunakan adalah multi sumber.

Taksonomi dari modul Model Lokasi (Linierisasi dan Kapasitas Dibatasi) dijelaskan pada gambar 6.15.

PROGRAM : LOCATION MODEL (*Capacitated - Linearization – Product based Model*)

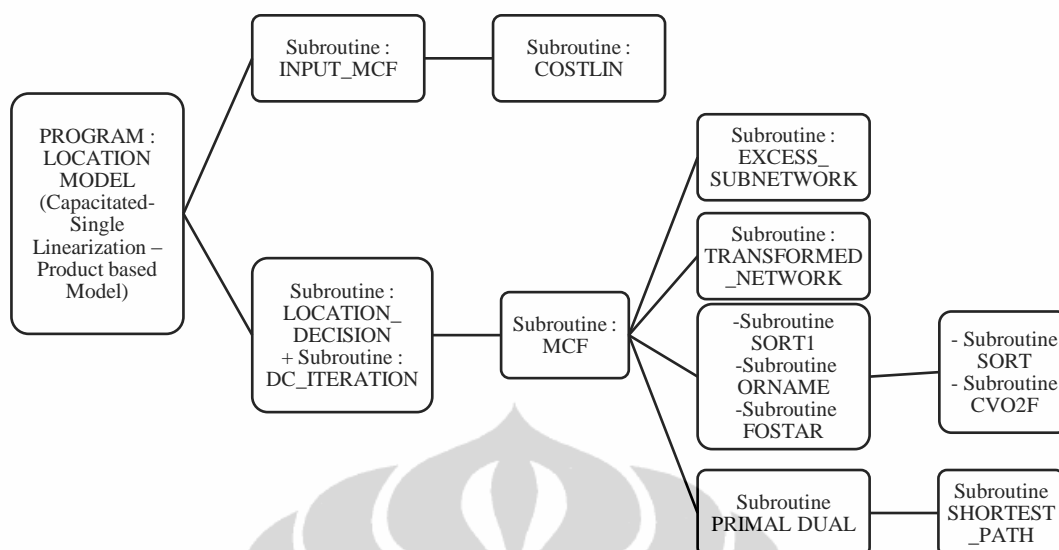
Fungsi : Menentukan fasilitas/gudang yang perlu dibuka/ditutup untuk mencapai nilai fungsi tujuan terkecil

Subroutine INPUT_MCF

Fungsi : Sebagai data masukan (*input*) untuk subroutine MCF

Data masukan meliputi :

- Metode linierisasi yang dipilih (linierisasi tunggal atau linierisasi bertahap)
- Jumlah titik dan ruas dari RJ , jumlah jenis pengguna, jumlah jenis komoditas, jumlah gudang, jumlah pengecer, jumlah pabrik.



Gambar 6.15 Taksonomi modul Model Lokasi
(Linierisasi dan Kapasitas Dibatasi)

- Nomor titik awal dan akhir ruas
- Parameter fungsi biaya di ruas
- Jenis eksklusifitas peruntukan ruas (ruas subsidi, ruas komersial atau ruas tidak eksklusif)
- Nomor gudang dikaitkan dengan nomor ruas
- Jenis titik (sebagai titik sumber , titik terminal atau titik intermediate , atau sebagai titik pabrik ,titik pengecer atau lainnya)
- Biaya tetap fasilitas untuk tiap gudang serta jenis gudang (gudang konsolidasi atau gudang distribusi)
- Kapasitas gudang
Untuk kasus kapasitas gudang yang tidak dibatasi, nilai kapasitas gudang dibuat sedemikian besarnya (tak hingga)
- Kapasitas pabrik untuk memproduksi tiap jenis komoditas
- Permintaan terhadap tiap jenis komoditas dan jenis pengguna pada tiap titik pengecer

Subroutine COSTLIN

Fungsi : Untuk melinierisasi fungsi biaya *concave*

Linierisasi menggunakan nilai bawah arus di ruas (*lower bound*) dan titik batas atas (*upper bound*) dari fungsi *concave* sebagaimana dijelaskan pada sub bab 6.5.1.

Subroutine LOCATION_DECISION

Fungsi : Proses pemilihan gudang yang akibat pembukaannya dapat memperkecil nilai fungsi tujuan

Pada subroutine ini diberikan pilihan terhadap jenis eselonisasi jaringan, yaitu :

- Jaringan dua tahap , hanya ada gudang konsolidasi
- Jaringan dua tahap , hanya ada gudang distribusi
- Jaringan tiga tahap , dengan gudang konsolidasi dan gudang distribusi

Pada subroutine ini proses pengecekan nilai fungsi tujuan difokuskan pada kombinasi pilihan gudang konsolidasi saja atau gudang distribusi saja, sehingga untuk jenis jaringan yang terdiri dari gudang konsolidasi dan gudang distribusi proses pengecekan kombinasi gudang distribusi dilakukan pada subroutine DC_ITERATION.

Subroutine MCF

Fungsi : Menentukan arus optimal dari setiap Produk Sub-RJ yang sudah ditransformasi beserta nilai fungsi tujuan yang dihasilkannya.

Subroutine ini terdiri dari :

- Subroutine EXCESS_SUBNETWORK

Fungsi : Membentuk sub-RJ yang merepresentasikan keadaan suplai berlebih (*excess supply*) atau permintaan berlebih (*excess demand*) (lihat penjelasan pada sub bab 6.4.2).

- Subroutine TRANSFORMED_NETWORK

Fungsi : Membentuk Transformed Network dari RJ yang telah dilengkapi dengan *excess subnetwork* (lihat penjelasan tentang Transformed Network pada sub bab 3.3.3).

- ***Subroutine SORT1 , subroutine ORNAME dan subroutine FOSTAR***

Fungsi : Ketiga subroutine ini berfungsi dalam mengubah format penamaan jaringan asal menjadi bentuk *forward star*, sehingga dengan format ini proses komputasi menjadi lebih efisien.

Subroutine SORT dan subroutine CVO2F merupakan bagian dari proses perubahan format menjadi format forward star.

- ***Subroutine PRIMAL_DUAL***

Fungsi : Melakukan pencarian arus optimal berdasarkan prinsip Minimum Cost Flow beserta nilai fungsi tujuannya.

Subroutine ini merupakan program aplikasi dari algoritma Primal_Dual (lihat gambar 3.11).

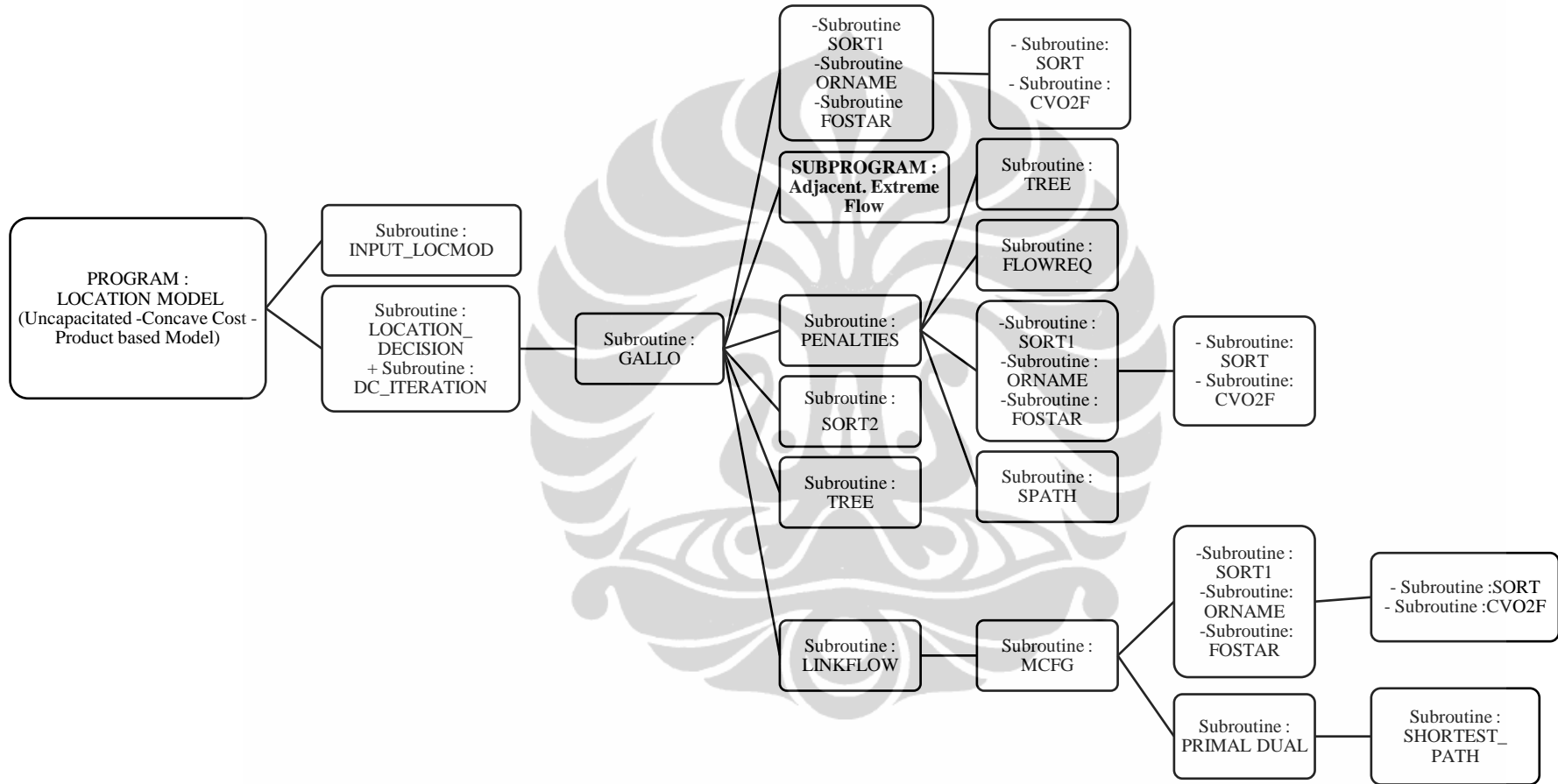
Pada subroutine ini terdapat ***subroutine SHORTEST_PATH***, yang berfungsi untuk menentukan *shortest path* dari titik sumber ke titik terminal , dimana arus dikirimkan secara bertahap dengan prinsip *maximum flow* melalui path ini. Luaran (*output*) dari subroutine PRIMAL-DUAL adalah nilai fungsi tujuan dan arus optimal beserta sistem alokasinya.

6.7.2.2 Modul Model Lokasi (Fungsi Concave - Kapasitas Tidak Dibatasi)

Modul ini berfungsi untuk menyelesaikan masalah lokasi untuk kasus fungsi biaya *concave* dan kapasitas gudang yang dibatasi. Selain itu, modul ini diperuntukkan bagi jaringan yang berbentuk sumber tunggal. Oleh karenanya, modul ini sesungguhnya merupakan program aplikasi dari pemrograman tingkat dua dari PDT. Taksonomi dari modul Model Lokasi (Fungsi Concave – Kapasitas Tidak Dibatasi) dijelaskan pada gambar 6.16.

PROGRAM : LOCATION MODEL (Uncapacitated – Concave Cost –Product based Model)

Fungsi : Menentukan fasilitas/gudang yang perlu dibuka/ditutup untuk mencapai nilai fungsi tujuan terkecil



Gambar 6.16 Taksonomi modul Model Lokasi (Fungsi Concave – Kapasitas Tidak Dibatasi)

Data masukan meliputi :

- Jumlah titik dan ruas dari RJ , jumlah jenis pengguna, jumlah jenis komoditas, jumlah gudang, jumlah pengecer, jumlah pabrik.
- Nomor titik awal dan akhir ruas
- Parameter fungsi biaya di ruas
- Jenis eksklusifitas peruntukan ruas (ruas subsidi, ruas komersial atau ruas tidak eksklusif)
- Nomor gudang dikaitkan dengan nomor ruas
- Jenis titik (sebagai titik sumber , titik terminal atau titik intermediate , atau sebagai titik pabrik ,titik pengecer atau lainnya)
- Biaya tetap fasilitas untuk tiap gudang serta jenis gudang (gudang konsolidasi atau gudang distribusi)
- Kapasitas gudang
Untuk kasus kapasitas gudang yang tidak dibatasi, nilai kapasitas gudang dibuat sedemikian besarnya (tak hingga)
- Kapasitas pabrik untuk memproduksi tiap jenis komoditas
- Permintaan terhadap tiap jenis komoditas dan jenis pengguna pada tiap titik pengecer
- Level of Accuracy : nilai terbesar 100. Pada jaringan berukuran besar, disarankan menggunakan level of accuracy 99.90.

Subroutine LOCATION_DECISION

Fungsi : Proses pemilihan gudang yang akibat pembukaannya dapat memperkecil nilai fungsi tujuan

Pada subroutine ini diberikan pilihan terhadap jenis eselonisasi jaringan, yaitu :

- Jaringan dua tahap , hanya ada gudang konsolidasi
- Jaringan dua tahap , hanya ada gudang distribusi
- Jaringan tiga tahap , dengan gudang konsolidasi dan gudang distribusi

Pada subroutine ini proses pengecekan nilai fungsi tujuan difokuskan pada kombinasi pilihan gudang konsolidasi saja atau gudang distribusi saja, sehingga untuk jenis jaringan yang terdiri dari gudang konsolidasi dan gudang distribusi

proses pengecekan kombinasi gudang distribusi dilakukan pada subroutine DC_ITERATION.

Subroutine GALLO

Fungsi : Menentukan arus optimal dari masalah MCMF melalui pembentukan Destination Spanning Tree

Subroutine SORT1 , subroutine ORNAME dan subroutine FOSTAR

Fungsi : Ketiga subroutine ini berfungsi dalam mengubah format penamaan jaringan asal menjadi bentuk *forward star*, sehingga dengan format ini proses komputasi menjadi lebih efisien.

Subroutine SORT dan subroutine CVO2F merupakan bagian dari proses perubahan format menjadi format forward star.

Subroutine PENALTIES

Fungsi : Menghitung nilai penalti dari setiap ruas yang masuk ke titik-*p*

Subroutine PENALTIES terdiri dari :

- ***Subroutine TREE***

Fungsi : Membentuk Destination Spanning Tree

- ***Subroutine FLOWREQ***

Fungsi : Menentukan kebutuhan arus di titik (*node flow requirement*) dan biaya di ruas dalam rangka menentukan penalti untuk tiap ruas

- ***Subroutine SPATH***

Fungsi : Menentukan *shortest path* dari titik sumber ke titik tertentu

Subroutine SORT2

Fungsi : Mengurut ruas-ruas yang masuk ke titik-*p* berdasarkan nilai penalti-nya.

Subroutine LINKFLOW

Fungsi : Menentukan *extreme flow* akibat disertakannya link (*i,p*) pada *current tree* serta batas bawah (*lower bound*) dari nilai fungsi tujuan $Z(A')$

Subroutine MCFG

Fungsi : Menentukan arus optimal dari masalah MCF dari suatu sub himpunan A beserta nilai fungsi tujuannya akibat adanya relaksasi linier.

Subroutine PRIMAL_DUAL

Fungsi : Melakukan pencarian arus optimal berdasarkan prinsip Minimum Cost Flow beserta nilai fungsi tujuannya.

Subroutine ini merupakan program aplikasi dari algoritma Primal_Dual (lihat gambar 3.11).

Pada subroutine ini terdapat *subroutine SHORTEST_PATH*, yang berfungsi untuk menentukan *shortest path* dari titik sumber ke titik terminal, dimana arus dikirimkan secara bertahap dengan prinsip *maximum flow* melalui path ini.

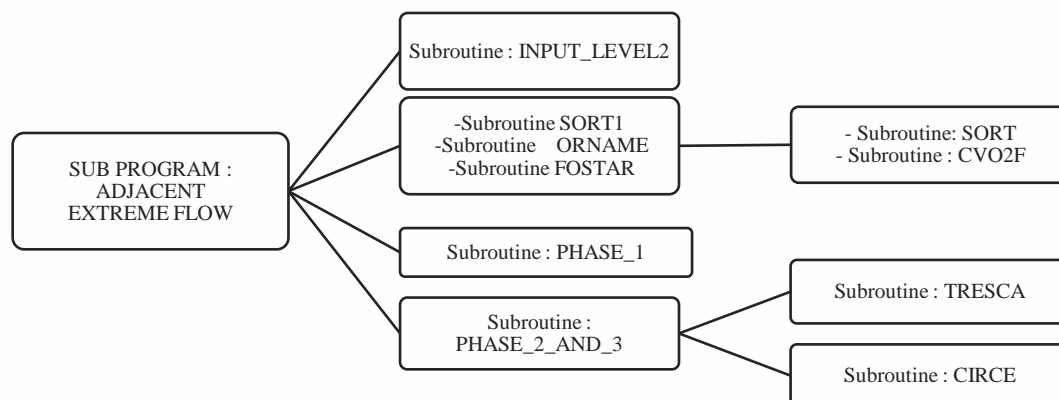
Luaran (*output*) dari subroutine PRIMAL-DUAL adalah nilai fungsi tujuan untuk fungsi yang mengalami relaksasi linier.

SUB PROGRAM : ADJACENT EXTREME FLOW

Fungsi : Menentukan *extreme flow* yang berdekatan (*adjacent*) dengan suatu *extreme flow* tertentu dan memberikan nilai fungsi tujuan yang lebih baik.

Luaran dari program Adjacent Extreme Flow digunakan sebagai batas atas (*upper bound*) fungsi tujuan (nilai Z^* dan T^*) dalam pencarian solusi masalah MCMF pada subroutine GALLO (lihat penjelasan pada sub bab 3.4.2.2).

Taksonomi dari modul Adjacent Extreme Flow dijelaskan pada gambar 6.17.



Gambar 6.17 Taksonomi modul Adjacent Extreme Flow

Subroutine INPUT_LEVEL2

Fungsi : Sebagai data masukan (*input*) untuk sub program *Adjacent Extreme Flow*

Data masukan meliputi :

- Jumlah titik dan ruas
- Titik awal dan akhir setiap ruas
- *Initial Extreme Flow*
- Parameter fungsi biaya di ruas

Subroutine PHASE_1

Fungsi : Membentuk *tree* dari *graph* yang mengandung ruas-ruas $A_1(x)$

Subroutine PHASE_2_AND_3

Fungsi :

Phase II : Membentuk *unique chain* antara titik z dan v pada *tree* tertentu yang terkait dengan (v,z) . *Unique chain* tersebut merupakan *cycle* yang memenuhi teorema 2 dari Gallo.

Phase III : Mencari *cycles* pada $A_2(x)$ yang memenuhi teorema 2.

Luaran dari subroutine PHASE_2_AND_3 adalah semua set *extreme flows* yang berdampingan dengan *initial extreme flow* , berikut nilai fungsi tujuan yang dihasilkannya.

Subroutine TRESCA

Fungsi : Mencari *unique chain* antara (v,z) pada *tree-K*

Subroutine CIRCE

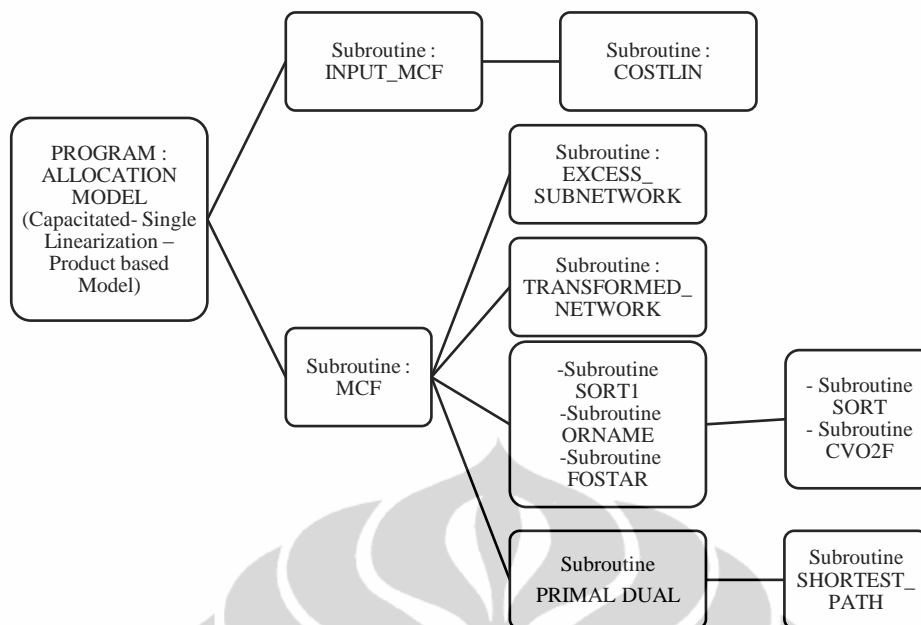
Fungsi : Mencari semua *cycle* yang mungkin terbentuk

6.7.2.3 Modul Model Alokasi (Fungsi Concave Dilinierisasi – Kapasitas**Dibatasi**

Modul ini berfungsi untuk menyelesaikan masalah alokasi (*allocation problem*) untuk kasus fungsi biaya *concave* yang disederhanakan menjadi fungsi linier (linierisasi tunggal atau bertahap) dan kapasitas gudang yang dibatasi. Namun modul ini juga dapat dimanfaatkan untuk menyelesaikan kasus yang sama tetapi dengan kondisi kapasitas gudang yang tidak dibatasi. Bentuk jaringan yang digunakan adalah multi sumber. Berdasarkan karakteristik tersebut, modul ini sesungguhnya juga merupakan program aplikasi dari pemrograman tingkat satu dari PDT.

Taksonomi dari modul Model Alokasi (Linierisasi – Kapasitas Dibatasi) dijelaskan pada gambar 6.18.

Program aplikasi dari modul ini pada dasarnya adalah sama dengan aplikasi dari modul Model Lokasi (Linierisasi – Kapasitas Dibatasi). Sesuai penjelasan pada sub bab 6.6.1, perbedaan pada keduanya adalah bahwa pada modul ini tidak digunakan subroutine `LOCATION_DECISION` maupun subroutine `DC_ITERATION` karena keberadaan titik-titik gudang pada modul ini dianggap telah tetap (*fixed*).



