



Artikel Penelitian

Model Jaringan Distribusi Produk dengan Pendekatan *Fuzzy Multi Objective Programming*

Suci Oktri Viarani M., Henmaidi, Alexie Herryandie B.A.

Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Kampus Limau Manis, Kecamatan Pauh, Kota Padang, Sumatera Barat 25163, Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Received: July 24, 17
Revised: December 1, 17
Available online: April 27, 18

KEYWORDS

Fuzzy Multi Objective Programming, model jaringan distribusi

CORRESPONDENCE

Phone: +6285363892976
E-mail: sucioktriviarani02@gmail.com

A B S T R A C T

PT Semen Padang is one of the cement producers competing to meet the needs of the cement. To that end, PT Semen Padang must ensure the availability of cement on time, quantity, location and at competitive rates. One way to achieve this by optimizing the distribution system because it will be able to maximize sales and increase corporate profits. This research aims to develop a distribution network planning model of PT Semen Padang considering the cost of transportation, facility capacity, time and uncertain demand. The model aims to minimize the total cost of product distribution and cost of opening the buffer warehouse and packing plant, as well as to maximize responsiveness to customers considering the uncertain parameters. The Fuzzy Multi-Objective Programming method was used to develop the model. The output of the model is the opening of Packing Plant and buffer warehouse and the amount of product delivery to the final consumer with minimum cost and minimum distribution time. Search solution or output model assisted with Software Lingo 17.0. The designed model is able to explain the change of output if there are any changes in parameters covering demand between marketing areas, transportation costs between marketing areas and vehicle speed in transporting products from the last distribution center to the marketing area. The model can be implemented in the distribution network planning of PT Semen Padang by using data in accordance with the conditions in the field.

PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur yang semakin meningkatkan di berbagai daerah dan bertambahnya penduduk di Indonesia, akan berpengaruh terhadap kebutuhan semen di Indonesia, menurut data Asosiasi Semen Indonesia kebutuhan semen Indonesia untuk kebutuhan perumahan/umum sebesar 70% dan untuk infrastruktur sebesar 30% [1].

Tingginya kebutuhan semen untuk pembangunan infrastruktur di Indonesia menuntut produsen semen dapat memenuhinya. Berbagai cara yang dilakukan produsen semen nasional agar dapat memenuhi kebutuhan tersebut dengan meningkatkan kapasitas produksinya dan membangun pabrik baru. Tidak hanya produsen semen nasional, produsen semen luar negeri juga bersaing untuk dapat memenuhi kebutuhan semen di Indonesia. Hal ini menyebabkan kapasitas produksi semen nasional melebihi kebutuhan semen yang diperlukan.

Akibat pasokan semen yang berlebih (*over supply*) maka produsen semen di Indonesia harus mampu membuat strategi yang dapat bersaing dengan produsen semen lainnya. PT Semen Padang merupakan salah satu produsen semen yang bersaing untuk memenuhi kebutuhan semen nasional. Untuk itu, PT Semen Padang harus memastikan ketersediaan semen yang tepat

waktu, jenis, jumlah, lokasi, dan dengan harga yang bersaing. Salah satu cara untuk mewujudkannya dengan mengoptimalkan sistem distribusi karena akan dapat memaksimalkan penjualan dan meningkatkan keuntungan perusahaan [2].

Oleh karena itu, perusahaan harus mampu untuk bersaing dengan meningkatkan efisiensi dan efektivitas di berbagai aktivitas, termasuk aktivitas distribusi. Di Indonesia, biaya distribusi saat ini rata-rata masih 16% dari total biaya produksi [3]. Besarnya biaya yang dikeluarkan untuk aktivitas distribusi, sehingga perusahaan harus mampu mengambil keputusan terhadap aktivitas distribusi yang efektif dan efisien. Metode pengambilan keputusan yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan model Lokasi Alokasi.