Gambar 6.18 Taksonomi modul Model Alokasi
(Linierisasi – Kapasitas Dibatasi)

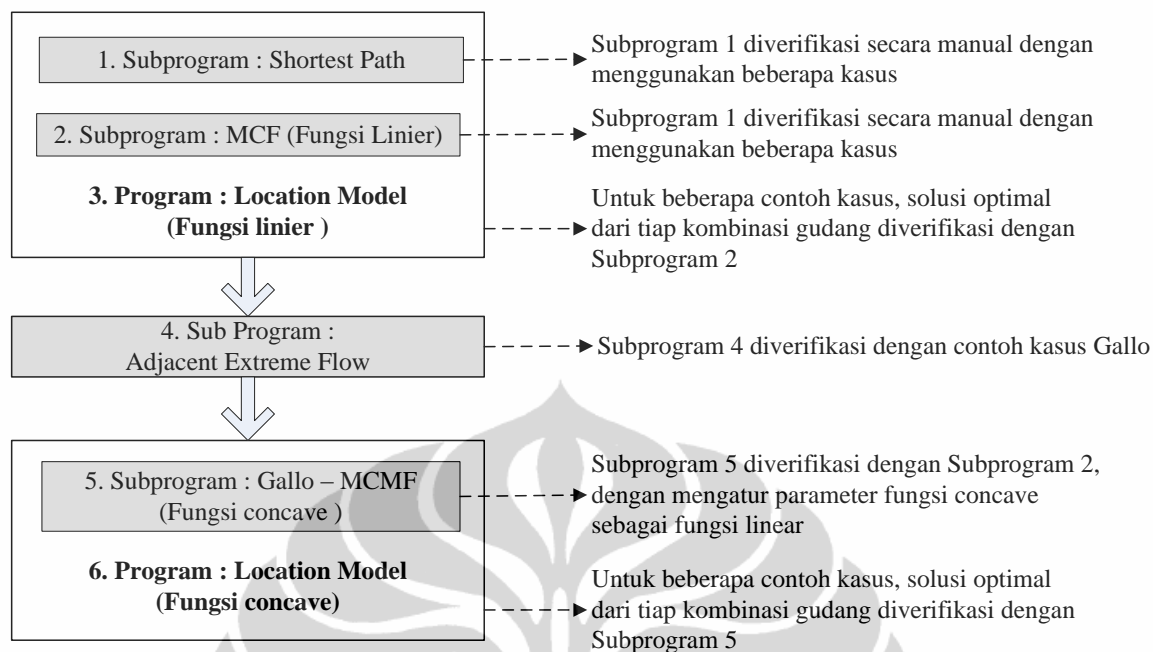
6.7.2.4 Modul Model Alokasi (Fungsi Concave – Kapasitas Tidak Dibatasi)

Program aplikasi dari modul ini pada dasarnya sama dengan aplikasi dari modul Model Lokasi (Fungsi Concave – Kapasitas Tidak Dibatasi), hanya saja pada modul ini tidak digunakan subroutine `LOCATION_DECISION` maupun subroutine `DC_ITERATION` karena keberadaan titik-titik gudang pada modul ini dianggap telah tetap (*fixed*).

6.7.3 Verifikasi Program Aplikasi

Untuk menguji kebenaran *source code* yang dibuat , dilakukan proses verifikasi secara bertahap terhadap program aplikasi. Sistematika proses verifikasi digambarkan pada gambar 6.19.

Sub program *Shortest Path* diverifikasi menggunakan contoh-contoh masalah *shortest path* yang diselesaikan secara manual. Selanjutnya, subprogram MCF juga diverifikasi dengan cara yang sama, yaitu dengan contoh-contoh kasus yang diselesaikan secara manual. Mengingat program Location Model sesungguhnya berisikan proses pencarian kombinasi gudang yang memberikan nilai fungsi tujuan yang terbaik, maka proses verifikasi dilakukan dengan mengkonfirmasi solusi optimal (arus optimal beserta nilai fungsi tujuannya) dari tiap kombinasi



Gambar 6.19 Sistematika verifikasi program aplikasi

gudang yang dihasilkan oleh program ini dengan solusi optimal tiap kombinasi tersebut bila menggunakan subprogram MCF.

Selanjutnya, sub program *Adjacent Extreme Flow*, yang luarannya digunakan sebagai batas atas nilai fungsi tujuan dari proses optimasi Gallo, diverifikasi dengan menggunakan contoh kasus yang dikembangkan oleh Gallo di dalam salah satu penelitiannya (Gallo G. dan Sodini C.,1979).

Sub program Gallo untuk menyelesaikan masalah MCMF diverifikasi dengan menggunakan sub program MCF, yaitu dengan memberikan masukan fungsi biaya di ruas yang berbentuk linier pada sub program Gallo dan mengkonfirmasi hasilnya dengan solusi sub program MCF yang juga menggunakan masukan tersebut.

Seperti pada program 3, verifikasi terhadap program Location Model yang menggunakan fungsi *concave* dilakukan dengan mengkonfirmasi solusi optimal (arus optimal beserta nilai fungsi tujuannya) dari tiap kombinasi gudang yang dihasilkan oleh program ini dengan solusi optimal tiap kombinasi tersebut bila menggunakan sub program Gallo.

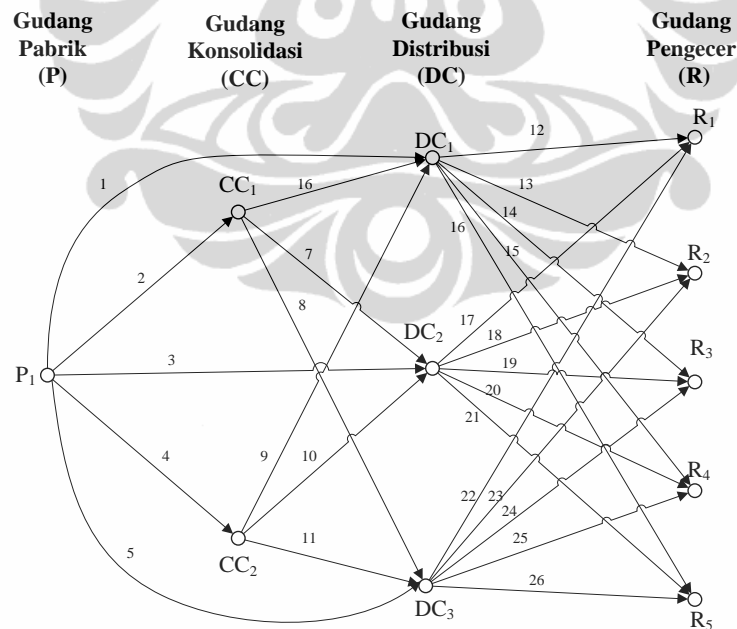
Mekanisme verifikasi yang sifatnya bertahap tersebut diharapkan dapat menjamin kebenaran luaran dari program aplikasi yang dikembangkan ini.

6.8 Contoh Penyelesaian Kasus

6.8.1 Contoh Kasus Sumber Tunggal

Suatu jaringan distribusi berbentuk *3-stages*, terdiri dari 1 (satu) pabrik, 2 (dua) gudang konsolidasi, 3 (tiga) gudang distribusi dan 5 (lima) gudang pengecer mengelola distribusi 1 (satu) macam komoditas dengan 2 (dua) jenis pengguna, yaitu subsidi dan komersial (lihat gambar 6.20). Kapasitas produksi pabrik sebesar 22500 unit. Sistem melayani permintaan dari kelima pengecer seperti ditampilkan pada tabel 6.3.

Fungsi biaya transportasi pada ruas-*i* adalah $\varphi_i(x_i) = a_{1i}x_i + a_{2i}x_i^2$. Parameter a_1 dan a_2 untuk kesemua ruas diperlihatkan pada tabel 6.4. Harga jual komoditas diperlihatkan pada tabel 6.5.



Gambar 6. 20 Jaringan distribusi contoh kasus sumber tunggal

Tabel 6.3 Data permintaan kasus sumber tunggal

Pengecer	Permintaan (unit)	
	Komoditas Subsidi	Komoditas Komersial
1	1000	3000
2	1500	2000
3	2500	1000
4	4000	2500
5	1500	3500
Total	22500	

Tabel 6. 4 Parameter fungsi biaya transportasi kasus sumber tunggal

Ruas	Parameter fungsi biaya di ruas	
	a_1	a_2
1	60,00	0,10
2	75,00	0,30
3	20,00	0,10
4	40,00	0,25
5	35,00	0,10
6	90,00	0,15
7	85,00	0,40
8	35,00	0,00
9	25,00	0,00
10	40,00	0,10
11	60,00	0,30
12	75,00	0,20
13	60,00	0,35
14	30,00	0,15
15	40,00	0,40
16	60,00	0,10
17	50,00	0,25
18	45,00	0,10
19	50,00	0,20
20	30,00	0,35
21	20,00	0,00
22	90,00	0,00
23	80,00	0,00
24	20,00	0,00
25	30,00	0,00
26	60,00	0,00

Tabel 6.5 Harga jual komoditas kasus sumber tunggal

Pengecer	Harga jual per unit	
	Komoditas Subsidi	Komoditas komersial
1	3,00	6,00
2	4,00	8,00
3	3,00	8,00
4	4,00	7,00
5	9,00	9,00

6.8.1.1 Solusi Model Alokasi

Metode Gallo

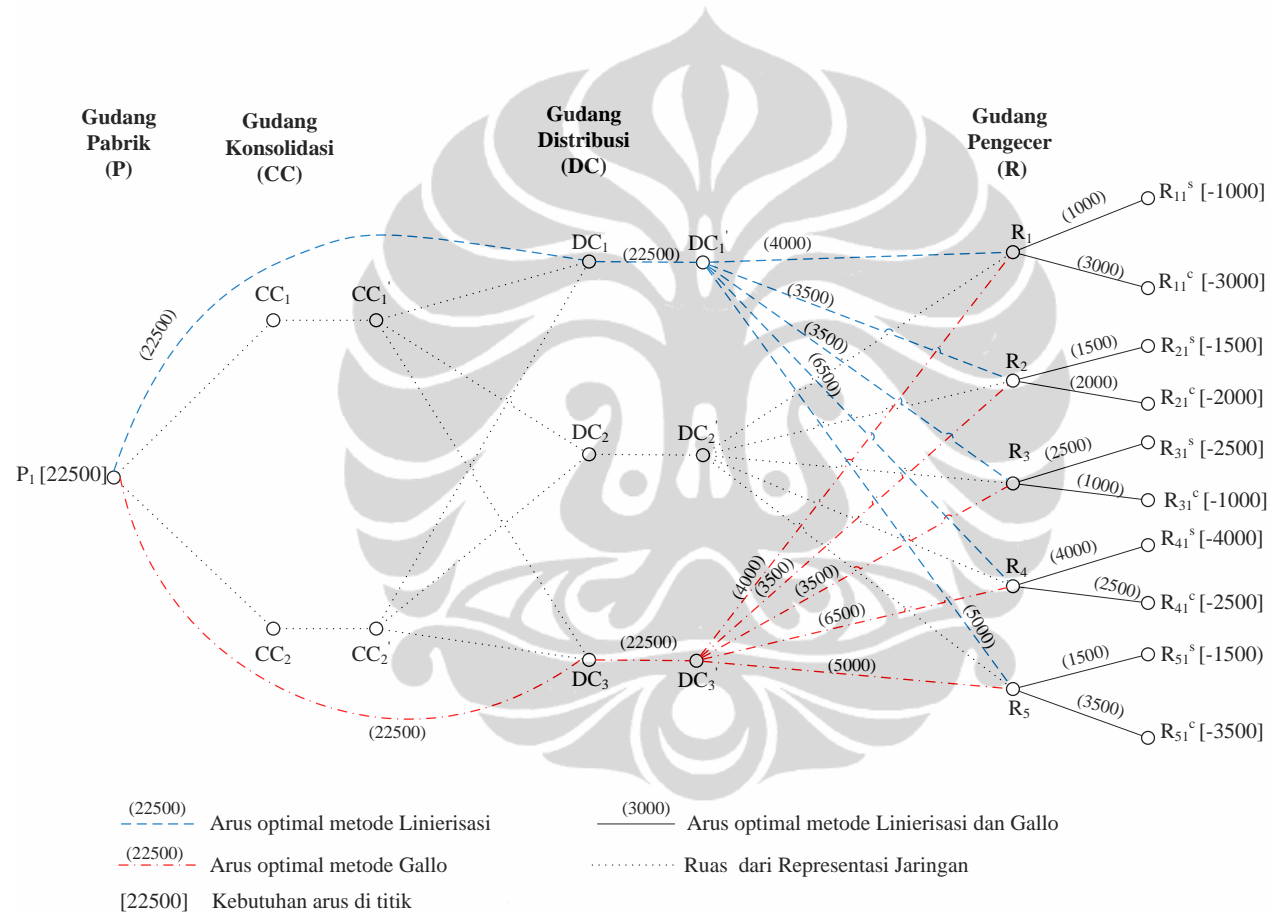
Pada kasus ini nilai optimal tercapai setelah pencarian 4 (empat) nilai batas bawah (*lowerbound*), yaitu : -135.272, -135.338, -136.620 serta -136.624. Nilai fungsi tujuan terbaik adalah sebesar -136.624 dengan pola alokasi komoditas sebagaimana disampaikan pada gambar 6.21. Terlihat bahwa dengan metode Gallo arus optimal tidak melewati gudang konsolidasi, namun langsung menuju gudang distribusi 3.

Metode Linierisasi Tunggal dan Linierisasi Bertahap

Kedua metode menghasilkan nilai optimal yang sama, yaitu -133.459, dengan nilai arus optimal digambarkan pada gambar 6.21. Arus optimal juga tidak melewati gudang konsolidasi, tapi langsung menuju gudang distribusi 1.

6.8.1.2 Solusi Model Lokasi

Tabel 6.6a dan tabel 6.6b memperlihatkan solusi-solusi optimal antara (*intermediate solution*) di dalam proses pencarian kombinasi terbaik dari gudang-gudang yang akan dibuka, untuk metode linierisasi tunggal dan Gallo. Pada kedua metode dan juga metode linierisasi bertahap, nilai fungsi tujuan terbaik tercapai pada kombinasi 18, yaitu kondisi dimana semua gudang konsolidasi ditutup dan hanya gudang distribusi 3 dibuka. Walaupun keputusan lokasi (*location decision*) keduanya sama, namun nilai minimum fungsi tujuan keduanya berbeda. Metode linierisasi tunggal menghasilkan fungsi tujuan -136.445, sedangkan metode Gallo menghasilkan -136.524.



Gambar 6. 21 Solusi kasus sumber tunggal – model alokasi

Tabel 6.6a Solusi antara untuk kasus sumber tunggal - model lokasi dengan metode linierisasi tunggal

Kombinasi	Gudang yang dibuka					Nilai Fungsi Tujuan
	Gudang Konsolidasi		Gudang Distribusi			
	1	2	1	2	3	
1	1		1			-133.259
2	1			2		-134.985
3	1				3	-136.345
4	1		1		3	-133.159
5	1			2	3	-134.885
6	1	2	1			-133.159
7	1	2		2		-134.885
8	1	2			3	-136.245
9	1	2	1		3	-133.059
10	1	2		2	3	-134.785
11		2	1			-133.259
12		2		2		-134.985
13		2			3	-136.345
14		2	1		3	-133.159
15		2		2	3	-134.885
16			1			-133.359
17				2		-135.085
18					3	-136.445
19			1		3	-133.259
20				2	3	-134.985

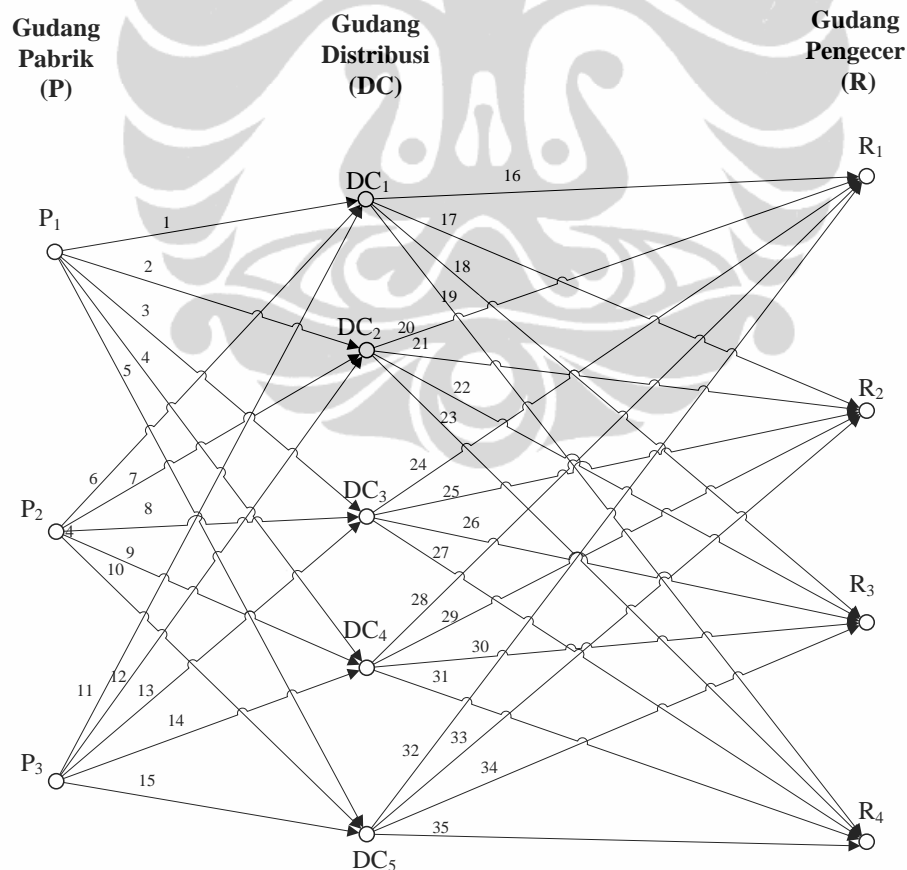
-136.445 Nilai fungsi tujuan terbaik (angka bercetak tebal)

Tabel 6.6b Solusi antara untuk kasus sumber tunggal - model lokasi dengan metode Gallo

Kombinasi	Gudang yang dibuka					Nilai Fungsi Tujuan
	Gudang Konsolidasi		Gudang Distribusi			
	1	2	1	2	3	
1	1		1			-133.615
2	1			2		-135.322
3	1				3	-136.424
4	1		1		3	-136.324
5	1			2	3	-136.324
6	1	2	1			-133.515
7	1	2		2		-135.222
8	1	2			3	-136.324
9	1	2	1		3	-136.224
10	1	2		2	3	-136.224
11		2	1			-133.615
12		2		2		-135.322
13		2			3	-136.324
14		2	1		3	-136.324
15		2		2	3	-136.324
16			1			-133.715
17				2		-135.422
18					3	-136.524
19			1		3	-136.424
20				2	3	-136.424

6.8.2 Contoh Kasus Multi Sumber

Suatu jaringan distribusi berbentuk *2-stages*, terdiri dari 3 (tiga) pabrik, 5 (lima) gudang distribusi dan 4 (empat) gudang pengecer mengelola distribusi 2 macam komoditas dengan 1 (satu) jenis pengguna, yaitu pengguna komersial (lihat gambar 6.22). Kapasitas produksi pabrik digambarkan pada tabel 6.7, sedangkan permintaan dari keempat pengecer digambarkan pada tabel 6.8. Parameter fungsi biaya produksi di pabrik-*i* untuk komoditas-*m* yang berbentuk $\varphi_{im}(x_{im}) = a_{1im} x_{im}^{a_{2im}}$ disampaikan pada tabel 6.9. Harga jual di keempat pengecer diperlihatkan pada tabel 6.10. Fungsi biaya transportasi adalah $\varphi_i(x_i) = a_{1i} x_i^{a_{2i}}$ dengan parameter a_1 dan a_2 untuk kesemua ruas diperlihatkan pada tabel 6.11.



Gambar 6.22 Jaringan distribusi contoh kasus multi sumber

Tabel 6.7 Kapasitas produksi pabrik kasus multi sumber

Pabrik	Kapasitas (unit)	
	Komoditas 1	Komoditas 2
1	100	100
2	200	300
3	300	100
Total	600	500

Tabel 6.8 Data permintaan kasus multi sumber

Pengecer	Permintaan (unit)	
	Komoditas 1	Komoditas 2
1	100	200
2	300	100
3	200	300
4	100	200
Total	700	800

Tabel 6.9 Fungsi biaya produksi kasus multi sumber

Pabrik	Parameter fungsi biaya produksi			
	Komoditas 1		Komoditas 2	
	a_1	a_2	a_1	a_2
1	80	0,30	50	0,50
2	20	0,10	35	0,10
3	90	0,10	40	0,00

Tabel 6.10 Harga jual komoditas kasus multi sumber

Pengecer	Harga jual per unit	
	Komoditas 1	Komoditas 2
1	80	75
2	65	50
3	60	65
4	50	55

Tabel 6.11 Parameter fungsi biaya transportasi kasus multi sumber

Ruas	Parameter fungsi biaya di ruas	
	a_1	a_2
1	50,00	0,00
2	65,00	0,20
3	70,00	0,30
4	50,00	0,10
5	40,00	0,50
6	30,00	0,30
7	55,00	0,20
8	25,00	0,00
9	40,00	0,00
10	30,00	0,10
11	55,00	0,70
12	35,00	0,10
13	70,00	0,20
14	60,00	0,10
15	45,00	0,00
16	30,00	0,30
17	70,00	0,10
18	80,00	0,20
19	25,00	0,80
20	60,00	0,50
21	40,00	0,60
22	30,00	0,80
23	45,00	0,80
24	50,00	0,50
25	60,00	0,40
26	40,00	0,40
27	35,00	0,70
28	55,00	0,10
29	25,00	0,30
30	60,00	0,40
31	40,00	0,60
32	30,00	0,50
33	80,00	0,30
34	75,00	0,20
35	55,00	0,40

6.8.2.1 Solusi Model Alokasi

Metode Linierisasi Tunggal

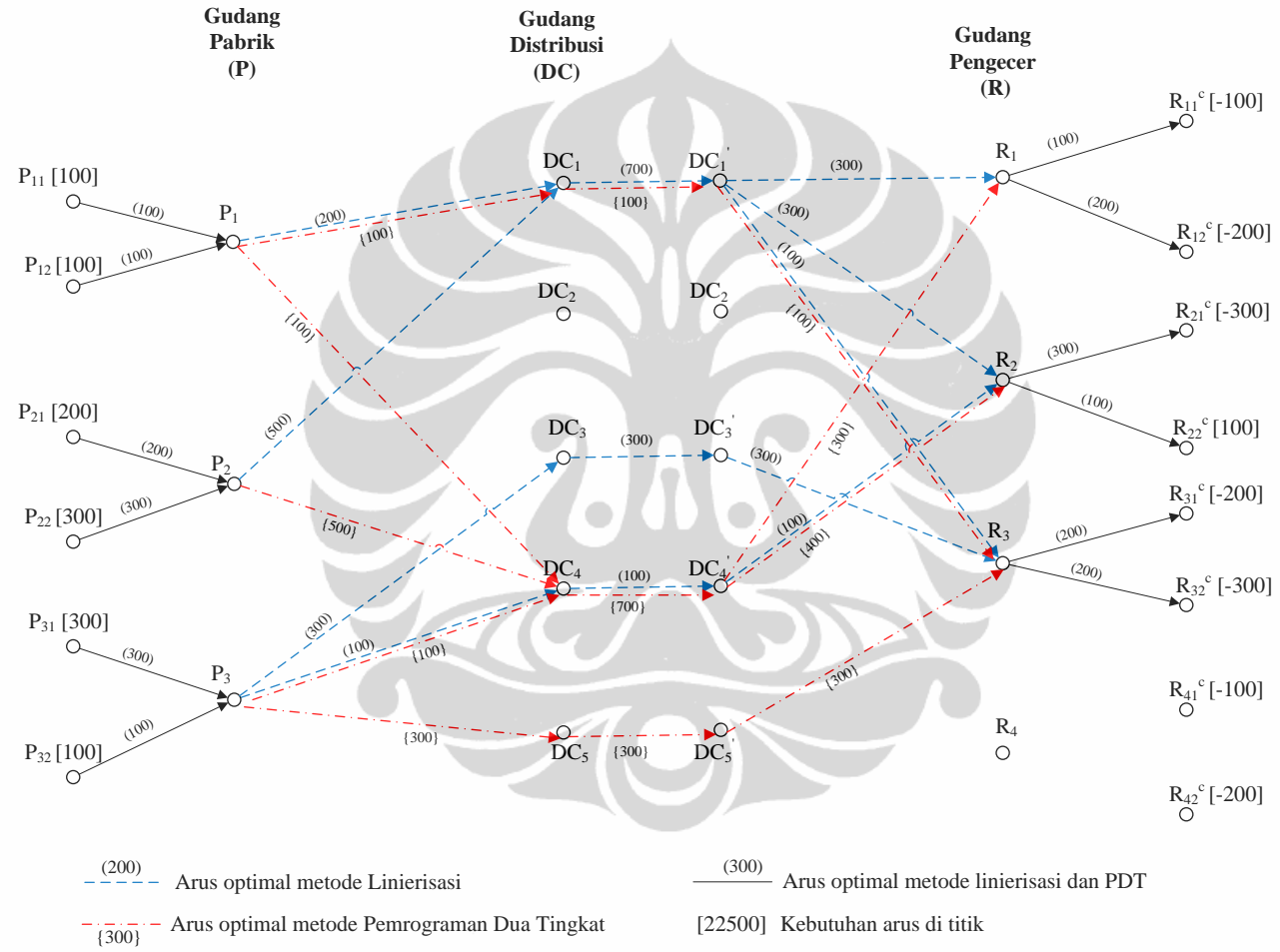
Solusi optimal kasus ini dengan menggunakan metode linierisasi tunggal digambarkan pada gambar 6.23 dengan nilai fungsi tujuan sebesar 2257. Berdasarkan solusi optimal ini, pola distribusi pembebanan pada tiap-tiap pabrik digambarkan pada tabel 6.12. Karena kasus ini merupakan kasus permintaan berlebih, maka pada solusi optimal terdapat beberapa titik pengecer yang tidak terlayani. Pengecer 3 hanya dapat dilayani sebesar 200 unit komoditas 1 (dari 200 unit permintaan) dan 200 unit komoditas 2 (dari 300 unit permintaan). Sementara, pengecer 4 sepenuhnya tidak dapat dilayani.