Model Lokasi Alokasi merupakan model yang digunakan untuk menentukan suatu fasilitas baru agar dapat meminimasi biaya transportasi dari suatu fasilitas hingga sampai ke konsumen dan mengoptimalkan jumlah fasilitas yang telah ditempatkan pada suatu daerah untuk memenuhi permintaan konsumen dan kepuasan konsumen. Masalah yang sering terjadi seperti menentukan lokasi gudang, *distribution centers*, pusat komunikasi dan fasilitas produksi [4]. Model Lokasi Alokasi pertama kali dikenalkan oleh Cooper [5] dan telah dikembangkan oleh banyak peneliti sampai saat ini.

Model lokasi alokasi telah dilakukan oleh beberapa peneliti antara lain; penelitian Akbar [6] menentukan alokasi material dengan menggunakan metode *linear programming*, Ariyana [7] menentukan lokasi alokasi bantuan dengan menggunakan metode *linear programming*, Yuniaristanto *et al.* [8] menentukan lokasi alokasi terminal bahan baku dengan menggunakan metode *mixed interger non-linear programming*, Sulistyowati *et al.* [9] menentukan lokasi alokasi produk dengan menggunakan *mixed interger linear programming*. Selanjutnya Masudin [10] menentukan lokasi alokasi *liquefied petroleum gas* dengan menggunakan metode *mixed interger linear programming*, Arabzad *et al.* [11] menentukan lokasi alokasi produk dengan menggunakan metode *multi-objective mixed interger linear programming*. Model-model tersebut mengasumsikan parameter-parameter berupa bilangan *real* yang nilainya sudah pasti. Padahal pada kenyataannya selalu ada ketidakpastian dalam parameter-parameter tersebut. Untuk menggambarkan keadaan nyata yang tidak pasti tersebut maka digunakan logika *fuzzy*. Logika *fuzzy* dinyatakan dengan derajat keanggotaannya dalam selang tertutup antara 0 dan 1. Oleh karena itu, penelitian tentang lokasi alokasi dengan menggunakan logika *fuzzy* mulai berkembang.

Hadiguna dan Marimin [12] menentukan alokasi pasokan sayuran dengan menggunakan logika *fuzzy* yang mempertimbangkan permintaan dan persediaan dan tidak membahas tentang pendistribusian ke setiap pelanggan secara rinci, Pishvae dan Razmi [13] menentukan lokasi alokasi produk dengan menggunakan *fuzzy mathematical programming*, Kannan *et al.* [14] menentukan alokasi permintaan dengan menggunakan *fuzzy multi objective linear programming*. Selanjutnya Mouvasi *et al.* [15] menentukan lokasi *cross-docking centers* dengan menggunakan metode *fuzzy possibilistic stochastic programming*, Alikhani dan Azar [16] menentukan alokasi sumber daya gas dengan menggunakan metode *fuzzy goal programming*. Talaei [17] menentukan lokasi alokasi *manufacturing* dan *collection center* dengan menggunakan metode *robust fuzzy programming*, sedangkan Mohammed dan Wang [18] menentukan lokasi alokasi dengan menggunakan metode *fuzzy multi objective programming*.

Penelitian ini merupakan pengembangan model lokasi alokasi untuk *distribution center* dengan tujuan dapat menurunkan biaya distribusi dengan mempertimbangkan parameter biaya pembukaan *distribution center* dan keputusan pembukaannya dan meminimasi waktu distribusi dari *distribution center* terakhir ke konsumen. Penentuan nilai optimal untuk kedua tujuan di dasarkan pada pertimbangan subyektif pengambil keputusan tentang seberapa baik nilai masing-masing tujuan *relative* terhadap nilai terbaiknya. Karena itu, tujuan dari permasalahan sistem distribusi dalam penelitian ini menjadi samar (*fuzzy*) sehingga diselesaikan dengan menggunakan pendekatan *Fuzzy Multi Objective Programming*.

Konsep Dasar Supply Chain Management

Rantai pasok merupakan semua tingkatan (*stages*) yang terlibat secara langsung dan tidak langsung, dalam memenuhi kebutuhan pelanggan termasuk pabrik, pemasok, pihak penyelenggara transportasi, gudang, ritel, dan pelanggan. Di dalam rantai pasok tidak hanya mencakup pergerakan produk dari pemasok ke pabrik

kemudian ke distributor, tapi juga pergerakan informasi, uang dan produk pada kedua arah yang sering disebut dengan *supply network* [19].

Manajemen rantai pasok adalah metoda atau pendekatan pengelolaan dari rantai pasok dengan pendekatan terintegrasi mulai dari proses pemasok bahan baku, produksi, hingga sampai ke tangan konsumen [20]. Dalam *Supply Chain Management* (SCM) ada 3 aliran yang terjadi yaitu [20] (1) Material; (2) Finansial; (3) Informasi.

Manajemen Logistik

Manajemen logistik merupakan proses merencanakan, implementasi, dan pengendalian bahan baku, barang dalam proses, barang jadi, dan informasi-informasi yang terkait dengan biaya yang efisien dan efektivitas untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Manajemen logistik berkaitan dengan aliran fisik dan aliran barang dari dan ke dalam perusahaan [21].

Konsep logistik terdiri dari dua usaha yang berkaitan, yaitu [22]:

1. Operasi logistik
Aspek operasional logistik berkaitan dengan pemindahan dan penyimpanan material dan produk jadi perusahaan. Operasi logistik ini dapat dibagi menjadi 3 kategori, yaitu: (a) Manajemen distribusi fisik, (b) Manajemen material; (c) Transfer persediaan-barang di dalam perusahaan
2. Koordinasi logistik
Koordinasi logistik merupakan identifikasi kebutuhan pergerakan dan penetapan rencana untuk memadukan seluruh operasi logistik. Koordinasi dibutuhkan untuk memantapkan dan mempertahankan kontinuitas operasi. Koordinasi logistik dapat dibagi dalam 4 bidang manajerial, yaitu: (a) Peramalan (*forecasting*) pasar produk; (b) Pengolahan pesanan; (c) Perencanaan operasi, (d) Perencanaan kebutuhan material.

Penentuan untuk penilaian jaringan diberikan lewat lima kunci yaitu [21]: (1) Permintaan; (2) Pelayanan konsumen; (3) Karakteristik produk; (4) Biaya logistik; (5) *Pricing policy*.

Sistem Distribusi

Distribusi dari produk sering menciptakan hirarki dari lokasi penyimpanan, yang dapat meliputi pusat-pusat produksi (*manufacturing centers*), pusat-pusat distribusi (*distribution centers*), grosir (*wholesaler*), dan pengecer (*retailers*). Distribusi barang sering dikenal dengan istilah logistik, dan dalam kamus APICS logistik diartikan sebagai ilmu dan seni dari perolehan, produksi, dan distribusi material dan produk dalam kuantitas dan tempat yang tepat [23]. Beberapa tujuan dari sistem distribusi [23] adalah (1) Pelayanan pelanggan; (2) Efisiensi; (3) Investasi persediaan minimum.

Desain Jaringan Distribusi

Pengambilan keputusan dalam desain jaringan distribusi terdiri dari pemilihan lokasi pabrik, lokasi penyimpanan, fasilitas-fasilitas yang berhubungan dengan transportasi dan alokasi dari kapasitas serta peranan tiap fasilitas [19].

Menurut Chopra [19] keputusan-keputusan yang berhubungan dengan fasilitas dapat diklasifikasikan sebagai berikut: (1)

Peranan fasilitas; (2) Lokasi fasilitas; (3) Alokasi kapasitas; (4) Alokasi pasar dan *supply*.