Metode Pemrograman Dua Tingkat

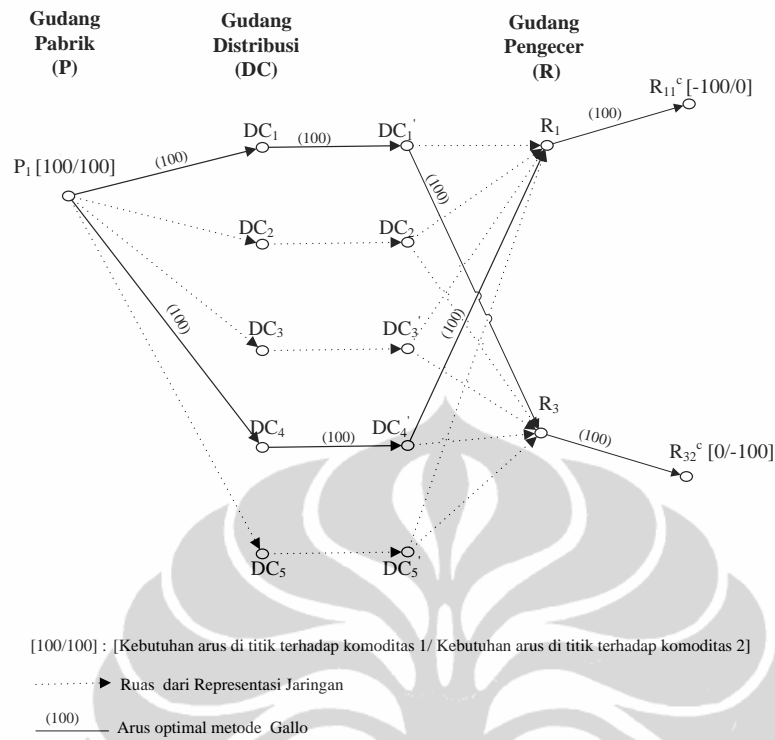
Selanjutnya pola distribusi dari solusi optimal dengan metode linierisasi (tabel 6.12) digunakan sebagai masukan bagi pembentukan rayon (*clustering*) dan kemudian dijadikan dasar bagi pembentukan Group Sub Representasi Jaringan (G-SRJ) dari tiap pabrik. Solusi optimal dari ketiga G-SRJ diselesaikan dengan metode Gallo. Penggabungan (*superimpose*) dari solusi optimal ketiga G-SRJ merupakan solusi akhir dari masalah alokasi dengan metode PDT. Gambar 6.24a, 6.24b dan 6.24c berturut-turut menggambarkan G-SRJ dari pabrik 1, 2 dan 3 beserta solusi optimalnya. Sementara, solusi gabungan dari ketiganya digambarkan pada gambar 6.23, dengan nilai fungsi tujuan sebesar 1631.

Tabel 6.12 Pola distribusi komoditas

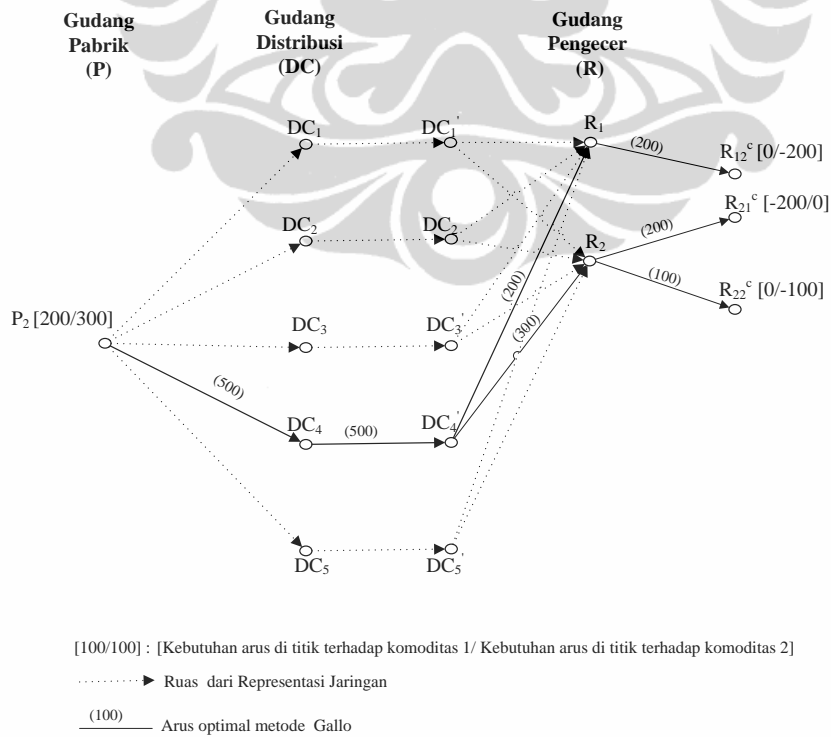
Pabrik	Melayani		
	Pengecer	Komoditas	Jumlah (unit)
1	1	1	100
	3	2	100
2	2	1	200
	1	2	200
	2	2	100
3	2	1	100
	3	1	200
	3	2	100



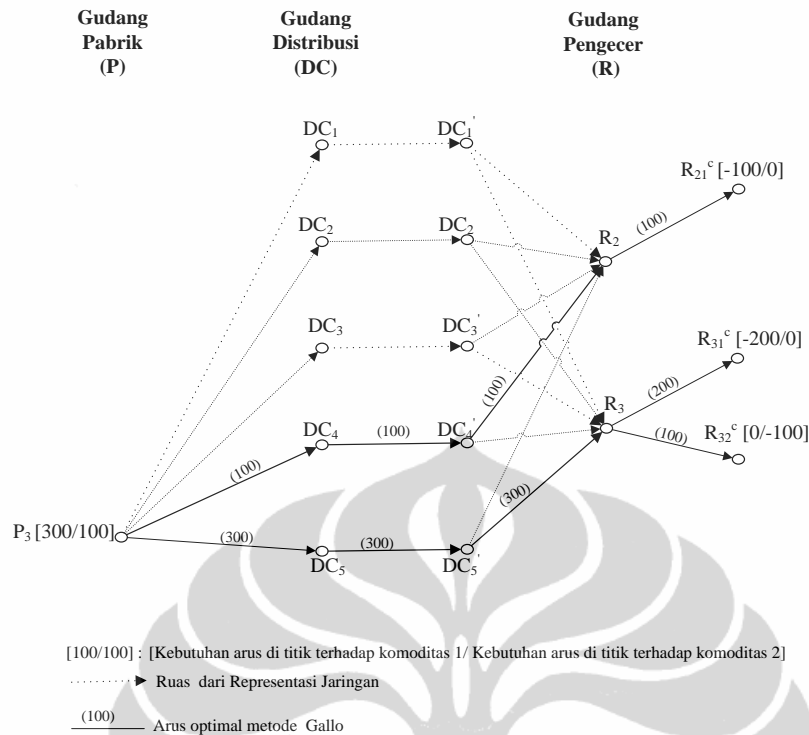
Gambar 6. 23 Solusi kasus multi sumber – model alokasi



Gambar 6. 24a Group Sub Representasi Jaringan dari pabrik 1 dan solusi optimalnya



Gambar 6.24b Group Sub Representasi Jaringan dari pabrik 2 dan solusi optimalnya



Gambar 6.24c Group Sub Representasi Jaringan dari pabrik 3 dan solusi optimalnya

6.8.2.2 Solusi Model Lokasi

Metode Linierisasi Tunggal

Metode linierisasi tunggal menghasilkan keputusan lokasi (*location decision*) yaitu dengan membuka gudang distribusi 4 dan 5, dan menghasilkan nilai fungsi tujuan sebesar 1692.

Metode Pemrograman Dua Tingkat

Proses pemilihan lokasi dilakukan terhadap ketiga G-SRJ hasil rayonisasi dan berdasarkan penggabungan dari ketiga keputusan lokasi ditetapkan solusi gabungan yaitu dengan membuka gudang distribusi 1, 4 dan 5 dengan nilai fungsi tujuan sebesar 1968.

6.9 Kinerja Metode Pemrograman Dua Tingkat dan Linierisasi

Di dalam penelitian disertasi ini telah dilakukan aplikasi ketiga metode usulan pada beberapa contoh kasus. Contoh-contoh kasus tersebut dibedakan atas

karakteristik jaringannya, yaitu dalam hal jumlah pabrik, pengecer, gudang distribusi dan gudang konsolidasi. Selain itu, contoh-contoh ini juga dibedakan pada besaran fungsi biaya di ruas, maupun kendala-kendala model lainnya, seperti besarnya permintaan dan kapasitas pabrik. Satu hal yang didisain sama untuk kesemua kasus tersebut yaitu dalam hal kapasitas gudang yang tidak dibatasi (kasus *uncapacitated*). Hal ini dilakukan karena aplikasi pada contoh kasus ini dimaksudkan untuk melihat kinerja dari ketiga metode usulan terhadap metode yang menjadi acuan, yaitu metode Gallo, dimana metode Gallo hanya dapat digunakan untuk kasus sumber tunggal dan kapasitas yang tidak dibatasi. Aplikasi dilakukan terhadap Model Lokasi maupun Alokasi. Rekapitulasi dari hasil aplikasi tersebut disampaikan pada tabel 6.13.

Berdasarkan tipologi metode pendekatan untuk penyelesaian MCMF pada tabel 6.1, mekanisme komparasi dari aplikasi ini dimulai dari komparasi metode linierisasi (tunggal maupun bertahap) terhadap metode Gallo. Untuk itu, kasus 1 s/d kasus 5 yang merupakan kasus sumber tunggal dipakai untuk melihat perbandingan metode linierisasi terhadap metode Gallo. Pada Model Alokasi, dari kelima kasus tersebut disimpulkan bahwa metode Gallo memberikan nilai fungsi tujuan yang terbaik dibandingkan dengan kedua metode linierisasi, walaupun keunggulannya maksimum hanya 2,32% (pada kasus 2). Sedangkan pada Model Lokasi, dari kelima kasus disimpulkan bahwa metode linierisasi memberikan hasil yang sama dengan metode Gallo.

Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut : pada Model Lokasi, perhitungan nilai optimal dilakukan secara lebih teliti dan satu persatu untuk berbagai kombinasi gudang untuk kemudian ditentukan kombinasi yang memberikan fungsi tujuan terbaik. Sementara pada Model Alokasi, perhitungan nilai optimal dilakukan dengan kondisi semua gudang digunakan/dibuka sehingga wilayah pencarian nilai optimal menjadi lebih luas dan ketelitian pencarian nilai optimal menjadi lebih kecil. Pada keadaan ini terlihat metode linierisasi menjadi kurang sensitif.

Tabel 6.13 Rekapitulasi hasil aplikasi ketiga metode

KARAKTERISTIK JARINGAN UNTUK TIAP KASUS	MODEL & METODE YANG DIGUNAKAN	NILAI FUNGSI TUJUAN								
		KASUS 1	KASUS 2	KASUS 3 ¹⁾	KASUS 4 ²⁾	KASUS 5 ³⁾	KASUS 6 ⁴⁾	KASUS 7	KASUS 8	KASUS 9
Jenis Sumber		Tunggal	Tunggal	Tunggal	Tunggal	Tunggal	Tunggal	Tunggal	Tunggal	Tunggal
Jumlah pabrik		1	1	1	1	1	1	1	1	1
Jumlah pengecer		2	5	5	5	5	5	3	10	30
Jumlah gudang distribusi		3	3	3	3	3	3	7	7	7
Jumlah gudang konsolidasi		2	2	2	2	2	2	2	2	2
	MODEL ALOKASI									
	1. Metode Linierisasi Tunggal	-21.909	-133.459	-133.575	-133.087	-158.959	-118.459	-7.957	-41.305	-1.240.860
	2. Metode Linierisasi Bertahap	-21.909	-133.459	-133.575	-133.087	-158.959	-118.459	-7.957	-41.305	-1.240.860
	3. Metode Gallo	-21.947	-136.624	-136.485	-136.222	-162.124	-121.624	-7.956	-41.380	-1.241.810
	Kesimpulan	Metode Gallo lebih baik 0,17%	Metode Gallo lebih baik 2,37%	Metode Gallo lebih baik 2,18%	Metode Gallo lebih baik 2,36%	Metode Gallo lebih baik 1,99%	Metode Gallo lebih baik 2,67%	Metode Gallo lebih baik 0,01%	Metode Gallo lebih baik 0,18%	Metode Gallo lebih baik 0,08%
	MODEL LOKASI									
	1. Metode Linierisasi Tunggal	-21.809	-136.445	-136.256	-135.925	-161.945	-121.445	-7.858	-40.346	-1.231.470
	2. Metode Linierisasi Bertahap	-21.809	-136.445	-136.256	-135.925	-161.945	-121.445	-7.858	-40.346	-1.231.470
	3. Metode Gallo	-21.807	-136.524	-136.385	-135.969	-162.024	-121.524	-7.856	-40.350	-1.231.460
	Kesimpulan	Semua metode sama	Semua metode sama	Semua metode sama	Semua metode sama	Semua metode sama	Semua metode sama	Semua metode sama	Semua metode sama	Semua metode sama

Keterangan :

Pada semua kasus berlaku kapasitas gudang yang tidak dibatasi (*uncapacitated*)

2.821 : nilai fungsi tujuan yang terbaik (angka bercetak tebal)

¹⁾ Merupakan pengembangan kasus 2, dengan variasi pada biaya transportasi

²⁾ Merupakan pengembangan kasus 2, dengan variasi pada biaya transportasi

³⁾ Merupakan pengembangan kasus 2, dengan variasi pada harga jual

⁴⁾ Merupakan pengembangan kasus 2, dengan variasi pada harga jual

Tabel 6.13 Rekapitulasi hasil aplikasi ketiga metode (lanjutan)

KARAKTERISTIK JARINGAN UNTUK TIAP KASUS	MODEL & METODE YANG DIGUNAKAN	NILAI FUNGSI TUJUAN						
		KASUS 10	KASUS 11	KASUS 12 ⁵⁾	KASUS 13 ⁶⁾	KASUS 14 ⁷⁾	KASUS 15	KASUS LIN
Jenis Sumber		Multi	Multi	Multi	Multi	Multi	Multi	Multi
Jumlah pabrik		2	3	3	3	3	3	2
Jumlah pengecer		2	4	4	4	4	40	3
Jumlah gudang distribusi		0	5	5	5	5	8	3
Jumlah gudang konsolidasi		1	0	0	0	0	0	1
	MODEL ALOKASI							
	1. Metode Linierisasi Tunggal	-88.179	2.821	2.257	2.817	-91.518	-1.472.330	3.704.231.496
	2. Metode Linierisasi Bertahap	-88.179	2.925	2.290	2.680	-91.265	-1.472.330	-
	3. Pemrograman Dua Tingkat	-88.179	2.961	1.631	2.526	-91.707	-1.471.492	-
	4. Metode Lin	-	-	-	-	-	-	4.086.151.044
	Kesimpulan	Semua metode sama	Linierisasi lebih baik 4,73%	Pemrog. Dua Tingkat lebih baik 27,74%	Pemrog. Dua Tingkat lebih baik 5,75%	Pemrog. Dua Tingkat lebih baik 0,48%	Linierisasi lebih baik 0,06%	Linierisasi lebih baik 9,35%
	MODEL LOKASI							
	1. Metode Linierisasi Tunggal	-88.179	2.437	1.692	2.308	-92.063	-1.372.780	
	2. Metode Linierisasi Bertahap	-88.179	2.437	1.692	2.169	-92.063	-1.372.780	
	3. Pemrograman Dua Tingkat	-88.179	3.161	1.968	2.726	-91.507	-1.470.040	
	Kesimpulan	Semua metode sama	Linierisasi Bertahap lebih baik 22,90%	Linierisasi lebih baik 14,02%	Linierisasi Bertahap lebih baik 20,43%	Linierisasi lebih baik 0,61%	Pemrog. Dua Tingkat lebih baik 7,08%	

Keterangan :

Pada semua kasus berlaku kapasitas gudang yang tidak dibatasi (*uncapacitated*)

2.821 : nilai fungsi tujuan yang terbaik (angka bercetak tebal)

⁵⁾ Merupakan pengembangan kasus 11, dengan kondisi permintaan berlebih

⁶⁾ Merupakan pengembangan kasus 11, dengan kondisi suplai berlebih

⁷⁾ Merupakan pengembangan kasus 2, dengan variasi pada harga jual

Berdasarkan komparasi tersebut, dapat disimpulkan bahwa selain metode Gallo, metode linierisasi dapat digunakan sebagai alternatif metode bagi solusi masalah MCMF untuk kondisi sumber tunggal, baik untuk Model Lokasi maupun Alokasi.

Selanjutnya, untuk kasus multi sumber, dilakukan komparasi antara metode linierisasi dan metode PDT. Secara umum terlihat bahwa metode linierisasi dapat memberikan hasil optimasi yang lebih baik dibandingkan metode PDT, khususnya pada kasus-kasus Model Lokasi. Walaupun pada beberapa kasus (kasus 13 dan 14 Model Alokasi) hasil metode linierisasi tidak lebih baik, namun persentase perbedaan nilai optimal antara keduanya tidak terlalu besar (lebih kecil dari 5%).

Pada beberapa kasus (kasus 12 Model Alokasi serta kasus 15 Model Lokasi) terlihat bahwa metode PDT lebih baik. Hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut : metode ini sangat dipengaruhi oleh keputusan atas pembagian rayon dan pembagian rayon mengakibatkan ukuran jaringan (sub jaringan G-SRJ) menjadi lebih kecil. Pada kondisi pembagian rayon yang tepat, nilai optimasi metode ini akan lebih baik dibandingkan dengan metode linierisasi karena wilayah pencarian nilai optimal pada metode PDT lebih kecil, begitu pula sebaliknya. Karena pembagian rayon sangat dipengaruhi oleh proses transformasi fungsi linier menjadi fungsi *concave* pada optimasi tingkat satu dari PDT, maka proses linierisasi menjadi kunci utama dalam PDT.

Selanjutnya, dilakukan komparasi antara metode linierisasi tunggal dan linierisasi bertahap. Dari hasil aplikasi belum terlihat pola kecenderungan komparasi diantara keduanya. Pada beberapa kasus terlihat bahwa metode linierisasi tunggal lebih unggul dan pada kasus-kasus lain metode linierisasi bertahap lebih unggul. Namun, keduanya memberikan kecenderungan yang sama apabila dibandingkan dengan metode PDT.

Dari penjelasan tersebut di atas, disimpulkan bahwa dalam penyelesaian masalah MCMF untuk kasus multi sumber dan/atau kapasitas dibatasi, ketiga metode masih perlu digunakan untuk kemudian dibandingkan.

Selain menyelesaikan kelimabelas kasus tersebut, dilakukan pula perbandingan antara metode linierisasi dengan metode heuristik yang

dikembangkan oleh Lin (Lin, 2002). Terlihat bahwa metode linierisasi cukup unggul untuk menghasilkan nilai fungsi tujuan yang lebih baik. Salah satu alasan untuk hal ini adalah bahwa metode Lin menetapkan titik asal dan tujuan dari setiap produknya (matriks OD) sebagai masukan dari model, sementara model usulan menjadikannya variabel keputusan. Penetapan matriks OD menjadi salah satu sumber hilangnya potensi untuk mendapatkan nilai optimal yang lebih baik.

6.10. Kinerja Waktu Komputasi

Untuk melihat kinerja waktu komputasi dari program aplikasi, pada tabel 6.14 disampaikan perhitungan waktu komputasi dalam menyelesaikan contoh kasus yang terkait dengan kasus yang berbentuk jaringan sumber tunggal (lihat tabel 6.13) . Dilakukan perhitungan waktu komputasi untuk ketiga metode yang digunakan, yaitu metode Gallo, Linierisasi Tunggal dan Linierisasi Bertahap. Perhitungan waktu komputasi tidak dilakukan untuk kasus multi sumber karena program aplikasi yang dibuat untuk metode PDT pada saat ini masih diselesaikan dalam dua tahap (dalam dua modul yang terpisah), yaitu program tingkat I yang berbentuk multi sumber diselesaikan dengan metode Linierisasi dan program tingkat II yang sudah berbentuk sumber tunggal diselesaikan dengan metode Gallo. Karena inti pemrograman di dalam PDT tetap pada metode Gallo dan Linierisasi, maka komparasi waktu komputasi hanya dilakukan terhadap metode Linierisasi dan Gallo untuk kasus sumber tunggal. Waktu komputasi dihitung berdasarkan penggunaan prosesor CPU Intel (R) Core (TM) 2 Duo CPU; P8400 @ 2,26 GHz 2,27 GHz ; Memory (RAM) 4,00 GB.

Dari tabel 6.14 terlihat bahwa metode Gallo membutuhkan waktu komputasi yang lebih besar dibandingkan dengan metode Linierisasi , baik pada kasus model Alokasi maupun Lokasi. Selain itu, metode Linierisasi Bertahap memiliki kecenderungan waktu komputasi yang lebih baik dibandingkan dengan Linierisasi Tunggal. Terlihat pula bahwa waktu komputasi metode Gallo berubah secara eksplisif dengan bertambahnya ukuran jaringan. Pada ukuran jaringan yang besar, perbedaan waktu komputasi dalam menyelesaikan masalah alokasi dengan masalah lokasi juga terlihat sangat signifikan. Hal ini disebabkan jumlah

kombinasi fasilitas yang harus dibuka pada model lokasi menjadi berkembang secara eksplosif juga.

Tabel 6.14 Komparasi Waktu Komputasi antara Metode Gallo, Metode Linierisasi Tunggal dan Linierisasi Bertahap

Kasus Sumber Tunggal No.	Jumlah Titik RJ	Jumlah Ruas RJ	Jumlah Titik Tujuan RJ	Waktu Komputasi (detik) *)					
				Model Alokasi			Model Lokasi		
				Linierisasi Tunggal	Linierisasi Bertahap	Gallo	Linierisasi Tunggal	Linierisasi Bertahap	Gallo
1	18	27	4	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,22
2	27	42	10	0,05	0,06	0,11	0,05	0,05	0,27
3	27	42	10	0,05	0,06	0,17	0,06	0,05	0,49
4	27	42	10	0,06	0,05	0,38	0,06	0,05	0,55
5	27	42	10	0,06	0,05	0,11	0,11	0,11	0,32
6	27	42	10	0,11	0,06	0,28	0,17	0,11	0,44
7	25	56	3	0,17	0,16	0,33	0,11	0,05	0,39
8	39	112	10	0,22	0,16	10,21	0,16	0,28	17,91
9	169	362	60	0,55	0,49	31,36	5,27	5,88	857,22

*) Processor : Intel (R) Core (TM) 2 Duo CPU ; P8400 @ 2,26 GHz 2,27 GHz; Memory (RAM) 4,00 GB.

6.11 Perbandingan antara Metode Usulan dengan Metode yang Digunakan BUMN-PSO

Mengingat maksud dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan efisiensi sistem distribusi BUMN-PSO melalui pengembangan model optimasi Model Lokasi, maka pada bagian ini akan disampaikan komparasi hasil aplikasi model pada beberapa kasus menggunakan model yang diusulkan dengan model yang saat ini digunakan oleh BUMN-PSO (Soehodho, S., Hertono, G.F. dan Nahry, 2010a). Karena optimasi yang dilakukan BUMN-PSO hanya mempertimbangkan biaya transportasi, maka untuk mewakili metode yang digunakan BUMN-PSO saat ini, pada penelitian disertasi ini digunakan program aplikasi dari model usulan, namun dengan mengabaikan variabel biaya satuan produksi dan harga jual. Hal ini sesungguhnya menunjukkan bahwa perhitungan optimasi model BUMN-PSO pada penelitian ini tetap menggunakan sistem operator tunggal (tanpa rayonisasi), walau pada prakteknya BUMN-PSO memiliki sistem multi operator (sistem rayonisasi). Pertimbangan ini hanya untuk penyederhanaan perhitungan. Walau demikian, karakteristik BUMN-PSO yang tidak mempertimbangkan variabel biaya produksi dan pendapatan tetap dipertimbangkan sebagai representasi BUMN-PSO. Pertimbangan ini sejalan dengan rasional bahwa sistem multi

operator sudah pasti tidak akan dan tidak perlu mempertimbangkan biaya produksi maupun pendapatan dalam optimasinya. Rekapitulasi hasil komparasi kedua metode disampaikan pada tabel 6.15.

Dari hasil komparasi tersebut terlihat bahwa pada beberapa kasus, terutama pada kasus suplai berlebih dan permintaan berlebih, model usulan memberikan nilai optimasi yang lebih baik, walaupun persentase perbedaannya mengecil dengan bertambah besarnya ukuran jaringan. Di sisi lain, pada sebagian besar kasus permintaan dan suplai seimbang, nilai optimasi dari metode BUMN-PSO lebih baik. Hal ini disebabkan optimasi pada kasus permintaan dan suplai seimbang sesungguhnya hanya dipengaruhi oleh biaya transportasi dan proses pencarian tidak perlu melihat pada ruas-ruas yang mewakili biaya produksi maupun pendapatan (dan hal ini sejalan dengan mekanisme dari metode BUMN-PSO), sehingga wilayah pencarian nilai optimal pada metode BUMN-PSO menjadi lebih kecil. Walau demikian, model usulan masih dapat dipertimbangkan untuk kasus-kasus permintaan dan suplai seimbang karena perbedaan hasil dari kedua model tidak signifikan (kurang dari 2%).

6.12 Penggunaan Model Usulan untuk Kasus Non BUMN-PSO

Walaupun model usulan berkaitan dengan masalah yang dihadapi oleh BUMN-PSO serta fungsi biaya di ruas berkaitan dengan fungsi *concave*, namun model usulan beserta program aplikasinya tetap bisa dimanfaatkan untuk menyelesaikan masalah sistem distribusi di perusahaan-perusahaan yang tidak berbentuk BUMN-PSO atau sistem distribusi yang fungsi biayanya berbentuk linear (Soehodho, S. dan Nahry, 2009c; Soehodho, S., Hertono, G.F. dan Nahry, 2010b) selama memenuhi batasan dan asumsi di dalam pemodelan ini. Hal ini dimungkinkan karena pembedaan komoditas atas komoditas komersial dan subsidi merupakan masukan pada model sehingga tidak menjadi masalah apabila seluruh komoditas didisain sebagai produk komersial atau produk subsidi. Selain itu, karena fungsi biaya juga menjadi masukan, maka tidak menjadi masalah juga apabila penyelesaian masalah fungsi biaya *concave* digunakan untuk penyelesaian masalah fungsi linear dan hal ini telah dibuktikan melalui mekanisme verifikasi (sub bab 6.7.3).

Tabel 6.15 Komparasi antara model PBM usulan dan model BUMN-PSO yang berlaku saat ini

Kasus	Karakteristik			Nilai Fungsi Tujuan		Kesimpulan	
	Besar Suplai & Permintaan	Bentuk	Fungsi Biaya	Model PBM	Model BUMN-PSO		
1	Permintaan berlebih (1)	Jaringan tipe 1	Biaya tipe 1	-1450	-1180	Model PBM lebih baik	22,88%
2	Permintaan berlebih (2)	Jaringan tipe 1	Biaya tipe 1	-850	-670	Model PBM lebih baik	26,87%
5	Permintaan berlebih (3)	Jaringan tipe 2	Biaya tipe 2	-4554	-4063	Model PBM lebih baik	12,08%
6	Permintaan berlebih (4)	Jaringan tipe 2	Biaya tipe 2	-4280	-4224	Model PBM lebih baik	1,33%
7	Permintaan berlebih (5)	Jaringan tipe 2	Biaya tipe 2	-4772	-4300	Model PBM lebih baik	10,98%
3	Suplai berlebih (1)	Jaringan tipe 1	Biaya tipe 1	-2670	-2410	Model PBM lebih baik	10,79%
8	Suplai berlebih (2)	Jaringan tipe 2	Biaya tipe 2	-7327	-7314	Model PBM lebih baik	0,18%
9	Suplai berlebih (3)	Jaringan tipe 2	Biaya tipe 2	-7362	-7351	Model PBM lebih baik	0,15%
10	Suplai berlebih (4)	Jaringan tipe 2	Biaya tipe 2	-9400	-9569	Model BUMN-PSO lebih baik	1,77%
4	Permintaan dan suplai seimbang (1)	Jaringan tipe 1	Biaya tipe 1	-2510	-2510	Kedua model sama baik	0,00%
11	Permintaan dan suplai seimbang (2)	Jaringan tipe 2	Biaya tipe 2	-6706	-6837	Model BUMN-PSO lebih baik	1,92%
12	Permintaan dan suplai seimbang (3)	Jaringan tipe 2	Biaya tipe 3	-6477	-6607	Model BUMN-PSO lebih baik	1,97%
13	Permintaan dan suplai seimbang (4)	Jaringan tipe 2	Biaya tipe 4	-5226	-5337	Model BUMN-PSO lebih baik	2,08%

Keterangan :

Jaringan Tipe 1 terdiri dari 2 pabrik, 2 pengecer , 1 gudang konsolidasi

Jaringan Tipe 2 terdiri dari 3 pabrik, 4 pengecer , 5 gudang distribusi

Biaya Tipe 1 : Semua fungsi biaya linier

Biaya Tipe 2 s/d 4 : Kombinasi fungsi biaya concave dan linier

-1450 Angka bercetak tebal menunjukkan nilai fungsi tujuan terbaik

6.13 Kesimpulan

Pada bab ini telah dilakukan sintesa sistem dari Product-Based Model (PBM) sebagai bagian dari pengembangan Model Lokasi. Sintesa sistem dilanjutkan dengan pengembangan solusi model serta *stepwise* algoritma dan program aplikasi-nya. Formulasi dari model menyertakan variabel biaya transportasi dan produksi yang berbentuk fungsi *concave*, biaya tetap fasilitas yang berbentuk konstan serta pendapatan yang berbentuk linier. Kapasitas produksi dari setiap pabrik merupakan masukan model. Fungsi tujuan model adalah memaksimalkan keuntungan (atau meminimasi biaya minus pendapatan). Formulasi PBM dibedakan dengan formulasi model perusahaan komersial secara khusus di dalam kendala model, dimana PBM menyertakan kewajiban pemenuhan kebutuhan pada komoditas subsidi dibandingkan komoditas komersial, walaupun secara ekonomis hal ini mungkin tidak menguntungkan.

Untuk penyelesaian model, pemrograman matematis usulan direpresentasikan dalam bentuk Representasi Jaringan (RJ). Kondisi ketidakseimbangan permintaan dan suplai direpresentasikan pula dalam bentuk sub jaringan dari RJ. Masalah multikomoditas direpresentasikan dalam bentuk sub jaringan RJ yang disebut Produk Sub Representasi Jaringan (P-SRJ).

Solusi PBM menggunakan pendekatan heuristik, dengan pusatnya adalah metode Gallo tentang Destination Spanning Tree. Tiga metode heuristik diusulkan, yaitu metode linierisasi tunggal, linierisasi bertahap serta Pemrograman Dua Tingkat. Komparasi ketiga metode terhadap metode Gallo dilakukan untuk mengetahui kinerja ketiga metode. Disimpulkan bahwa untuk kasus sumber tunggal dan kapasitas gudang tidak dibatasi, metode Gallo dan metode linierisasi dapat digunakan karena perbedaan nilai optimal diantara keduanya tidak terlalu signifikan (di bawah 2%). Untuk kasus multi sumber dan/ atau kapasitas gudang dibatasi, solusi metode linierisasi dan pemrograman dua tingkat tidak memberikan pola yang tetap, sehingga ketiga metode dapat digunakan bersamaan untuk kemudian ditentukan nilai optimal yang terbaik. Selain itu disimpulkan pula bahwa sistem rayonisasi sangat sensitif terhadap nilai optimasi sistem.

Validasi untuk memverifikasi hasil simulasi ketiga metode dijamin melalui mekanisme penggunaan model Gallo sebagai model referensi untuk membandingkan luaran metode usulan dengan metode yang sudah ada. Hasil simulasi memperlihatkan perbedaan yang tidak signifikan ($< 2\%$) antara luaran metode usulan dan metode referensi.

Dalam hal waktu komputasi, metode Gallo membutuhkan waktu komputasi yang lebih besar dibandingkan metode Linierisasi, baik pada kasus model Alokasi maupun Lokasi. Selain itu, metode Linierisasi Bertahap memiliki kecenderungan waktu komputasi yang lebih baik dibandingkan dengan Linierisasi Tunggal. Disimpulkan pula bahwa waktu komputasi metode Gallo berubah secara eksplisif dengan bertambahnya ukuran jaringan.

Selain itu, komparasi juga dilakukan terhadap kinerja model PBM dengan model yang digunakan BUMN-PSO. Besarnya perbedaan nilai optimal dari kedua model terlihat sangat dipengaruhi oleh ukuran jaringan serta keseimbangan suplai dan permintaan. Disimpulkan bahwa pada kasus-kasus suplai dan permintaan tidak seimbang, model PBM memberikan nilai optimasi yang lebih baik dibandingkan model yang digunakan BUMN-PSO, sedangkan untuk kasus suplai dan permintaan seimbang kedua model dapat dipertimbangkan. Hal ini bermakna bahwa mempertimbangkan biaya produksi dan pendapatan (disamping biaya transportasi) akan memberikan efisiensi sistem yang lebih baik dan ini hanya dapat dilakukan bila sistem bersifat operator tunggal. Kesimpulan ini sejalan dengan hipotesa dari konsep Logistik Total yang menjadi dasar pengembangan PBM ini, yaitu komponen logistik harus dilihat secara keseluruhan dan saling terintegrasi dalam satu sistem. Kesimpulan dan hipotesa ini juga menjadi dasar untuk memverifikasi luaran dari model PBM. Selain itu, konsistensi hasil simulasi yang menunjukkan ketangguhan (*robustness*) model juga menjadi dasar validitas model.

Walaupun tujuan penelitian ini adalah untuk pengembangan Model Lokasi BUMN-PSO, namun di dalam perjalanannya penelitian ini dikembangkan untuk penyelesaian masalah alokasi komoditas, dengan karakteristik sistem yang tidak harus mengikuti karakteristik BUMN-PSO, misalnya dalam hal diferensiasi komoditas, bentuk eselonisasi serta bentuk fungsi biaya.

BAB 7 RESOURCE-BASED MODEL

7.1 Pendahuluan

Berdasarkan konsep integrasi yang menjadi dasar dari perbaikan sistem distribusi BUMN-PSO yang berlaku saat ini, sebagaimana dijelaskan pada sub bab 5.4, di dalam penelitian ini dibuat dua model optimasi sistem, yaitu *Product-based model* dan *Resource-based model*. Pengembangan *Product-based model* dijelaskan pada bab 6, sementara pada bab ini dijelaskan tentang pengembangan dari *Resource-based model* (RBM). Pada sub bab 7.2 dijelaskan tentang formulasi dari RBM dan dilanjutkan dengan uraian tentang properti dari formulasi tersebut pada sub bab 7.3. Pada sub bab 7.4 dijelaskan tentang formulasi permasalahan dari RBM dalam bentuk representasi jaringan beserta solusinya. Pada sub bab 7.5 diuraikan tentang *stepwise* dari algoritma program serta program aplikasi yang dikembangkan untuk penyelesaian RBM. Program aplikasi tersebut diujicobakan pada beberapa contoh kasus dan salah satu kasus diuraikan secara detail pada sub bab 7.6. Dari aplikasi terhadap beberapa contoh kasus tersebut dilakukan komparasi antara solusi RBM dengan PBM untuk melihat kinerja dari keduanya. Hal ini dijelaskan pada sub bab 7.7.

7.2 Formulasi Resource-based Model

Resource-based model (RBM) dibedakan dengan *product-based model* (PBM) dalam hal ruang lingkup integrasi di dalam optimasi sistem distribusi. Apabila pada PBM optimasi dari tiap-tiap jenis komoditas bersifat independen satu sama lain, maka pada RBM optimasi dari semua jenis komoditas dilakukan secara simultan. Dasar pemikiran dari konsep RBM ini adalah sebagai berikut :

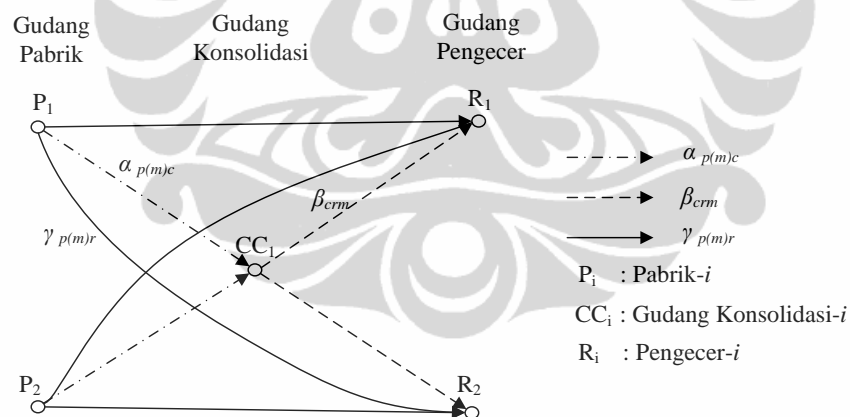
1. Multi komoditas yang dikelola oleh sistem distribusi BUMN menggunakan bahan baku (*raw material*) yang sama dan biaya pengadaan bahan baku ini meliputi 60% dari biaya total produksi.
2. Apabila pada PBM sistem pembebanan pada tiap pabriknya didasarkan pada kemampuan produksi pabrik terhadap tiap jenis komoditas, maka pada RBM pembebanan didasarkan pada kemampuan suplai bahan baku dari tiap pabriknya. Dengan sistem optimasi yang dilakukan secara sentral oleh

perusahaan induk, maka perusahaan induk melakukan pembebanan produksi pada semua pabrik serta distribusi ke semua titik permintaan berdasarkan kemampuan suplai bahan baku setiap pabriknya. Oleh karenanya, model RBM ini dapat digunakan bila jenis komoditas yang dikelola oleh perusahaan memiliki karakteristik yang sama dengan BUMN-PSO ini, yaitu dibentuk oleh satu bahan baku utama yang sama.

Dengan alternatif sistem optimasi ini, diharapkan akan tercapai efisiensi sistem yang lebih baik (Soehodho, S. dan Nahry, 2010a).

Berdasarkan rasional ini, dengan menggunakan contoh jaringan distribusi pada gambar 7.1, dikembangkan formulasi pemrograman matematis dari RBM. Untuk penyederhanaan, RBM dikembangkan untuk kasus Model Alokasi dengan fungsi biaya berbentuk linier. Bentuk model usulan ini tidak bersifat baku. Dimungkinkan untuk memodifikasi model ini, baik dalam hal bentuk eselonisasi jaringan, bentuk fungsi biaya serta dalam hal pembatasan kapasitas pada gudang.

Formulasi Model Alokasi RBM dapat dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 7. 1 Contoh bentuk jaringan distribusi usulan yang disederhanakan

Bentuk pemrograman matematis Model Alokasi dari RBM adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \min Z (\alpha_{p(m)c}, \beta_{crm}, \gamma_{p(m)r}) = & \\ \sum_{p \in P} \sum_{c \in C} \sum_{m \in M} u_{pc} \cdot \alpha_{p(m)c} + \sum_{c \in C} \sum_{r \in R} \sum_{m \in M} v_{cr} \cdot \beta_{crm} + \sum_{p \in P} \sum_{r \in R} \sum_{m \in M} z_{pr} \cdot \gamma_{p(m)r} + \sum_{p \in P} \sum_{c \in C} \sum_{m \in M} w_{cm} \cdot \alpha_{p(m)c} + & \\ \sum_{p \in P} \sum_{m \in M} \left(\sum_{c \in C} \alpha_{p(m)c} + \sum_{r \in R} \gamma_{p(m)r} \right) \cdot \eta_{p(m)} - \sum_{r \in R} \sum_{m \in M} \left(\sum_{c \in C} \beta_{crm} + \sum_{p \in P} \gamma_{p(m)r} \right) \cdot \rho_{rm} & \quad (7.1) \end{aligned}$$

subject to

$$\sum_{p \in P} \alpha_{p(m)c} = \sum_{r \in R} \beta_{crm}, \quad \forall c \in C, \forall m \in M \quad (7.2)$$

$$\sum_{c \in C} \beta_{crm} + \sum_{p \in P} \gamma_{p(m)r} = \lambda_{rm}, \quad \forall r \in R, \forall m \in M^s \quad (7.3)$$

$$\sum_{c \in C} \beta_{crm} + \sum_{p \in P} \gamma_{p(m)r} \leq \lambda_{rm}, \quad \forall r \in R, \forall m \in M^c \quad (7.4)$$

$$\left(\sum_{c \in C} \sum_{m \in M} \alpha_{p(m)c} + \sum_{r \in R} \sum_{m \in M} \gamma_{p(m)r} \right) \mu_m \leq C p_p, \quad \forall p \in P \quad (7.5)$$

$$\alpha_{p(m)c} \geq 0, \quad \forall p \in P, \forall c \in C, \forall m \in M \quad (7.6)$$

$$\beta_{crm} \geq 0, \quad \forall c \in C, \forall r \in R, \forall m \in M \quad (7.7)$$

$$\gamma_{p(m)r} \geq 0, \quad \forall p \in P, \forall r \in R, \forall m \in M \quad (7.8)$$

Initial :

- p : menunjukkan nomor pabrik
- c : menunjukkan nomor gudang konsolidasi
- r : menunjukkan pengecer
- m : menunjukkan jenis komoditas
- $p(m)$: menunjukkan pabrik $p \in P$ yang memproduksi komoditas- m

Kumpulan :

- P : Kumpulan pabrik
- C : Kumpulan gudang konsolidasi
- R : Kumpulan pengecer
- M : Kumpulan komoditas
- $M^s \in M$: Kumpulan komoditas subsidi
- $M^c \in M$: Kumpulan komoditas komersial

Variabel Keputusan :

- $\alpha_{p(m)c}$: kuantitas komoditas- m yang berpindah dari pabrik $p(m)$ ke gudang konsolidasi- c
- β_{crm} : kuantitas komoditas- m yang berpindah dari gudang konsolidasi- c ke gudang pengecer- r
- $\gamma_{p(m)r}$: kuantitas komoditas- m yang berpindah dari pabrik $p(m)$ ke pengecer- r

Parameter Input :

- ρ_{rm} : harga jual komoditas- m pada pengecer- r
- u_{pc} : jarak dari pabrik- p ke gudang konsolidasi- c
- v_{cr} : jarak dari gudang konsolidasi- c ke gudang pengecer- r
- z_{pr} : jarak dari pabrik- p ke gudang pengecer- r
- w_{cm} : biaya satuan untuk mengelola komoditas- m di gudang konsolidasi- c
- η_{pm} : biaya satuan untuk memproduksi komoditas- m di pabrik- p
- λ_{rm} : permintaan terhadap komoditas- m pada pengecer- r
- Cp_p : kapasitas bahan baku dari pabrik- p
- μ_m : koefisien konversi bahan baku dari komoditas- m

7.3 Properti Resource-based Model

Properti dari Model Alokasi usulan untuk RBM dijelaskan sebagai berikut :

- Fungsi tujuan adalah memaksimalkan keuntungan dan secara matematis dinyatakan dalam bentuk meminimalkan (biaya – pendapatan).
- Fungsi tujuan melibatkan sejumlah komoditas- m (multi komoditas), sejumlah titik sumber dan titik konsumen (*multi sources multi consumers*)
- Tiga suku pertama dari fungsi tujuan adalah merupakan representasi dari biaya transportasi, berturut-turut antara pabrik dan gudang konsolidasi, gudang konsolidasi dan gudang pengecer, serta antara pabrik dan gudang pengecer. Dalam hal ini, biaya transportasi berbentuk fungsi linier.
- Suku ke-empat menggambarkan biaya untuk mengelola komoditas pada gudang konsolidasi.
- Suku ke-lima dari fungsi tujuan menggambarkan biaya produksi yang berbentuk fungsi linier.