Tujuan pengambilan keputusan yang berhubungan dengan fasilitas adalah untuk mendesain jaringan distribusi sehingga tercapai minimal total biaya logistik, termasuk biaya pembelian dan produksi, biaya persediaan, biaya fasilitas (biaya simpan, biaya penanganan dan biaya tetap) dan biaya transportasi dengan kendala *service level* yang telah ditentukan pihak manajemen perusahaan [24]. Beberapa faktor yang berpengaruh dalam keputusan desain jaringan distribusi adalah [19]: (1) Faktor strategi; (2) Faktor teknologi; (3) Faktor makroekonomi; (4) Faktor politik; (5) Faktor infrastruktur; (6) Faktor kompetisi; (7) Faktor logistik dan operasional.

Keputusan penentuan konfigurasi jaringan distribusi dalam konteks manajemen operasi meliputi identifikasi terhadap lokasi fasilitas, peranan masing-masing fasilitas dan kapasitas dari tiap fasilitas tersebut [19]. Penyusunan model konfigurasi jaringan distribusi mempunyai implikasi pada penyelesaian masalah optimasi yang cukup kompleks. Menurut Simchi-Levi *et al.* [24], tipikal permasalahan dalam penyusunan model konfigurasi jaringan distribusi adalah kompleksitas pengolahan data tentang berbagai informasi hal-hal berikut yang meliputi: (1) Lokasi pelanggan, retailer, gudang, pusat distribusi, pabrik pemasok; (2) Seluruh jenis produk, volume dan transportasi; (3) Permintaan pelanggan; (4) Biaya transportasi; (5) Biaya pengangkutan meliputi tenaga kerja, biaya simpan, dan tetap; (6) Volume dan frekuensi pengiriman kepada pelanggan; (7) Biaya pesan; (8) Kebutuhan dalam melayani pelanggan.

Masalah dalam manajemen logistik dapat diklasifikasikan menjadi [25] masalah lokasi, alokasi, dan lokasi-alokasi. Selanjutnya, masalah penentuan lokasi fasilitas dapat diklasifikasikan menjadi masalah *single facility* dan multi *facilities*. Menurut Ballou [21] terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam proses pengambilan keputusan mengenai multi *facilities*, antara lain: (1) *Multiple Center of Gravity Approach*; (2) *Model Mixed-Integer Linear Programming*; (3) *Metode Simulasi*; (4) *Metode Heuristik*.

Keputusan penentuan lokasi perlu dievaluasi secara berkala. Hal ini disebabkan oleh [26]: (1) Globalisasi segmen pasar yang ditargetkan memerlukan adanya fasilitas distribusi dan produksi di tempat tersebut; (2) Memasuki segmen pasar yang baru, diperlukan pembukaan fasilitas pabrik dan distribusi; (3) Tekanan biaya berkaitan dengan kompetitor dan konsumen; (4) Pentingnya waktu dalam proses pendistribusian sehingga dapat meningkatkan *service level* konsumen; (5) Lokasi yang telah ada tidak menguntungkan.

Pemodelan Sistem

Pemodelan sistem akan mengaplikasikan konsep dan pemikiran sistem pada *real life problematic situation* dan mendefinisikan sistem untuk masalah yang sedang terjadi. Hal ini harus relevan dan dapat dilakukan analisis dari situasi masalah tersebut. Proses melakukan konseptual sistem ini disebut dengan pemodelan sistem [27], yaitu: (1) Ringkasan situasi; (2) Pendekatan untuk mendeskripsikan sistem relevan; (3) Model sistem; (4) Pemodelan matematik (*Mathematical Modeling*); (5) Verifikasi

model; (6) Validasi model; (7) Solusi model dan analisis sensitivitas.

Model Umum Fuzzy Multi Objective

Model *Fuzzy Linear Programming* merupakan salah satu metode yang dapat digunakan dalam penentuan lokasi dan alokasi. Model *Fuzzy Linear Programming* merupakan pengembangan metode *linear programming* dengan menggunakan cara berfikir manusia dalam membedakan informasi secara kualitatif sehingga kondisi yang muncul akibat subjektivitas dan intuisi yang dominan dapat diselesaikan, bukan hanya menggunakan asumsi kepastian seperti pada *linear programming*. Teori himpunan *fuzzy* dapat digunakan untuk mempresentasikan ketidakpastian, ketidakjelasan, ketidaktepatan, dan kekurangan informasi [28].