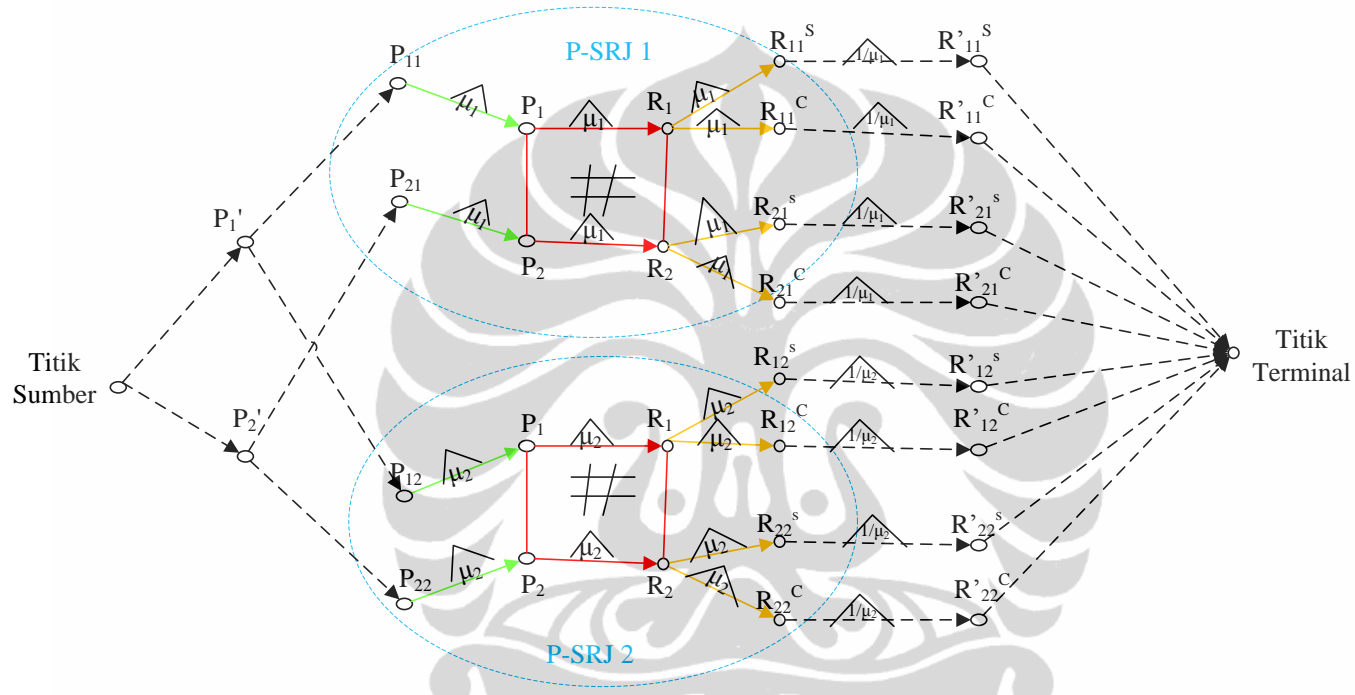
- Suku ke-enam menggambarkan komponen pendapatan, yaitu volume komoditas dikalikan dengan harga jual satuan komoditas. Mengingat pendapatan secara matematis bersifat negatif dengan biaya, maka suku kedelapan bernilai negatif.
- Persamaan (7.2) merupakan kendala konservasi arus di gudang konsolidasi
- Persamaan (7.3) ~ (7.4) menggambarkan batasan yang terkait dengan pemenuhan permintaan di gudang pengecer, berturut-turut terhadap komoditas subsidi dan komersial.
- Persamaan (7.5) menggambarkan bahwa jumlah bahan baku yang digunakan untuk memproduksi sejumlah komoditas di tiap pabrik tidak boleh melebihi kapasitas bahan baku dari pabrik tersebut. Persamaan ini merupakan ciri khusus dari RBM yang membedakannya dengan PBM. Koefisien μ_m menggambarkan jumlah komoditas- m yang dapat diproduksi dari satu unit bahan baku.
- Persamaan (7.6)~(7.8) merupakan kendala arus non-negatif, yaitu menandai bahwa besarnya arus tidak boleh negatif.
- Mengingat semua komponen dari fungsi tujuan berbentuk fungsi linier dan kendala dari fungsi tujuan seluruhnya bersifat linear, maka model usulan berbentuk masalah *Minimum Cost Flow problem* (MCF).

7.4 Formulasi Representasi Jaringan bagi Resource-based Model

7.4.1 Properti Representasi Jaringan dari Resource -based Model

Representasi jaringan dari RBM terbentuk dari sejumlah Produk - Sub Representasi Jaringan (P-SRJ) yang digabungkan menjadi satu RJ. Untuk membentuk RJ tersebut, ditambahkan beberapa ruas dan titik semu yang berfungsi untuk mengintegrasikan semua P-SRJ. Suatu contoh RJ dari RBM diperlihatkan pada gambar 7.2. Pada contoh tersebut, RJ berkaitan dengan sistem yang mengelola dua jenis komoditas. Pembentukan RJ tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Karena sistem mengelola dua jenis komoditas, maka RJ pada dasarnya terdiri dari P-SRJ dari kedua komoditas. Untuk penyederhanaan, pada gambar 7.2 setiap P-SRJ digambarkan secara lebih ringkas.



- P_i : Pabrik- i
- R_i : Pengecer- i
- P_{im} : Pabrik- i yang memproduksi produk- m
- R_{im}^s : Titik semu pengecer- i terkait produk- m subsidi
- R_{im}^c : Titik semu pengecer- i terkait produk- m komersial
- P_i' : Titik semu dari pabrik - i
- R'_{i-m}^s : Pengecer semu - i terkait dengan produk- m subsidi
- R'_{i-m}^c : Pengecer semu - i terkait dengan produk- m komersial
- μ_m : Koefisien konversi bahan baku untuk produk- m
- > Ruas dari Transformed Sub Network Representation

Gambar 7.2 Contoh Representasi Jaringan dari Resource-based Model

- Kedua P-SRJ digabungkan dengan cara menambahkan ruas-ruas $P_i'-P_{im}$. Arus yang melewati ruas-ruas tersebut menggambarkan jumlah bahan baku (*resource*) yang digunakan oleh suatu pabrik untuk memproduksi kedua komoditas. Pada contoh gambar 7.2, ruas $P_2'-P_{21}$ menggambarkan total bahan baku yang digunakan oleh pabrik 2 untuk memproduksi sejumlah komoditas 1. Berdasarkan hal tersebut, terlihat bahwa arus yang melewati ruas-ruas ini memiliki besaran yang berbeda dengan arus yang melewati ruas-ruas P-SRJ. Apabila ruas-ruas pada P-SRJ dilewati oleh arus dengan satuan yang didasarkan pada jenis komoditas (*product-based unit*), maka pada ruas-ruas semu $P_i'-P_{im}$ arus yang lewat memiliki satuan yang didasarkan pada volume bahan baku (*resource-based unit*).
- Transformasi antara kedua jenis satuan tersebut menggunakan suatu besaran yang disebut Koefisien Konversi Bahan Baku (μ_m). Ide pembentukan koefisien ini merujuk pada *coefficient of change* (Glover et al, 1992) , yaitu suatu angka yang berfungsi untuk menjelaskan bagaimana suatu besaran arus berubah akibat dari aktivitas yang dilakukan terhadapnya. Dalam RBM ini, terjadi perubahan besaran arus sebelum titik pabrik dan sesudah titik pabrik. Sebelum titik pabrik, besaran arus mewakili bahan baku, sementara sesudah pabrik besaran arus mewakili komoditas.
- Di bagian hilir, kembali diperlukan suatu mekanisme untuk mengkonversikan satuan komoditas menjadi satuan bahan baku. Arus pada ruas-ruas $R_{im}-R_{im}'$ menggambarkan total komoditas- m yang disuplai kepada pengecer- i , dimana besarnya sudah dikonversi ke dalam satuan bahan baku.
- Selanjutnya, kepada setiap titik P_i' ditambahkan ruas yang berasal dari suatu titik sumber dan kepada setiap titik R_{im}' ditambahkan ruas yang menuju ke suatu titik terminal. Apabila sistem terkait dengan masalah MCF, maka titik sumber dan titik terminal yang dibutuhkan masing-masing hanya satu karena di dalam penyelesaian masalah MCF dibutuhkan jaringan yang berbentuk satu sumber satu terminal. Sedangkan pada masalah MCMF, hal demikian tidak selalu diperlukan.
- Kapasitas pada ruas-ruas antara titik sumber dan P_i' adalah besarnya kemampuan maksimum pabrik- i untuk menyediakan bahan baku, sementara

kapasitas pada ruas-ruas antara titik $R_{im} - R'_{im}$ adalah besarnya permintaan pengecer- i terhadap komoditas- m (setelah dikonversi ke dalam besaran bahan baku). Kapasitas pada ruas-ruas $P_i - P_{im}$ serta $R_{im} - \text{titik terminal}$ didisain sebagai ruas dengan kapasitas tak terbatas.

- Biaya satuan dari ruas-ruas yang tidak termasuk P-SRJ (disebut sebagai sub jaringan transformasi) ditentukan sama dengan nol karena ruas-ruas ini merupakan ruas semu. Namun untuk kasus BUMN-PSO, biaya satuan di ruas-ruas antara $R_{im} - R'_{im}$ yang terkait dengan komoditas subsidi diatur sama dengan nol sedangkan yang terkait dengan komoditas komersial diatur sebagai suatu angka sembarang yang sangat besar. Konsensus ini dibuat dalam rangka memprioritaskan pemenuhan kebutuhan subsidi dibandingkan kebutuhan komersial.

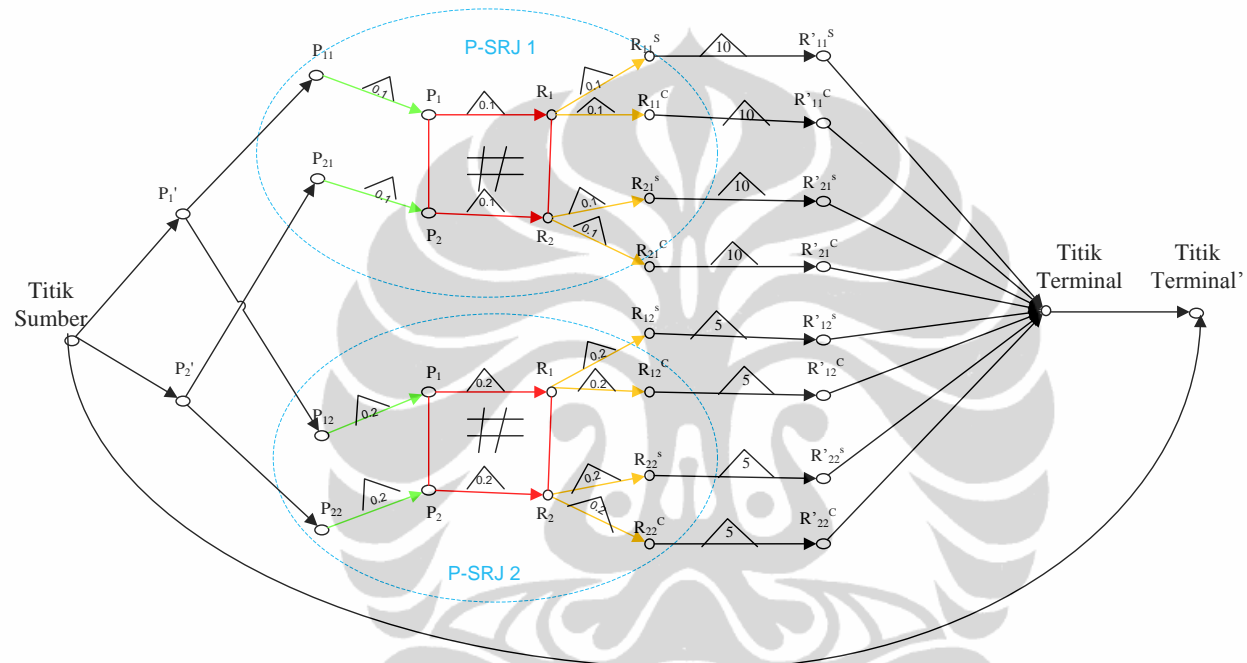
7.4.2 Formulasi Ketidakseimbangan Suplai dan Permintaan

7.4.2.1 Kondisi Suplai Berlebih

Pada kondisi kemampuan suplai bahan baku lebih besar dibandingkan dengan permintaan terhadapnya, maka pada RJ dari RBM ditambahkan Titik Terminal'. Selanjutnya, dari titik sumber maupun titik terminal ditambahkan ruas-ruas menuju titik terminal'. Kapasitas ruas antara titik terminal dan titik terminal' adalah sebesar total permintaan, sementara kapasitas ruas antara titik sumber dan titik terminal' adalah sebesar selisih total suplai dan total permintaan. Biaya satuan dari ruas-ruas tersebut adalah nol. Gambar 7.3 menjelaskan contoh RJ pada kondisi suplai berlebih.

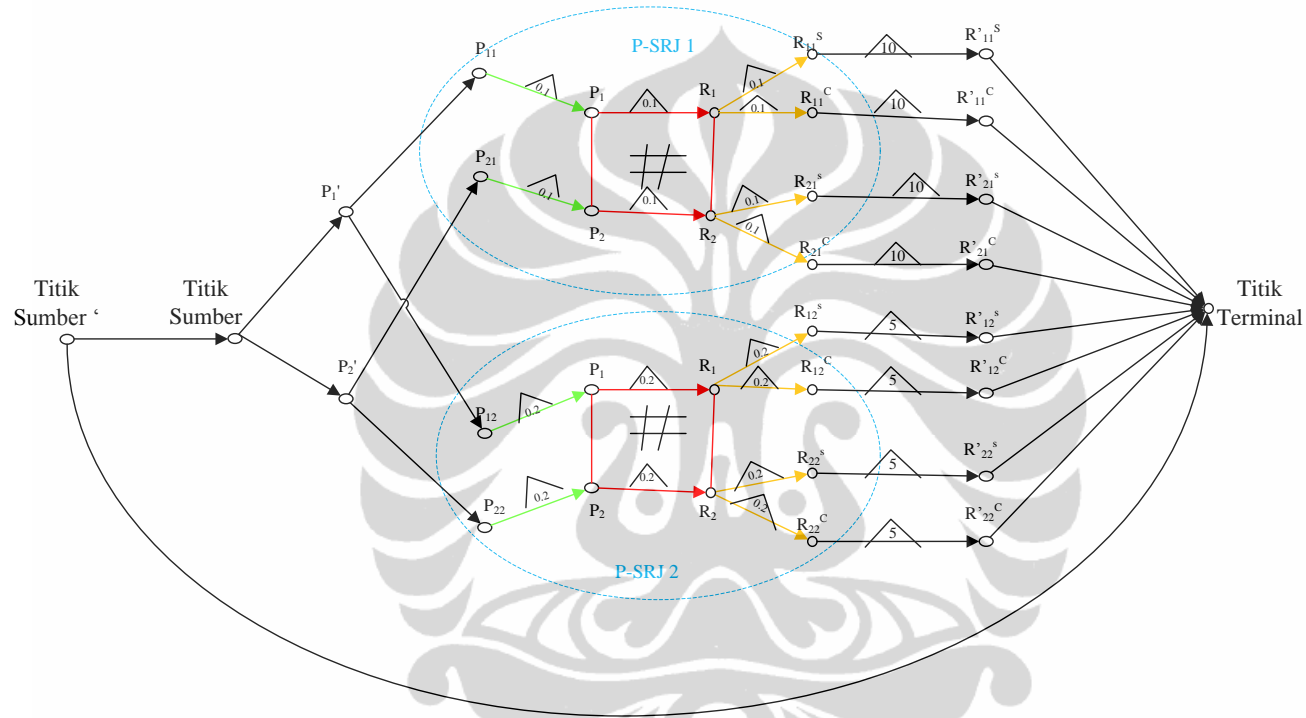
7.4.2.2 Kondisi Permintaan Berlebih

Pada kondisi permintaan terhadap bahan baku lebih besar dibandingkan dengan kemampuan suplai terhadapnya, maka pada RJ dari RBM ditambahkan Titik Sumber'. Selanjutnya, dari titik sumber' ditambahkan ruas-ruas menuju titik sumber dan titik terminal. Kapasitas ruas antara titik sumber' dan titik sumber adalah sebesar total kemampuan suplai bahan baku, sementara kapasitas ruas antara titik sumber ' dan titik terminal adalah sebesar selisih antara total permintaan dan total suplai. Biaya satuan dari ruas-ruas tersebut adalah nol. Gambar 7.4 menjelaskan contoh RJ pada kondisi permintaan berlebih.



- P_i : Pabrik- i
- R_i : Pengecer- i
- P_{im} : Pabrik- i yang memproduksi produk- m
- R_{im}^s : Titik semu pengecer- i terkait produk- m subsidi
- R_{im}^c : Titik semu pengecer- i terkait produk- m komersial
- P_i' : Titik semu dari pabrik - i
- R_{i-m}^s : Pengecer semu - i terkait dengan produk- m subsidi
- R_{i-m}^c : Pengecer semu - i terkait dengan produk- m komersial
- μ_m : Koefisien konversi bahan baku untuk produk- m

Gambar 7.3 Contoh Representasi Jaringan dari RBM dalam kondisi suplai berlebih



- P_i : Pabrik- i
- R_i : Pengecer- i
- P_{im} : Pabrik- i yang memproduksi produk- m
- R_{im}^s : Titik semu pengecer- i terkait produk- m subsidi
- R_{im}^c : Titik semu pengecer- i terkait produk- m komersial
- P_i' : Titik semu dari pabrik - i
- R_{i-m}^s : Pengecer semu - i terkait dengan produk- m subsidi
- R_{i-m}^c : Pengecer semu - i terkait dengan produk- m komersial
- μ_m : Koefisien konversi bahan baku untuk produk- m

Gambar 7.4 Contoh Representasi Jaringan dari RBM dalam kondisi permintaan berlebih

7.4.3 Masalah Minimum Cost Flow dari Representasi Jaringan

Setelah terbentuk RJ, maka masalah asal dari RBM selanjutnya dapat dinyatakan dalam masalah RJ dengan pemrograman matematis sebagai berikut :

$$\min Z (x_{ij}) = \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} \cdot x_{ij} \quad (7.9)$$

subject to:

$$\sum_{(j:(i,j) \in A)} x_{ij} - \sum_{(j:(j,i) \in A)} x_{ji} = b(i) \quad \forall i \in N \quad (7.10)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad \forall (i,j) \in A \quad (7.11)$$

dimana :

$$\sum_{i=1}^n b(i) = 0 \quad (7.12)$$

N : Kumpulan titik pada Representasi Jaringan

A : Kumpulan ruas pada Representasi Jaringan

n : jumlah titik dalam Representasi Jaringan

Variabel Keputusan :

x_{ij} : besarnya arus bahan baku pada ruas (i,j)

Parameter Input :

$b(i)$: kebutuhan arus di titik- i

Fungsi Input :

c_{ij} , $\forall (i,j) \in A$: biaya satuan ruas (i,j)

Masalah pada pemrograman matematis di atas merupakan masalah *Minimum Cost Flow* (MCF) karena fungsi tujuan berbentuk fungsi linier dan seluruh kendala membentuk *convex polyhedron*.

Selanjutnya , solusi masalah MCF dari RJ dapat diselesaikan dengan algoritma Primal-Dual, sebagaimana dijelaskan pada sub bab 3.3.4.2 dan

gambar 3.11. Luaran dari Primal-Dual adalah *path* optimal serta arus optimal dari RJ.

Arus optimal yang merupakan luaran dari algoritma Primal-Dual ini menggambarkan arus bahan baku, padahal di dalam operasionalnya pembebanan produksi pada tiap pabrik serta sistem distribusinya berdasarkan pada satuan komoditas. Oleh karenanya, untuk kepentingan operasional, arus optimal dikonversikan ke dalam satuan komoditas dengan menggunakan koefisien konversi bahan baku (μ_m). Selanjutnya, besarnya arus optimal pada ruas-ruas $P_{im} - P_i$ dapat diasumsikan sebagai kapasitas produksi minimal dari pabrik-*i* terhadap komoditas-*m*.

Dari penjelasan tersebut, dapat disimpulkan bahwa pada RBM kapasitas produksi pabrik terhadap komoditas tertentu merupakan variabel keputusan dari model, sedangkan pada PBM kapasitas pabrik merupakan masukan model. Hal ini merupakan perbedaan mendasar diantara keduanya. Dengan dijadikannya kapasitas pabrik sebagai variabel keputusan, diharapkan sistem yang terintegrasi ini dapat lebih efisien, yaitu sistem yang dapat memberikan nilai fungsi tujuan yang lebih baik kepada sistem.

Apabila masalah pada RBM berkaitan dengan fungsi biaya *concave*, maka penyelesaian masalah MCMF mengikuti prosedur penyelesaian masalah MCMF, sebagaimana dijelaskan pada bab 6.

7.5 Pengembangan Program Aplikasi

7.5.1 Stepwise dari Solusi Model

7.5.1.1 Stepwise dari Solusi Model Alokasi (Metode Linierisasi)

Variabel luaran program :

$x_{ij \text{ komoditas}}$: Arus optimal di tiap ruas dan path optimalnya.

Z : Nilai fungsi tujuan

Asumsi untuk metode Linierisasi :

- Jaringan bisa berbentuk sumber tunggal atau multi sumber
- Uncapacitated atau capacitated warehouse

- Untuk data masukan, besaran suplai dalam satuan bahan baku, sedangkan besaran permintaan dalam satuan jenis komoditas

Step 0 : Inisialisasi

Pembentukan Produk Sub Representasi Jaringan dari komoditas- m

$$G[P-SRJ]_m \quad \forall m \in M$$

Transformasi fungsi biaya

$$BB_{ij} := 0 \quad \forall (i, j) \in G[P-SRJ]_m \quad \forall m \in M$$

$$BA_{ij} := \min \{ \mu_m \text{ total suplai}, -\text{total permintaan} \}$$

$$\forall (i, j) \in G[P-SRJ]_m \quad \forall m \in M$$

Lakukan transformasi fungsi biaya *concave* $cc_{ij} = a_{1ij} \cdot x_{ij}^{a_{2ij}}$

$$\text{menjadi fungsi linier } c_{ij} = \mu_m \frac{(a_{1ij} \cdot BA_{ij}^{a_{2ij}}) - (a_{1ij} \cdot BB_{ij}^{a_{2ij}})}{BA_{ij} - BB_{ij}}$$

$$\forall i, j \in G[P-SRJ]_m \quad \forall m \in M$$

Step 1: Pembentukan RJ dari Resource-Based Model

Step 1a : Tambahkan titik asal ‘

Tambahkan P -titik s' (P : jumlah pabrik), dimana setiap titik s' mewakili satu titik pabrik

Step 1b : Tambahkan ruas-ruas dari titik asal ‘

Tambahkan ruas-ruas dari satu titik s' menuju ke setiap titik asal

$G[P-SRJ]_m \quad \forall m$ yang terkait dengan pabrik- s'

$$r_{ij} := \infty \quad \forall (i, j) \text{ antara } s' \text{- titik asal } G[P-SRJ]_m \quad \forall m;$$

$$c_{ij} := 0 \quad \forall (i, j) \text{ antara } s' \text{- titik asal } G[P-SRJ]_m \quad \forall m$$

Step 1c : Tambahkan titik asal

Tambahkan titik s dan ruas-ruas dari titik- s menuju setiap titik- s' .

$$r_{ij} := \text{kapasitas bahan baku dari pabrik yang terkait dengan } s' \quad \forall (i, j)$$

$$\text{antara } s \text{-} s'; \quad c_{ij} := 0 \quad \forall (i, j) \text{ antara } s \text{-} s';$$

$$b(s) := \max \{ \text{total suplai bahan baku}, -\sum_m \frac{\text{total permintaan } m}{\mu_m} \};$$

$$e(s) := b(s)$$

Step 1d : Tambahkan titik terminal'

Tambahkan sejumlah titik- t' dan ruas dari satu titik tujuan

$G[P-SRJ]_m \quad \forall m$ menuju satu titik- t' . $r_{ij} := -\frac{\text{permintaan } -i}{\mu_m} \quad \forall (i, j)$ antara titik tujuan $G[P-SRJ]_m \quad \forall m - t'$; $c_{ij} := 0 \quad \forall (i, j)$ antara titik tujuan $G[P-SRJ]_m \quad \forall m - t'$, bila titik- i terkait dengan komoditas subsidi; $c_{ij} := \infty \quad \forall (i, j)$ antara titik tujuan $G[P-SRJ]_m \quad \forall m - t'$, bila titik- i terkait dengan komoditas komersial.

Step 1e : Tambahkan titik terminal

Tambahkan titik - t dan ruas-ruas dari titik- t' menuju setiap titik- t .

$$r_{ij} := \infty \quad \forall (i, j) \text{ antara } t'-t; c_{ij} := 0 \quad \forall (i, j) \text{ antara } t'-t;$$

$$b(t) := - \max \{ \text{total suplai bahan baku}, - \sum_m \frac{\text{total demand } m}{\mu_m} \};$$

$$e(t) := b(t)$$

Step 1f : Redefinisi kebutuhan arus di titik untuk titik-titik antara

$$b(i)_m := 0 \quad \forall i \neq s, i \neq t$$

Step 2 : Pembentukan Excess Subnetwork, bila ada

Jika $\text{Total suplai} > - \sum_m \frac{\text{total permintaan } m}{\mu_m}$, tambahkan titik- t'' dan

$$\text{ruas } s-t'' \text{ serta ruas } t-t''. r_{st''} := \text{total suplai} + \sum_m \frac{\text{total permintaan } m}{\mu_m};$$

$$c_{st''} := 0; r_{tt''} := - \sum_m \frac{\text{total permintaan } m}{\mu_m}; c_{tt''} := 0; b(t) := 0;$$

$$b(t'') := -\text{total suplai}; b(i) := 0 \quad \forall i \neq s, i \neq t'';$$

$$e(s) := \text{total suplai}; e(t'') := -\text{total suplai}.$$

Jika tidak, bila $\text{Total suplai} < \sum_m \frac{\text{total permintaan } m}{\mu_m}$, tambahkan

titik- s'' dan ruas $s''-t$ serta ruas $s''-s$.

$$r_{s''t} := - \sum_m \frac{\text{total permintaan } m}{\mu_m} - \text{total suplai}; c_{s''t} := 0;$$

$$r_{s''s} := \text{Total suplai}; c_{s''s} := 0; b(s) := 0;$$

$$b(s'') := -\text{total permintaan}; b(i) := 0 \quad \forall i \neq s'', i \neq t;$$

$$e(s'') := -\text{total permintaan}; e(t) := \text{total permintaan}.$$

Jika tidak, menuju step 3.

Step 3 : Penyelesaian masalah MCF dengan algoritma Primal-Dual

Inisialisasi : $n := 0$; Residual Network := $G(x) := G[RJ]$; $c_{ij}^{\pi n} := c_{ij}$;

$$\pi_i^n := 0; x_{ij} := 0 \quad \forall (i, j) \in RJ; \forall (i, j) \in RJ, \text{ berlaku } x_{ji} := 0,$$

$$r_{ji} := 0$$

Step 3a : Tentukan shortest path dari titik-s ke titik-i

$n := n + 1$. Shortest path $d_i^n \forall i \in G(x)$ berdasarkan $c_{ij}^{\pi^{n-1}}$

Step 3b : Perbarui node potential

$$\pi_i^n := \pi_i^{n-1} - d_i^n \quad \forall i \in G(x)$$

Step 3c : Perbarui reduced cost

$$c_{ij}^{\pi^n} := c_{ij} - \pi_i^n + \pi_j^n \quad \forall (i,j) \in G(x)$$

Step 3d : Tentukan Admissible Network $G^0(x)$

Set $c_{ij}^{\pi^n} := 0 \quad \forall (i,j)$ dari $G^0(x)$

Step 3e : Pilih satu path p^n antara s-t dari $G^0(x)$. Tentukan augmented flow Δ

$$\Delta := \min_{(i,j) \in p^n} x_{ij} \quad \forall (i,j) \in p^n ; \quad x_{ij} := x_{ij} + \Delta \quad \forall (i,j) \in p^n ;$$

$$\Delta := 0 ; \quad x_{ij} := x_{ij} \quad \forall (i,j) \notin p^n$$

Step 3f : Perbarui Residual Network $G(x)$

$r_{ij} := r_{ij} - x_{ij}$. Jika $x_{ij} > 0$ dan $x_{ji} = 0$, tambahkan ruas (j,i) ,

dimana $r_{ji} := x_{ij} ; c_{ji} = -c_{ij} ; c_{ji}^{\pi^n} := -c_{ij}^{\pi^n} \quad \forall (i,j) \in G[RJ]$.

Jika $x_{ij} > 0$ dan $x_{ji} > 0$, $r_{ji} := x_{ij} ; c_{ji} = -c_{ij} ;$

$$c_{ji}^{\pi^n} := -c_{ij}^{\pi^n} \quad \forall (i,j) \in G[RJ].$$

Step 3g : Perbarui $e(s)$ dan $e(t)$

$$e(s) := e(s) - \Delta ; e(t) := e(t) + \Delta$$

Jika pilihan adalah metode linierisasi bertahap, menuju step 3h.

Jika pilihan adalah metode linierisasi tunggal, menuju step 3i

Step 3h : Perbarui batas bawah dan batas atas arus serta biaya satuan ruas

Jika $e(s) : \neq 0$, $x_{ij} := x_{ij} - x_{ji} \quad \forall (i,j) \in G[RJ]$. Perbarui batas bawah

dan batas atas arus serta biaya satuan ruas. $BB_{ij} := \mu_m x_{ij} ;$

$$BA_{ij} := \mu_m (e(s) + x_{ij}) ;$$

$$c_{ij} = \mu_m \frac{(a_{1ij} \cdot BA_{ij}^{a_{2ij}}) - (a_{1ij} \cdot BB_{ij}^{a_{2ij}})}{BA_{ij} - BB_{ij}} \quad \forall i,j \in G[RJ] ,$$

kembali ke step 3a . Jika tidak, menuju step 4.

Step 3i : Updating

Jika $e(s) : \neq 0$, kembali ke step 3a .Jika tidak, menuju step 4.

Step 4 : Superimpose x_{ij} dari semua $G[P-SRJ]$

Step 5 : Transformasi besaran arus bahan baku menjadi besaran arus komoditas

$$x_{ij \text{ komoditas}} := \mu_m x_{ij} \quad \forall (i,j) \in \text{superimposed } G[P-SRJ]$$

Step 6 : Hitung nilai fungsi tujuan

$$Z := \sum_{(i,j) \in \text{superimposed } G[P-SRJ]} f_{ij}(x_{ij \text{ komoditas}}) \cdot \text{STOP.}$$

7.5.1.2 Stepwise dari Solusi Model Lokasi

Stepwise dari solusi Model Lokasi dari RBM pada dasarnya sama dengan *stepwise* untuk PBM. Di dalam *stepwise* solusi Model Lokasi terdapat perhitungan nilai fungsi tujuan yang merujuk pada Model Alokasi. Sehingga, perbedaan *stepwise* Model Lokasi antara PBM dan RBM hanya pada perhitungan nilai fungsi tujuannya.

7.5.2 Pengembangan Source Code

Untuk membantu penyelesaian masalah RBM, baik untuk Model Lokasi maupun Model Alokasi, pada penelitian disertasi ini dikembangkan pula program aplikasi. Aplikasi menggunakan bahasa pemrograman Fortran 90.

Program aplikasi untuk RBM pada dasarnya adalah hampir sama dengan aplikasi untuk PBM. Perbedaan utama pada keduanya ada pada prosedur pembentukan RJ. Oleh karenanya, pola pengelompokkan modul dari RBM adalah hampir sama dengan modul dari PBM. Pengelompokkan modul RBM dijelaskan pada tabel 7.1.

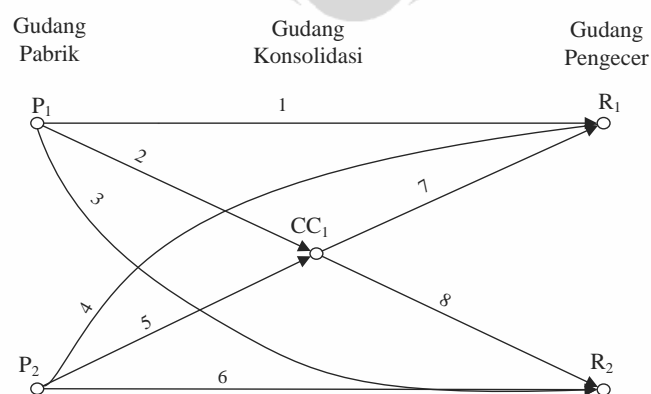
Untuk kasus-kasus dengan fungsi biaya linier, ataupun kasus dengan fungsi biaya *concave* namun dilinerisasi (linierisasi tunggal dan bertahap), dikembangkan aplikasi tersendiri khusus untuk RBM, sementara untuk kasus dengan fungsi biaya *concave* digunakan program aplikasi yang dikembangkan untuk PBM. Pada kasus ini, RJ dari RBM dibentuk secara manual.

Tabel 7.1 Pengelompokkan modul dari program aplikasi untuk RBM

Masalah	Modul	Keterangan
Model Lokasi	Fungsi Concave Dilinierisasi – Kapasitas Dibatasi	Dapat digunakan untuk kasus kapasitas tidak dibatasi
	Fungsi Concave - Kapasitas Tidak Dibatasi	Mengikuti modul yang sama pada PBM
Model Alokasi	Fungsi Concave Dilinierisasi – Kapasitas Dibatasi	Dapat digunakan untuk kasus kapasitas tidak dibatasi
	Fungsi Concave - Kapasitas Tidak Dibatasi	Mengikuti modul yang sama pada PBM

7.6 Contoh Kasus

Suatu jaringan distribusi berbentuk *2-stages*, terdiri dari 2 (dua) pabrik, 1 (satu) gudang konsolidasi dan 2 (dua) gudang pengecer mengelola distribusi 2 (dua) macam komoditas dengan 2 (dua) jenis pengguna, yaitu subsidi dan komersial (lihat gambar 7.5). Koefisien konversi bahan baku dari kedua komoditas digambarkan pada tabel 7.2. Kapasitas produksi pabrik dalam satuan volume komoditas maupun bahan baku digambarkan pada tabel 7.3, sedangkan biaya produksi per jenis komoditas digambarkan pada tabel 7.4. Sistem melayani permintaan dari kedua pengecer seperti ditampilkan pada tabel 7.5, dengan harga jual seperti ditampilkan pada tabel 7.6. Satuan biaya transportasi dijelaskan pada tabel 7.7, sementara biaya satuan untuk mengelola komoditas di gudang konsolidasi adalah 1 satuan moneter.



Gambar 7.5 Jaringan distribusi contoh kasus

Tabel 7.2 Koefisien konversi bahan baku (μ_m)

Komoditas	μ_m
1	0,2
2	0,5

Tabel 7.3 Kapasitas produksi pabrik

Pabrik	Kapasitas (unit)		
	Komoditas		Bahan Baku
	Komoditas 1	Komoditas 2	
1	40	10	13
2	20	60	34
Total	60	70	

Tabel 7.4 Satuan biaya produksi

Pabrik	Biaya produksi per unit	
	Komoditas 1	Komoditas 2
1	3	4
2	6	5

Tabel 7.5 Data permintaan

Pengecer	Permintaan (unit)			
	Komoditas 1		Komoditas 2	
	Subsidi	Komersial	Subsidi	Komersial
1	50	20	10	30
2	30	10	20	40
Total	110		100	

Tabel 7.6 Harga jual komoditas

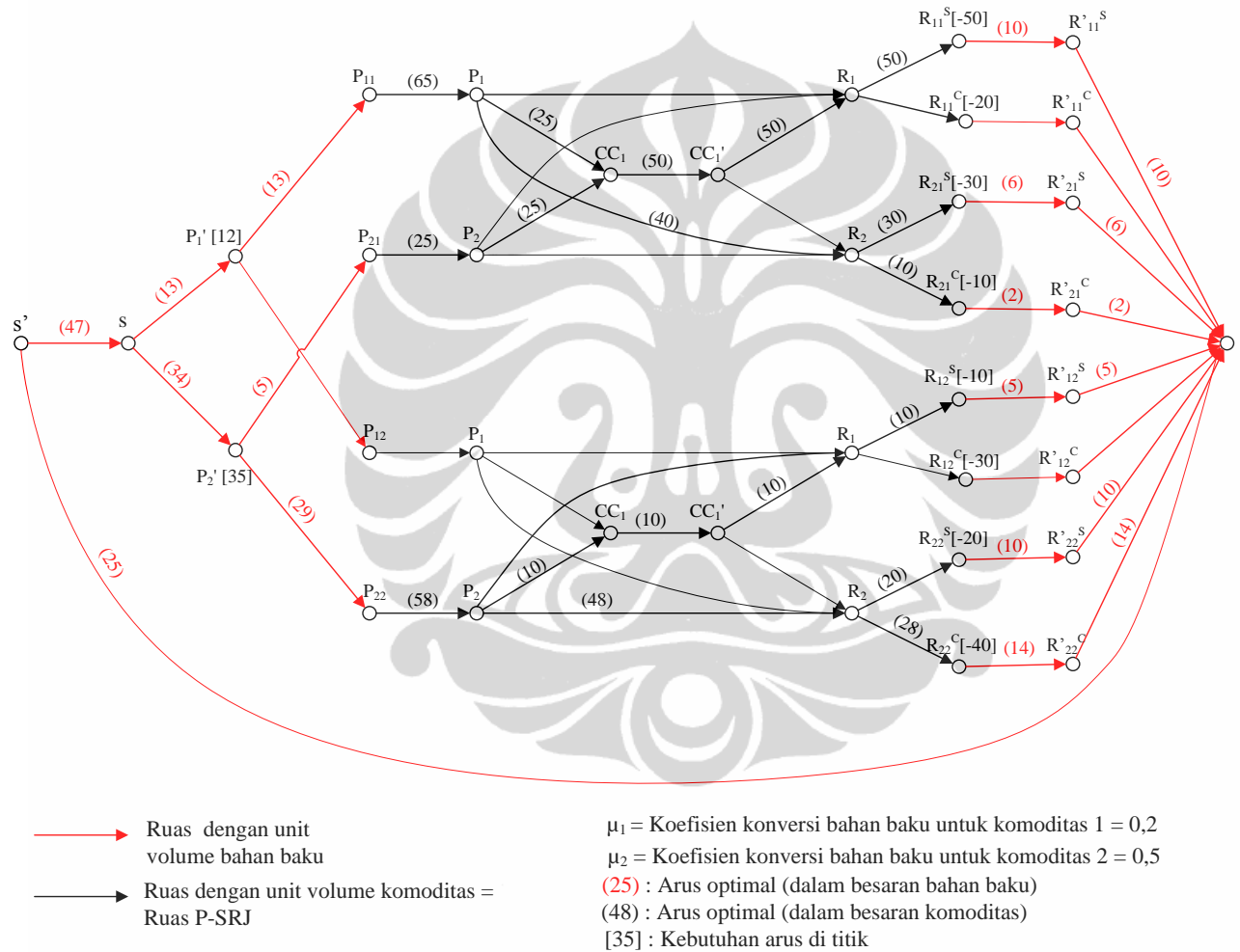
Pengecer	Harga jual per unit			
	Komoditas 1		Komoditas 2	
	Subsidi	Komersial	Subsidi	Komersial
1	10,00	20,00	15,00	30,00
2	10,00	30,00	15,00	40,00

Tabel 7.7 Biaya transportasi per unit komoditas

Ruas	Biaya transportasi per unit komoditas
1	6,00
2	2,00
3	5,00
4	7,00
5	1,00
6	5,00
7	2,00
8	6,00

Solusi dengan Resource-Based Model

Representasi jaringan untuk RBM dari masalah pada contoh kasus ini, beserta arus optimalnya digambarkan pada gambar 7.6. RJ tersusun atas dua P-SRJ (masing-masing dengan ruas berwarna hitam) serta sub jaringan transformasi yang berwarna merah. Berhubung ruas-ruas P-SRJ ditandai oleh besaran arus komoditas, sementara pada sub jaringan transformasi arus yang lewat merupakan besaran arus bahan baku, maka pada titik-titik P_{im} dan R_{im} tampak tidak memenuhi syarat konservasi arus. Namun, dengan mengalikan besaran arus di ruas-ruas P-SRJ dengan koefisien konversi bahan baku μ_m , maka konservasi arus dapat terpenuhi. Nilai fungsi tujuan yang dicapai adalah -1330.



Gambar 7.6 Representasi jaringan dan arus optimal dari RBM

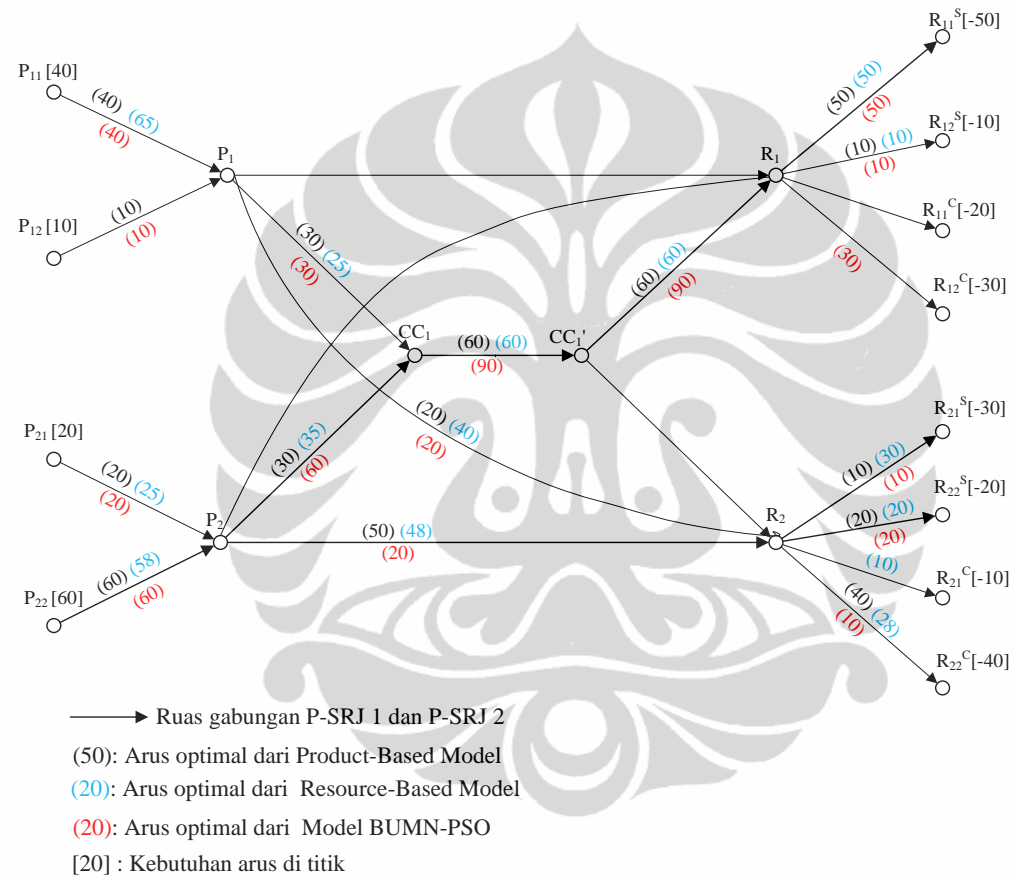
Solusi dengan Product-Based Model dan Model BUMN-PSO

Untuk contoh kasus ini, dilakukan pula perhitungan dengan menggunakan PBM dan model yang digunakan BUMN-PSO. RJ dari PBM dan model BUMN-PSO, yang merupakan *superimpose* dari kedua P-SRJ digambarkan pada gambar 7.7. Nilai fungsi tujuan untuk contoh kasus ini adalah berturut-turut -1450 dan -1180 untuk PBM dan Model BUMN-PSO. Pada gambar 7.7 juga digambarkan solusi dari RBM, sehingga pola arus optimal dari ketiga model dapat dilihat dan dibandingkan.

Pembahasan

Berdasarkan besarnya nilai fungsi tujuan, tampak bahwa solusi optimal dari PBM lebih baik dari RBM maupun model BUMN-PSO. Namun sesungguhnya dalam kasus ini solusi PBM dan BUMN-PSO memiliki kelemahan karena terdapat sebagian permintaan subsidi tidak dapat terpenuhi, yaitu pada pengecer 2. Pada solusi kedua metode tersebut, permintaan terhadap komoditas 1 subsidi pada titik tersebut (R_{21}^S) adalah 30 unit, sementara solusi optimal hanya dapat memenuhi 10 unit. Hal ini terjadi karena total kapasitas produksi dari semua pabrik untuk komoditas 1 hanya 60, sementara pengecer 1 sudah menerima 50 unit, sehingga pengecer 2 hanya dapat dilayani 10 unit. Di sisi lain, di titik pengecer 2 (R_{22}^C) terdapat permintaan komersial yang dapat dipenuhi, walaupun permintaan itu terhadap komoditas 2. Permasalahan tidak terpenuhinya komoditas subsidi ini terjadi karena kapasitas produksi (berdasarkan komoditas) telah ditentukan di awal proses optimasi, sehingga utilisasi bahan baku menjadi tidak optimal. Ini merupakan kelemahan dari PBM maupun model BUMN-PSO.

RBM menyelesaikan permasalahan ini dengan cara mengoptimasi pengelolaan sumber bahan baku dari kedua pabrik, yaitu sebesar 13 dan 34 unit, untuk diproduksi menjadi sejumlah komoditas untuk kedua jenis, dengan seefisien mungkin, sesuai dengan pola permintaan yang ada dan dengan memperhatikan persyaratan kewajiban pemenuhan komoditas subsidi. Solusi RBM menunjukkan bahwa total bahan baku yang dimiliki kedua pabrik digunakan untuk memproduksi 90 unit komoditas 1 dan 58 unit komoditas 2. Dengan pola demikian, seluruh permintaan subsidi dapat terpenuhi.



Gambar 7.7 Representasi jaringan dan arus optimal dari PBM, RBM dan model BUMN-PSO

Di dalam kasus ini, model BUMN-PSO selain memiliki kekurangan yang sama seperti PBM (dalam hal pemenuhan komoditas subsidi) juga kehilangan potensi untuk memperbaiki nilai fungsi tujuannya melalui pertimbangan harga jual. Solusi optimal dari model BUMN-PSO pada gambar 7.7 menunjukkan bahwa sistem memilih untuk mensuplai komoditas 2 komersial di pengecer 1 lebih banyak dibandingkan di pengecer 2, padahal harga jual di pengecer 2 lebih tinggi. Hal ini terjadi karena model bertujuan hanya untuk meminimalkan biaya transportasi dan apabila dilihat dari sisi total biaya solusi tersebut belum tentu yang terbaik.

7.7 Kinerja Resource-Based Model

Untuk melihat kinerja dari RBM, dilakukan komparasi hasil aplikasi RBM pada beberapa contoh kasus dengan solusi dari PBM dan model yang digunakan oleh BUMN-PSO. Tabel 7.8 memperlihatkan rekapitulasi solusi dari aplikasi tersebut, untuk ketiga model. Dari hasil aplikasi pada 24 contoh kasus, terlihat bahwa RBM menghasilkan solusi optimal yang lebih baik dibandingkan dengan PBM maupun model BUMN-PSO.

Namun demikian, pada beberapa kasus, PBM ataupun model BUMN-PSO memberikan hasil yang lebih baik, terutama pada kasus suplai dan permintaan seimbang. Hal ini sejalan dengan kesimpulan yang dihasilkan pada bab 6 tentang komparasi antara solusi PBM dan model BUMN-PSO.

Di dalam hal waktu komputasi untuk 24 kasus tersebut, menunjukkan bahwa model PBM dan RBM memberikan waktu komputasi yang hampir sama dan kecil sekali (rata-rata 0,05 detik). Waktu komputasi yang kecil disebabkan ukuran jaringan yang tidak terlalu besar dan metode solusi yang digunakan adalah Linierisasi Tunggal. Sementara itu, waktu komputasi kedua model dimungkinkan sama walaupun ukuran representasi jaringan pada RBM lebih besar dibandingkan dengan PBM karena optimasi PBM dilakukan sejumlah M -kali (dimana M adalah jumlah jenis komoditas), sedangkan optimasi pada RBM dilakukan satu kali untuk semua komoditas.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa RBM dapat dijadikan alternatif solusi untuk meningkatkan efisiensi sistem distribusi BUMN-PSO.

Tabel 7.8 Rekapitulasi hasil aplikasi RBM , PBM dan model BUMN-PSO

Kasus	Karakteristik			Nilai Fungsi Tujuan			Kesimpulan	
	Besar Suplai & Permintaan	Bentuk Jaringan	Biaya	PBM	RBM	BUMN		
1	Permintaan berlebih (1)	Tipe 1		-1.450	-1.330	-1.180	PBM lebih baik *)	9,02%
2	Permintaan berlebih (2)	Tipe 1		-850	-866	-670	RBM lebih baik	1,88%
3	Suplai berlebih (1)	Tipe 1		-2.670	-2.670	-2.410	PBM & RBM sama baiknya	
4	Suplai berlebih (2)	Tipe 1		-2.660	-2.670	-2.400	RBM lebih baik	0,38%
5	Suplai berlebih (3)	Tipe 1		-2.650	-2.670	-2.410	RBM lebih baik	0,75%
6	Permintaan dan suplai seimbang	Tipe 1		-2.510	-2.565	-2.510	RBM lebih baik	2,19%
7	Permintaan berlebih (1)	Tipe 2	Tipe 1	-15.620	-16.309	-15.394	RBM lebih baik	4,41%
8	Permintaan berlebih (2)	Tipe 2	Tipe 1	-14.616	-15.001	-14.468	RBM lebih baik	2,63%
9	Suplai berlebih (1)	Tipe 2	Tipe 1	-19.714	-19.114	-19.254	PBM lebih baik	3,14%
10	Suplai berlebih (2)	Tipe 2	Tipe 1	-18.790	-19.419	-18.204	RBM lebih baik	3,35%
11	Permintaan dan suplai seimbang (1)	Tipe 2	Tipe 1	-19.294	-19.060	-19.296	Model BUMN lebih baik	1,24%
12	Permintaan dan suplai seimbang (2)	Tipe 2	Tipe 1	-18.370	-18.552	-18.372	RBM lebih baik	0,99%
13	Permintaan berlebih (1)	Tipe 2	Tipe 2	-15.730	-16.357	-15.454	RBM lebih baik	3,99%
14	Permintaan berlebih (2)	Tipe 2	Tipe 2	-14.706	-15.018	-14.538	RBM lebih baik	2,12%
15	Suplai berlebih (1)	Tipe 2	Tipe 2	-19.894	-19.181	-19.322	PBM lebih baik	3,72%
16	Suplai berlebih (2)	Tipe 2	Tipe 2	-19.190	-19.557	-18.464	RBM lebih baik	1,91%
17	Permintaan dan suplai seimbang (1)	Tipe 2	Tipe 2	-19.374	-19.112	-19.374	Model BUMN & PBM lebih baik	1,37%
18	Permintaan dan suplai seimbang (2)	Tipe 2	Tipe 2	-18.670	-18.614	-18.672	Model BUMN lebih baik	0,31%
19	Permintaan berlebih (1)	Tipe 3		-7.470	-8.075	-7.190	RBM lebih baik	8,10%
20	Permintaan berlebih (2)	Tipe 3		-6.950	-7.192	-6.670	RBM lebih baik	3,48%
21	Suplai berlebih (1)	Tipe 3		-15.994	-15.693	-14.424	PBM lebih baik	1,92%
22	Suplai berlebih (2)	Tipe 3		-14.774	-15.395	-13.924	RBM lebih baik	4,20%
23	Suplai berlebih (3)	Tipe 3		-17.430	-18.105	-16.600	RBM lebih baik	3,87%
24	Permintaan dan suplai seimbang	Tipe 3		-14.790	-15.485	-14.040	RBM lebih baik	3,73%

Keterangan :

PBM : Product-Based Model

RBM : Resource-Based Model

Jaringan Tipe 1 terdiri dari 2 pabrik, 2 pengecer , 1 gudang konsolidasi

Jaringan Tipe 2 terdiri dari 2 pabrik, 2 pengecer , 7 gudang konsolidasi

Jaringan Tipe 3 terdiri dari 2 pabrik, 2 pengecer , 3 gudang konsolidasi, 4 gudang distribusi

*) PBM lebih baik, namun ada komoditas subsidi yang tidak terpenuhi

-1450 Angka bercetak tebal menunjukkan nilai fungsi tujuan terbaik

7.8 Kesimpulan

Sebagai kelanjutan dari tahapan sintesa sistem dari pengembangan Model Lokasi, pada bab ini dijelaskan tentang sintesa sistem dari Resource-Based Model (RBM). Apabila pada Product-Based Model (PBM) optimasi tiap jenis komoditas dilakukan secara independen, maka RBM ditandai dengan adanya integrasi optimasi diantara semua jenis komoditas. Upaya untuk mengintegrasikannya menggunakan konsep yang didasarkan pada optimasi bahan baku (*raw material*), bukan optimasi terhadap komoditas (sebagaimana konsep optimasi yang digunakan pada PBM).

Pemrograman matematis dari RBM direpresentasikan dalam bentuk RJ dan solusi dari masalah MCF ataupun MCMF dari RJ ini mengikuti penyelesaian

yang telah dikembangkan pada PBM. Program aplikasi untuk solusi RBM dikembangkan pula dalam penelitian ini dan diaplikasikan pada beberapa contoh kasus. Hasil dari aplikasi tersebut menunjukkan bahwa pada mayoritas kasus RBM memberikan hasil optimasi yang lebih baik dibandingkan dengan PBM maupun model yang saat ini digunakan oleh BUMN-PSO, walaupun pada beberapa kasus kedua model lebih unggul. Selain itu, hasil dari aplikasi menunjukkan bahwa PBM maupun model BUMN-PSO memiliki kelemahan karena tidak dapat menjamin terpenuhinya permintaan subsidi (bila kapasitas bahan baku sesungguhnya masih memungkinkan).

Dalam hal waktu komputasi, kedua model menunjukkan waktu komputasi yang hampir sama, walaupun ukuran representasi jaringan dari RBM lebih besar dibandingkan ukuran jaringan PBM. Hal ini disebabkan pada PBM optimasi dilakukan M -kali (dimana M adalah jumlah jenis komoditas), sedangkan optimasi pada RBM dilakukan satu kali untuk semua komoditas.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa RBM dapat dijadikan alternatif model optimasi untuk meningkatkan efisiensi sistem distribusi BUMN-PSO.

BAB 8 KESIMPULAN DAN SARAN

8.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang telah selesai dilakukan ini dan dalam rangka menjawab pertanyaan dari penelitian ini, maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut :

1. Karakteristik khusus dari sistem distribusi BUMN-PSO yang menjadi studi kasus adalah sebagai berikut :
 - a. BUMN-PSO berbentuk perusahaan induk (*holding company*) dengan 5 (lima) anak perusahaan . Setiap anak perusahaan , termasuk perusahaan induk sendiri, mengoperasikan pabrik serta sistem distribusinya sendiri-sendiri di dalam wilayah/rayonnya masing-masing.
 - b. Sistem mengelola 4 (empat) macam komoditas, dengan komponen utama pembentuknya adalah gas alam. Masing-masing komoditas dibedakan atas penggunaannya, yaitu komoditas subsidi dan komoditas komersial. Kedua jenis komoditas tersebut berbeda dalam hal kewajiban pemenuhannya serta dalam hal harga jual.
 - c. Biaya satuan produksi berbeda-beda diantara pabrik akibat perbedaan harga bahan baku dan kinerja peralatan produksi, serta biaya *overhead* lainnya.
 - d. Jaringan distribusi diatur dalam suatu tata niaga yang ditetapkan oleh pemerintah. Jaringan berbentuk jaringan 4 lini (3 *stages*), yang terdiri dari gudang pabrik di lini I, gudang propinsi di lini II , gudang kabupaten di lini III serta gudang kecamatan di lini IV. Distribusi dari lini I hingga lini IV merupakan tanggung jawab dari produsen, sementara distribusi dari lini IV ke pengguna akhir merupakan tanggung jawab distributor.

2. Permasalahan yang ada pada sistem yang berlaku saat ini adalah adanya kelangkaan komoditas di titik-titik permintaan. Berbagai analisa menyimpulkan bahwa penyebab kelangkaan ini adalah antara lain:
 - a. Jaringan distribusi yang tidak efisien, bersumber pada kesalahan pembagian zona rayonisasi serta infrastruktur yang tidak memadai di beberapa wilayah.

- b. Manajemen distribusi yang tidak profesional dan tidak efisien, disebabkan tidak adanya kerjasama operasional antar anak perusahaan serta adanya distributor dan pengecer nakal .
 - c. Masalah pada sistem produksi , disebabkan kurangnya suplai bahan mentah serta peralatan produksi yang sudah tua sehingga utilitasnya rendah.
 - d. Permasalahan pada pola konsumsi dari konsumen, seperti pemakaian yang berlebih dari konsumen, kondisi alam yang tidak terprediksi serta data permintaan yang tidak akurat.
3. Pada penelitian ini dikembangkan suatu Model Lokasi yang ditujukan sebagai alat untuk mengevaluasi sistem distribusi yang berlaku saat ini serta mengambil keputusan atas berbagai strategi usulan untuk meningkatkan efisiensi sistem distribusi BUMN –PSO. Pengembangan model ini juga diikuti oleh pengembangan program aplikasi untuk penyelesaian model.
 4. Model Lokasi yang dikembangkan memiliki *state of the art* sebagaimana dijelaskan pada tabel 8.1. Dari komparasi terhadap *state of the art* penelitian-penelitian terdahulu, terlihat bahwa model yang dikembangkan memiliki karakteristik khusus, yaitu dalam hal pertimbangannya terhadap karakteristik BUMN-PSO serta dalam hal bentuk dan sifat variabel yang disertakan maupun teknik solusi yang digunakan.
 5. Karakteristik yang menjadi ciri khusus dan *state of the art* dari model yang dikembangkan dapat dijelaskan sebagai berikut :
 - a. Adanya diferensiasi komoditas atas jenis penggunaannya , yaitu komoditas subsidi dan komoditas komersial.
 - b. Penggunaan Representasi Jaringan dalam memformulasikan Model Lokasi .
 - c. Prinsip integrasi diterapkan dalam formulasi Product-Based Model (PBM) dan Resource-Based Model (RBM).
 - d. Adanya formulasi untuk menyeimbangkan total suplai dan total permintaan secara *endogenously* (dilakukan di dalam model).

Tabel 8.1 State of the art dari Model Lokasi

No	KARAKTERISTIK	Hodder's (1984)	Perl & Daskin's (1985)	Nozick & Turnquist's (2001)	Lin's (2002)	Bhutta, et al (2003)
1.	Fungsi Tujuan	Maks(Pendapatan-Biaya)	Minimasi biaya	Minimasi biaya	Minimasi biaya	Maks(Pendapatan-Biaya)
2	Variable yang dipakai:					
	Biaya transportasi	Digabung dlm satu variabel (Cost of Serving Market)- Tidak ada Economies of Scale	Dibedakan atas Trunk & Delivery Cost – Tidak ada Economies of Scale	Tidak ada Economies of Scale	Economies of Scale	Tidak ada Economies of Scale
	Biaya produksi	Economies of Scale	-	-	-	No Economies of Scale
	Biaya tetap fasilitas	Deterministik	Deterministik	Deterministik	Deterministik	-
	Biaya inventory	-	DC throughput cost	Safety stock cost	Random	Deterministik
	Biaya penalty	-	-	Demand Coverage	Deterministik	-
	Biaya investasi	-	-	-	-	Deterministik
	Capacity Changing Cost	-	-	-	-	Deterministik
	Capacity Retaining Cost	-	-	-	-	Deterministik
	Tariff Cost	-	-	-	-	Deterministik
Harga jual	Random	-	-	-	Deterministik	
3	Variabel keputusan	-Kuantitas yang diangkut -Integrality/ Variabel Lokasi	- Kuantitas yang diangkut - Integrality/ Variabel Lokasi -Rute	- Kuantitas yang diangkut - Integrality/ Variabel Lokasi	-Link Flows -Stock Level - Integrality/ Variabel Lokasi	- Kapasitas - Funds Invested - Produk yang diangkut - Volume produksi
4	Kendala kapasitas	Uncapacitated	Kapasitas kendaraan & panjang rute	Uncapacitated	Uncapacitated	Capacitated (sebagai variabel keputusan)
5	Jumlah jenis komoditas	Komoditas tunggal	Komoditas tunggal	Komoditas tunggal	Multi komoditas	Multi komoditas
6	Diferensiasi permintaan	Tidak ada diferensiasi	Tidak ada diferensiasi	Tidak ada diferensiasi	Tidak ada diferensiasi	Tidak ada diferensiasi
7	Jumlah stage	Single stage	2-stages	Single stage	3-stages	Single stage
8	Jumlah sumber & destinasi	Multi sumber – multi destinasi	Multi sumber – multi destinasi	Multi sumber – multi destinasi	Multi sumber – multi destinasi	Multi sumber – multi destinasi
9	Teknik solusi	Quadratic programming & branch and bound, gradient search & branch and bound	Metode heuristik	Combination Add & improvement algorithm	Greeedy heuristic	Validasi program

Tabel 8.1 State of the art dari Model Lokasi (lanjutan)

No.	KARAKTERISTIK	Harkness & Re Velle's (2003)	Michel & Hentenryck's (2004)	Sun's (2006)	Dupont's (2008)	PROPOSED MODEL
1.	Fungsi Tujuan	Minimasi biaya	Minimasi biaya	Minimasi biaya	Minimasi biaya	Maks(Pendapatan-Biaya)
2	Variable yang dipakai:					
	Biaya transportasi	Tdk ada Econm of Scale	Tdk ada Econm of Scale	Tdk ada Econm of Scale	Digabung dlm satu variabel- dengan economies of scale	Economies of Scale
	Biaya produksi	Tdk ada Econm of Scale	-	-		Economies of Scale
	Biaya tetap fasilitas	Deterministik	Deterministik	Deterministik		Deterministik
	Biaya inventory	-	-	-	-	-
	Biaya penalty	-	-	-	-	-
	Biaya investasi	-	-	-	-	-
	Capacity Changing Cost	-	-	-	-	-
	Capacity Retaining Cost	-	-	-	-	-
	Tariff Cost	-	-	-	-	-
	Harga jual	-	-	-	-	Deterministik
3	Variabel keputusan	-Proporsi permintaan yang disuplai -Integrality/ Variabel Lokasi	- Kuantitas yang diangkut - Integrality/ Varb Lokasi	- Kuantitas yang diangkut -Integrality/ Varb Lokasi	-Permintaan yang disuplai - Integrality/ Varb Lokasi	-Link Flows -Integrality/ Variabel Lokasi
4	Kendala kapasitas	Capacitated & Uncapacitated	Uncapacitated	Uncapacitated	Uncapacitated	Capacitated
5	Jumlah jenis komoditas	Komoditas tunggal	Komoditas tunggal	Komoditas tunggal	Komoditas tunggal	Multi komoditas
6	Diferensiasi permintaan	Tidak ada diferensiasi	Tidak ada diferensiasi	Tidak ada diferensiasi	Tidak ada diferensiasi	Diferensiasi permintaan(komersial & subsidi)
7	Jumlah stage	Single stage	Single stage	Single stage	Single stage	3-stages
8	Jumlah sumber & destinasi	Multi sumber – multi destinasi	Multi sumber – multi destinasi	Multi sumber – multi destinasi	Multi sumber – multi destinasi	Multi sumber – multi destinasi
9	Metode & Teknik solusi	Linear Programming & branch and bound	Pareto solution dan Tabu search	Tabu search	Branch and bound	Linierisasi & local search dari Repr Jaringan & Branch and Bound

- e. Matriks Asal Tujuan komoditas ditetapkan secara *endogenously* di dalam model, sementara besaran suplai dan permintaan menjadi kendala model.
 - f. Formulasi keputusan lokasi (*location decision*) menggunakan algoritma usulan yang didasarkan pada ADD algorithm yang dimodifikasi untuk kasus kapasitas gudang yang dibatasi.
 - g. Penyelesaian masalah minimasi fungsi *concave* dilakukan dengan 3 (tiga) metode, yaitu Pemrograman Dua Tingkat (*Bilevel Programming*) serta Linierisasi Tunggal (*Single Linierization*) dan Linierisasi Bertahap (*Gradual Linearization*).
6. Baik PBM maupun RBM didasarkan pada adanya integrasi diantara sub sistem - sub sistem distribusi dari semua anak perusahaan (pabrik), dan dikendalikan dalam satu sistem pada tingkat perusahaan induk. Selanjutnya, keduanya dibedakan atas basis dari besaran yang dioptimasi. Pada PBM, optimasi berbasis pada jenis komoditas, dimana optimasi terhadap tiap jenis komoditas bersifat independen. Dalam optimasi PBM, kemampuan suplai dari semua pabrik terhadap suatu jenis komoditas dioptimasi untuk melayani semua titik permintaan terhadap komoditas tersebut. Sementara pada RBM, optimasi berbasis pada sumber bahan baku (*raw material resources*). Dalam hal ini, kapasitas suplai bahan baku dari semua pabrik dioptimasi untuk melayani semua titik permintaan terhadap semua jenis komoditas.
7. Hasil dari aplikasi kedua model tersebut terhadap beberapa contoh kasus yang didisain (*contrived example*), menunjukkan bahwa pada mayoritas kasus RBM memberikan hasil optimasi yang lebih baik dibandingkan dengan PBM maupun model yang saat ini digunakan oleh BUMN-PSO. Ini bermakna bahwa optimasi berbasis bahan baku lebih baik dibandingkan dengan optimasi yang berbasis pada komoditas. Selain itu, hasil dari aplikasi menunjukkan bahwa PBM maupun model BUMN-PSO memiliki kelemahan karena tidak dapat menjamin terpenuhinya permintaan subsidi (bila kapasitas bahan baku sesungguhnya masih memungkinkan).

8. RBM memiliki kelebihan dalam hal efisiensi pembebanan bahan baku, namun memiliki kekurangan dalam hal ukuran representasi jaringan yang besar. Sementara PBM memiliki karakteristik sebaliknya. PBM memiliki ukuran representasi jaringan yang lebih kecil namun basis optimasinya hanya pada komoditas.
9. Komparasi juga dilakukan terhadap kinerja model PBM dengan model yang digunakan oleh BUMN-PSO saat ini. Disimpulkan bahwa pada kasus-kasus suplai dan permintaan tidak seimbang, model PBM memberikan nilai optimasi yang lebih baik dibandingkan dengan model yang digunakan BUMN-PSO. Sedangkan untuk kasus suplai dan permintaan seimbang kedua model dapat dipertimbangkan. Hal ini bermakna bahwa mempertimbangkan biaya produksi dan pendapatan akan memberikan efisiensi sistem yang lebih baik dan ini hanya dapat dilakukan bila sistem terintegrasi dalam satu sistem operator tunggal.
10. Komparasi juga dilakukan terhadap ketiga metode penyelesaian masalah minimasi fungsi *concave* untuk mengetahui kinerja dari ketiga metode tersebut. Disimpulkan bahwa untuk kasus sumber tunggal dan kapasitas gudang tidak dibatasi, metode Gallo dan metode linierisasi dapat digunakan. Sementara untuk kasus multi sumber dan/atau kapasitas gudang dibatasi, solusi metode Linierisasi dan Pemrograman Dua Tingkat tidak memberikan pola yang tetap dalam hal keunggulan model dari sisi besaran nilai fungsi tujuannya. Sehingga disimpulkan bahwa ketiga metode usulan ini dapat digunakan bersamaan untuk kemudian dibandingkan dan ditentukan nilai optimal yang terbaik diantara ketiga metode tersebut.
11. Proses validasi untuk memverifikasi luaran model dan metode solusi usulan dilakukan melalui mekanisme simulasi. Untuk memverifikasi hasil simulasi ketiga metode solusi, digunakan mekanisme penggunaan metode referensi, yaitu metode Gallo, untuk membandingkan luaran metode usulan dengan metode referensi. Sedangkan untuk memverifikasi hasil simulasi model PBM

dan RBM digunakan hipotesa Logistik Total yang menjadi dasar dari pengembangan kedua model ini. Hasil simulasi menguatkan hipotesa bahwa komponen-komponen logistik harus dilihat sebagai satu kesatuan yang terintegrasi. Validitas model dan metode usulan juga ditunjukkan oleh ketangguhan (*robustness*) model dan sensitivitasnya, yaitu dalam bentuk hasil simulasi yang konsisten terhadap kesimpulan simulasi serta sensitif untuk berbagai jenis kasus hipotetikal.

12. Walaupun tujuan dari penelitian disertasi ini adalah untuk pengembangan Model Lokasi untuk BUMN-PSO, namun di dalam perjalanannya penelitian ini dikembangkan untuk penyelesaian masalah alokasi komoditas, dengan karakteristik sistem yang tidak harus mengikuti karakteristik BUMN-PSO, misalnya dalam hal diferensiasi komoditas (atas komoditas komersial dan subsidi), bentuk eselonisasi serta bentuk fungsi biaya.
13. Berdasarkan kesimpulan terhadap hasil komparasi antara ketiga model (PBM, RBM dan model BUMN-PSO yang berlaku saat ini) serta ketiga metode solusi (Pemrograman Dua Tingkat, Linierisasi Tunggal dan Linierisasi Bertahap), bentuk strategi usulan untuk meningkatkan efisiensi sistem distribusi BUMN-PSO dapat disimpulkan sebagai berikut :
 - a. Membentuk sistem distribusi yang terintegrasi dibawah kendali satu perusahaan induk (sistem operator tunggal). Dengan strategi ini akan meningkatkan efisiensi pada tingkat sistem, lebih dari sekedar peningkatan efisiensi pada tingkat sub-sistem (dari tiap anak perusahaan) secara sendiri-sendiri. Sejalan dengan sistem yang terintegrasi ini, di dalam optimasi sistem perlu dipertimbangkan variabel biaya produksi dan harga jual, disamping biaya transportasi, untuk lebih mengoptimasi sistem, terutama pada kondisi dimana jumlah permintaan tidak sama dengan jumlah suplai.
 - b. Memanfaatkan prinsip *economy of scale* dengan memfungsikan gudang distribusi sebagai gudang konsolidasi, dengan diikuti oleh kebijakan sistem transportasi intermoda.

- c. Mengacu pada kesimpulan no.8, optimasi sistem pada tingkat strategis (jangka panjang) dapat menggunakan *Resource-Based Model* , sementara pada tingkat operasional (jangka waktu pendek dan menengah) dapat menggunakan *Product-Based Model*. Hal ini memberikan kemudahan pada tingkat operasional karena praktek dari PBM sejalan dengan praktek operasional yang berlaku saat ini dimana basis optimasi ada pada komoditas, bukan pada *raw material resources*.
 - d. Di dalam teknik optimasi , strategi untuk mencapai nilai optimasi terbaik dapat dilakukan dengan mengaplikasikan ketiga metode solusi secara bersamaan, yaitu Pemrograman Dua Tingkat, Linierisasi Tunggal dan Linierisasi Bertahap, untuk kemudian ditentukan nilai optimasi terbaiknya.
 - e. Strategi lainnya adalah dengan melakukan uji coba pada berbagai bentuk eselonisasi sistem jaringan,yaitu dengan sistem *3-stages* atau sistem *2-stages*, dengan gudang konsolidasi atau tanpa gudang konsolidasi.
14. Berdasarkan perhitungan waktu komputasi pemrograman, disimpulkan bahwa:
- a. Metode Gallo membutuhkan waktu komputasi yang lebih besar dibandingkan dengan metode Linierisasi , baik pada kasus model Alokasi maupun Lokasi. Selain itu, metode Linierisasi Bertahap memiliki kecenderungan waktu komputasi yang lebih baik dibandingkan dengan Linierisasi Tunggal. Terlihat pula bahwa waktu komputasi metode Gallo berubah secara eksplosif dengan bertambahnya ukuran jaringan. Hal ini menunjukkan bahwa teknik pencarian lokal (*local search*) dengan menggunakan metode Gallo kurang efisien pada kasus jaringan berukuran besar.
 - b. Model PBM dan RBM menunjukkan waktu komputasi yang hampir sama, walaupun ukuran representasi jaringan dari RBM lebih besar dibandingkan ukuran jaringan PBM.

15. Kontribusi dari penelitian ini

A. Terhadap sistem distribusi BUMN-PSO

- 1) Model matematis dan teknik optimasi yang digunakan di dalam merepresentasikan permasalahan sistem logistik di BUMN-PSO dapat dimanfaatkan oleh BUMN-PSO di dalam kegiatan optimasi sistem logistik mereka, baik bagi BUMN-PSO yang menjadi studi kasus ataupun BUMN-PSO lainnya.
- 2) Fleksibilitas yang dimiliki model optimasi yang dikembangkan memungkinkan model ini dapat juga dimanfaatkan oleh perusahaan komersial yang tidak berbentuk BUMN-PSO.
- 3) Model usulan dapat dimanfaatkan untuk mengevaluasi efisiensi sistem tata niaga komoditas publik yang telah ditetapkan oleh pemerintah.

B. Terhadap perkembangan penelitian di bidang logistik :

Model usulan berkontribusi dalam memperkaya khasanah penelitian di bidang logistik, khususnya Model Lokasi, yaitu dalam hal :

- 1) Variabel yang disertakan dalam model
- 2) Sifat atau fungsi dari variabel
- 3) Teknik solusi model

8.2 Saran

A. Aspek Implementasi

1. Penelitian ini berawal dari permasalahan yang dihadapi BUMN-PSO. Untuk memberikan sebagian solusi dari permasalahan tersebut, penelitian ini memfokuskan pada kajian akademis dari aspek teknis sistem jaringan distribusi. Implementasi dari strategi yang diusulkan mungkin akan berdampak pada pengurangan jumlah gudang, perubahan fungsi gudang dan sistem transportasinya serta perubahan organisasi perusahaan. Oleh karenanya, penelitian ini perlu ditindaklanjuti dengan penelitian tentang dampak dari perubahan-perubahan ini serta konsekuensi dan efektifitas sistem usulan dari berbagai aspek.

2. Penelitian ini menyimpulkan bahwa bentuk rayonisasi bersifat sensitif terhadap hasil optimasi. Oleh karenanya, sebagai solusi jangka pendek, yang tidak memerlukan usaha besar dalam implementasinya, model usulan dapat digunakan untuk mengevaluasi sistem rayonisasi yang berlaku saat ini. Dengan hanya mengubah pola pembagian rayon, diharapkan dapat meningkatkan efisiensi sistem. Sistem rayonisasi perlu dievaluasi secara periodik, terutama bila terjadi perubahan yang signifikan pada pola permintaan dan suplai.

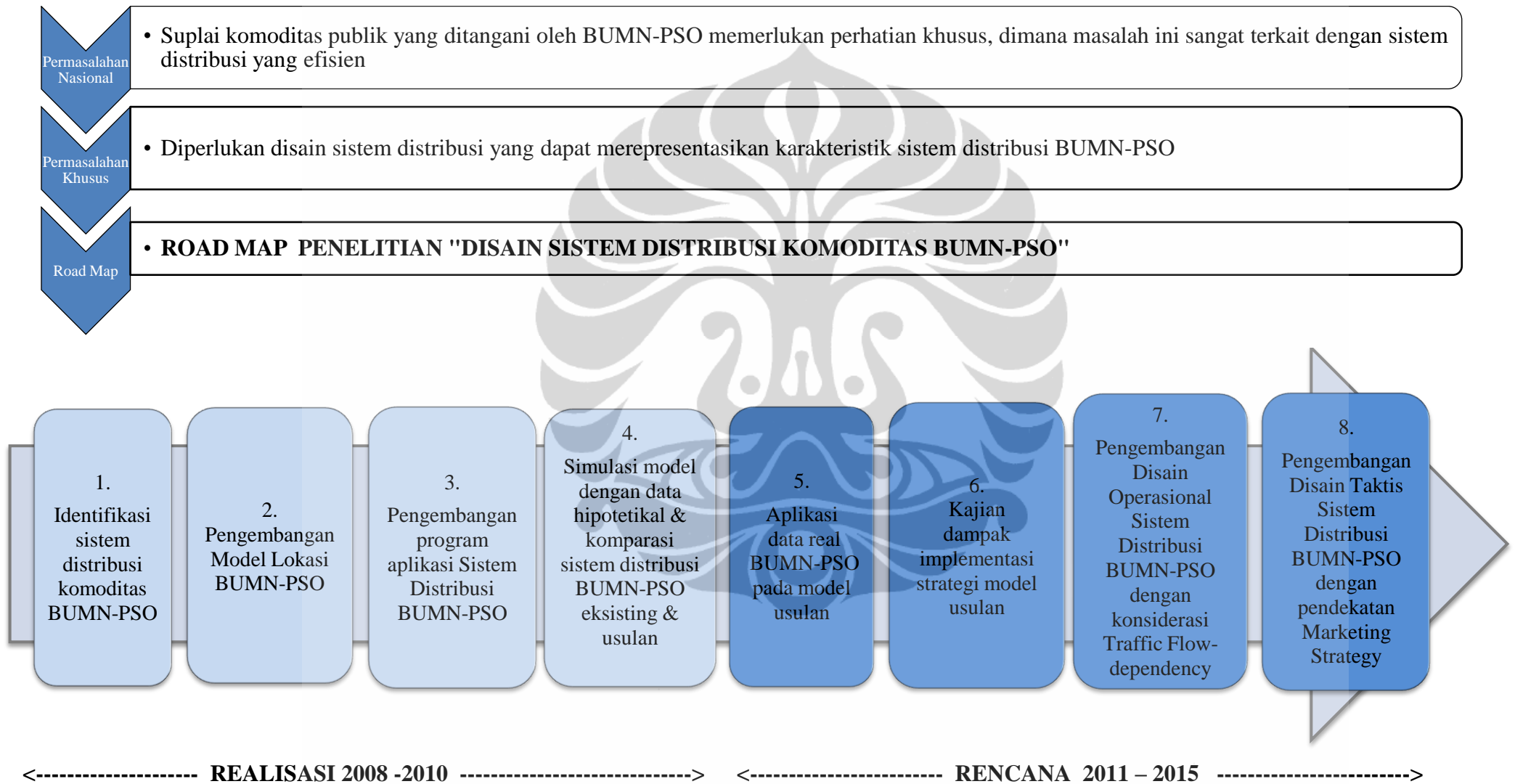
B. Penelitian Lebih Lanjut

1. Pada penelitian ini, model ataupun sistem distribusi usulan telah diujicobakan aplikasinya pada beberapa contoh kasus dan hasil aplikasi tersebut memperlihatkan keunggulan dari model dan sistem distribusi usulan terhadap model dan sistem yang saat ini berlaku di BUMN-PSO. Lebih lanjut, penelitian ini perlu dilanjutkan dengan diujicobakannya model menggunakan data sesungguhnya dari BUMN-PSO, sehingga evaluasi terhadap sistem yang berlaku saat ini dapat menjadi lebih nyata dan dapat dilihat seberapa besar biaya dan manfaat model dan sistem usulan ini dalam menjawab masalah efisiensi sistem distribusi. Penelitian ini meliputi juga proses kalibrasi fungsi biaya produksi dan transportasi yang dapat menggambarkan kondisi *economies of scale*.
2. Untuk mengatasi sifat eksplosif dalam waktu komputasi dari metode Gallo pada kondisi ukuran jaringan yang besar, teknik penyelesaian model usulan dapat dikembangkan menggunakan metode meta-heuristik, yaitu menggunakan cara pencarian lokal dengan strategi meta tingkat tinggi, hingga model dapat menyelesaikan masalah jaringan berukuran besar dengan lebih efisien. Selain itu, perlu dibuat kajian terkait analisa kompleksitas waktu (*time complexity*) dari algoritma model usulan sehingga pada penyelesaian masalah jaringan berukuran besar ini dapat dipertimbangkan *tradeoff* antara waktu komputasi dengan tingkat akurasi solusi.

3. Walaupun sifat dinamis dari lalulintas serta kondisi *ordinary traffic* (lalu lintas umum) sesungguhnya mempengaruhi model, namun dalam penelitian ini hal ini diabaikan karena fokus dari penelitian ini adalah pada perencanaan strategis (jangka panjang) yang tidak terlalu sensitif terhadap dinamika tersebut. Namun bagian dari model usulan yang terkait dengan perencanaan taktis maupun operasional (Model Alokasi) perlu dikembangkan lebih lanjut dengan mempertimbangkan dependensi sistem terhadap *ordinary traffic* (Soehodho, S. dan Nahry ,2010b).
4. Apabila pada penelitian ini variabel model bersifat deterministik, maka penelitian ini dapat dilanjutkan dengan mempertimbangkan sifat stokastik dari variabel-variabel model, seperti akibat kondisi permintaan yang berfluktuasi akibat cuaca atau kapasitas produksi yang tidak selalu tetap akibat permasalahan alat produksi dan suplai bahan baku. Selain itu, model perlu lebih mempertimbangkan kondisi real di lapangan. Salah satu hal praktis yang dapat dikaji adalah disain taktis sistem distribusi BUMN-PSO dengan pendekatan strategi pemasaran, dimana dalam praktek pemenuhan permintaan tidak harus selalu dilakukan pada titik-titik permintaan komersial yang menguntungkan saja tetapi titik-titik yang tidak menguntungkanpun dapat tetap disuplai demi kepentingan pemasaran jangka panjang.

Saran yang terkait dengan penelitian lebih lanjut ini telah disusun dalam suatu *road map* penelitian Disain Sistem Distribusi Komoditas BUMN-PSO, sebagaimana digambarkan pada gambar 8.1.

Gambar 8.1 Road Map Penelitian “Disain Sistem Distribusi Komoditas BUMN-PSO”



DAFTAR REFERENSI

- Ahuja, R.K., Magnanti, T.L dan Orlin, J.B. (1993). *Network Flows* . New Jersey : Prentice Hall .
- Amberg, A., Domschke, W. dan Voß, S. (2000). Theory and methodology. Multiple center capacitated arc routing problems: A tabu search algorithm using capacitated trees. *European Journal of Operational Research*, 124 , 360-376.
- Aras , N., Altinel, I.K. dan Orbay, M. (2007). New heuristic methods for the capacitated multi-facility weber problem. *Naval Research Logistics*, Vol. 54, 21-32.
- Atasi kelangkaan, PT Pupuk Kujang melakukan operasi pasar di Jawa Barat. (12 Mei 2004). *Kompas*. [http://els.bappenas.go.id/upload/other/Atasi Kelangkaan.htm](http://els.bappenas.go.id/upload/other/Atasi_Kelangkaan.htm).
- Bhutta, K.S., Huq, F., Frazier, G. dan Mohamed, Z. (2003). An integrated location, production, distribution and investment model for a multinational corporation. *International Journal Production Economics* ,86 , 201-216.
- Bowersox, D.J., Closs, D.J. dan Cooper, M.B. (2007). *Supply chain logistics management*. New York : Mc-Graw-Hill Education.
- Crainic , T.G. dan Roy, J. (1992). Improving intercity freight routing with tactical planning model. *Interfaces*, 22, 31-44.
- Daskin M.S. (1995). *Network and discrete location. Models, algorithms, and applications*. Canada : John Wiley & Sons, Inc.
- Data kadaluasa diduga penyebab kelangkaan pupuk. (22 Desember 2005). *Tempointeraktif.com*.
<http://www.infoanda.com/id/link.php?lh:UQQFWQCGVVVVV>.
- Dupont, L. (2008) . Branch and bound algorithm for a facility location problem with concave site dependent costs. *International Journal Production Economics*, 112, 245-254.
- Efroymsen , M.A. dan Ray, T.L. (1966). A branch-bound algorithm for plant location. *Operations Research*, Vol. 14, No. 3, 361-368.

- Feldman, E., Lehrer, F.A. dan Ray, T.L. (1966). Warehouse location under continuous economies of scale. *Management Science*, Vol.12, No.9, 670-684.
- Fleischmann , B. (1993) . Designing distribution systems with transport economies of scale. *European Journal of Operational Research*, 70, 31-42.
- Gallo G. dan Sodini C. (1979). Adjacent extreme flows and applicaiton to min concave cost flow problems. *Networks*, Vol.9, 95-121.
- Gallo, G., Sandi, C. dan Sodini, C. (1980). An algorithm for the min concave cost flow problem. *European Journal of Operational Research*, 4, 248-255.
- Glover,F., Klingman, D., dan Phillips, N.V. (1992). *Network models in optimization and their applications in practice*. John Wiley & Sons, Inc.
- Harkness, J. dan ReVelle, C. (2003). Facility location with increasing production costs. *European Journal of Operational Research* ,145, 1-13.
- Hodder J.E. dan Dincer M.C. (1986) A multifactor model for international plant location and financing under uncertainty. *Computers and Operations Research*. Vol.13, No.5, 601-609.
- Klose, A. dan Görtz, S. (2007) . A branch-and-price algorithm for the capacitated facility location problem. *European Journal of Operational Research*, 179 , 1109–1125.
- Kuehn, A.A. dan Hamburger, M.J. (1963). A heuristic program for locating warehouses. *Management Science*, Vol 9, No.4, 643-665.
- Kurang pasokan gas pabrik pupuk Kujang bisa gulung tikar. (18 Desember 2005). *Tempointeraktif.com*. <http://arsip.net.id/link.php?lh:WULAFNXW1ZU>
- Lin, J.R. (2002). Strategic design of distribution systems with economies of scale in transportation. *Ph.D.Dissertation*, Graduate School of Cornell University.
- Michel L. dan Van Henterryck, P. (2004). Discrete optimization. A simple tabu search for warehouse location. *European Journal of Operational Research* ,157 , 576-591.
- Nozick L.K. dan Turnquist M.A. (1998) . Integrating inventory impacts into a fixed-charge model for locating distribution centers. *Transportation Research E (Logistics and Transportation Review)*, Vol 34, No.3, 173-186.

- Nozick L.K. dan Turnquist M.A. (2001). Case study. Inventory, transportation, service quality and the location of distribution centers. *European Journal of Operational Research*, 129 , 362-371.
- Perl J. dan Daskin M.S. (1985). A warehouse location-routing problem. *Transportation Research*, Vol.19B, No.5 , 381-396.
- Pupuk langka karena distributor nakal. (20 Desember 2005). *Tempointeraktif.com*. <http://arsip.net.id/link.php?lh:WgIAAFIJDFQA>.
- ReVelle, C., Marks,D. and Liebman, J.C.(1970) An analysis of private and public sector location models. *Management Science*, Vol 16, No.11.
- Ricciardi N. , Tadei R. dan Grosso A. (2002). Optimal facility location with random throughput costs. *Computers and Operations Research* .Vol.29, 593-607.
- Robson,C. (2002). *Real world research* (2nd edn). Blackwell : Oxford.
- Ross, G.T. dan Soland, R.M. (1980). A multicriteria approach to the location of public facilities. *European Journal of Operational Research* , 4 , 307-321.
- Rushton, A., Croucher,P. dan Baker, P.(2006). *The Handbook of logistics and distribution management*. United Kingdom : Kogan Page Limited.
- Sankaran, J.K. (2007). Discrete optimization. On solving large instances of the capacitated facility location problem. *European Journal of Operational Research*, 178 , 663–676.
- Saunders,M., Lewis,P. dan Thornhill,A. (2003). *Research methods for business students*. England : Prentice Hall.
- Soehodho, S. dan Nahry (Oktober 2008). *Strategic Design of Distribution System of State-owned Companies : Preliminary Stage of Logistics Research Series*. Paper dipresentasikan pada 11th FSTPT Symposium , Semarang, Indonesia.
- Soehodho, S. dan Nahry (Oktober 2009a). *Heuristic solution of minimum concave-cost multicommodity flow problem*. Paper dipresentasikan pada the 11thInternational Conference on QiR 2009, Depok, Indonesia.
- Soehodho, S. dan Nahry (2009 b). Strategic design of distribution system of state-owned companies : Preliminary stage of logistics research series and

- evaluation on model parameters. *International Journal on Logistics and Transportation (IJLT)* Vol 3, No 1.
- Soehodho, S. dan Nahry (November 2009c). *Location Model of Distribution System of State-owned Companies*. Paper dipresentasikan pada Simposium XII FSTPT, Surabaya, Indonesia.
- Soehodho, S. dan Nahry (Desember 2009d). *Minimum cost flow problem in distribution system with product differentiation*. Paper dipresentasikan pada the 14th Hong Kong Society for Transportation Studies Conference, Hongkong.
- Soehodho, S. dan Nahry (Desember 2009e). *Bi-level programming approach of location model of state-owned company distribution system*. Paper dipresentasikan pada the 1st International Conference on Logistics and Transportation 2009, Chiangmai, Thailand.
- Soehodho, S. dan Nahry (Juli 2010a). *Integrated distribution system of state-owned company*. Paper dipresentasikan pada 12th World Conference on Transport Research, Lisbon, Portugal.
- Soehodho, S. dan Nahry (2010b). Traffic flow consideration in design of freight distribution system. *IATSS Research 34*, Issue 1, 2010.
- Soehodho, S. dan Nahry (2010c). Strategic design of distribution system of state-owned companies : Solution Development. *Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.8.
- Soehodho, S. dan Nahry (Oktober 2010d). *Optimization of Location Model of Capacitated Network*. Paper dipublikasikan pada Simposium XIII FSTPT, Semarang, Indonesia.
- Soehodho, S., Hertono, G.F. dan Nahry (Juni 2010a). *Optimization of freight distribution system using network representation*. Paper dipresentasikan pada the 7th Asia Pacific Conference on Transportation and Environment (APTE), Semarang, Indonesia.
- Soehodho, S., Hertono, G.F. dan Nahry (September 2010b). *The Use of Network Representation in Freight Distribution Model*. Paper dipresentasikan pada the 3rd International Conference on Transportation and Logistics (T-LOG), Fukuoka, Jepang.

- Subsidi pupuk, siapa menikmati ? (2004). *Sinar Harapan*.
<http://www.sinarharapan.co.id/ekonomi/industri/2004/0512/ind1.html>.
- Sun, M. (2006). Solving the uncapacitated facility location problem using tabu search. *Computers and Operations Research* 33 , 2563-2589.
- Taniguchi, E., Thompson, R.G., Yamada, T. dan Duin, V.R. (2001). *City logistics. Network modelling and intelligent transport systems*. Oxford, UK : Pergamon.
- Taniguchi E. dan Shimamoto, H. (2004). Intelligent transportation system based dynamic vehicle routing and scheduling with variable travel times. *Transportation Research Part C* ,12, 235-250.
- Undang Undang RI Nomor 19 Tahun 2003 tentang Badan Usaha Milik Negara
- Yan, S., Juang, D.S., Chen, C.R. dan Lai, W.S. (2005). Global and local search algorithms for concave cost transshipment problems. *Journal of Global Optimization*, 33, 123-156.
- Yigit, V., Aydin, M.E. dan Turkbey, O. (2006). Solving large-scale uncapacitated facility location problems with evolutionary simulated annealing. *International Journal of Production Research*, Vol. 44, No. 22, 4773–4791.
- Zangwill, W.I. (1968). Minimum concave cost flows in certain networks. *Management Science*, Vol.14, No.7.

DAFTAR PUBLIKASI ILMIAH

PUBLIKASI INTERNASIONAL

Jurnal

1. **Strategic design of distribution system of state-owned companies : Preliminary stage of logistics research series and evaluation on model parameters.**
International Journal on Logistics and Transportation (IJLT) Vol 3, No.1, 2009.
2. **Strategic design of distribution system of state-owned companies : Solution Development.**
Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.8, 2010.
3. **Traffic flow consideration in design of freight distribution system.**
IATSS Research 34, 2010.

Seminar

1. **Strategic Design of Distribution System of State-owned Companies : Preliminary Stage of Logistics Research Series.**
Dipresentasikan dan dipublikasikan dalam prosiding the 11th FSTPT Symposium , Semarang, Oktober 2008.
2. **Heuristic solution of minimum concave-cost multicommodity flow problem.** Dipresentasikan dan dipublikasikan dalam prosiding the 11th International Conference on QiR 2009, Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok, Oktober 2009.
3. **Minimum cost flow problem in distribution system with product differentiation.** Dipresentasikan dan dipublikasikan dalam prosiding the 14th Hong Kong Society for Transportation Studies Conference , Hongkong, Desember 2009.
4. **Bi-level programming approach of location model of state-owned company distribution system.**
Dipresentasikan dan dipublikasikan dalam prosiding the 1st International Conference on Logistics and Transportation (ICLT) 2009, Chiangmai, Desember 2009.
5. **Optimization of freight distribution system using network representation.**
Dipresentasikan dan dipublikasikan dalam prosiding the 7th Asia Pacific Conference on Transportation and Environment (APTE) 2010, Semarang, Juni 2010

6. **Integrated distribution system of state-owned company**
Dipresentasikan dan dipublikasikan dalam prosiding the 12th World Conference on Transport Research (WCTR), Lisbon, Juli 2010
7. **The Use of Network Representation in Freight Distribution Model.**
Dipresentasikan dan dipublikasikan dalam prosiding the 3rd International Conference on Transportation and Logistics (T-LOG), Fukuoka, September 2010.

PUBLIKASI NASIONAL

Seminar

1. **Location Model of Distribution System of State-owned Companies.**
Dipresentasikan dan dipublikasikan dalam prosiding Simposium XII FSTPT, Universitas Kristen Petra Surabaya, November 2009
2. **Optimization of Location Model of Capacitated Network.**
Dipublikasikan dalam prosiding Simposium XIII FSTPT, Universitas Katolik Soegijapranata Semarang, Oktober 2010.