Program *linier multi objective fuzzy* adalah metode optimasi dengan beberapa fungsi tujuan yang tunduk pada beberapa batasan. Solusi permasalahan program *linier multi objective fuzzy* diperoleh seperti penyelesaian optimasi dengan satu fungsi tujuan tetapi dengan mempertimbangkan dua tujuan. Metode ini merupakan pengembangan dari program *linier fuzzy* dimana persoalan yang muncul dengan dua atau lebih fungsi tujuan yang akan dioptimasi sedemikian sehingga memenuhi batasan-batasan yang dimodelkan dengan menggunakan himpunan *fuzzy*

Bentuk umum dari program *linier multi objective fuzzy* sebagai berikut:

Fungsi tujuan: maksimumkan/ minimumkan

$$z_1(x) = c_{11}x_1 + c_{12}x_2 + \dots + c_{1n}x_n = c_1x$$

$$z_2(x) = c_{21}x_1 + c_{22}x_2 + \dots + c_{2n}x_n = c_2x$$

⋮

$$z_k(x) = c_{k1}x_1 + c_{k2}x_2 + \dots + c_{kn}x_n = c_kx$$

dengan batasan:

$$A_x \leq b$$

$$x \geq 0$$

dimana: $c_i = (c_{i1}, \dots, c_{in})$, $i = 1, 2, \dots, k$, $x = (x_1, \dots, x_n)^T$, $b = (b_1, \dots, b_m)^T$,

$r = (r_1, \dots, r_n)^T$ dan $A = [a_{ij}]$ adalah matriks berukuran $m \times n$.

Misalkan $z_1(x)$ mempunyai *fuzzy goal* r_i , maka (1) menjadi program *linier multi objective fuzzy* sebagai berikut:

$$c_1x \geq r_i$$

$$A_x \leq b$$

$$x \geq 0$$

Selanjutnya persamaan (2) dapat dibawa ke dalam bentuk:

Tentukan x sedemikian hingga:

$$B_x \leq d$$

$$x \geq 0$$

dengan:

$$B = \begin{pmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_k \\ A \end{pmatrix} \quad \text{dan} \quad d = \begin{pmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \vdots \\ r_k \\ b \end{pmatrix}$$

Tiap-tiap baris atau batas $(0, 1, 2, \dots, m)$ akan dipresentasikan dengan sebuah himpunan *fuzzy*, dengan fungsi keanggotaan pada himpunan ke- i adalah $\mu_i[B_i x]$. Fungsi keanggotaan untuk model keputusan himpunan *fuzzy* dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\mu_D[Bx] = \min\{\mu_i[B_i x]\}$$

Dari model tersebut diharapkan akan didapatkan solusi terbaik, yaitu suatu solusi dengan nilai keanggotaan yang paling besar, dengan demikian solusi yang sebenarnya adalah:

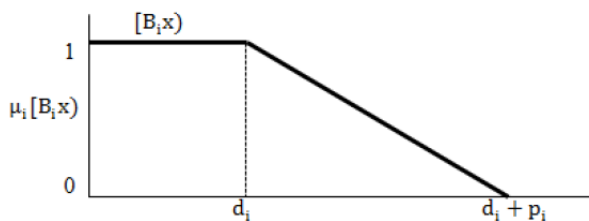
$$\max_{x \geq 0} \mu_D[Bx] = \max_{x \geq 0} \min_i \{\mu_i[B_i x]\}$$

Dapat dilihat bahwa $\mu_i[B_i x] = 0$ jika batasan ke- i benar-benar dilanggar. Sebaliknya $\mu_i[B_i x] = 1$ jika batasan ke- i benar-benar dipatuhi. Nilai $\mu_i[B_i x]$ akan naik secara monoton pada selang $[0,1]$, yaitu:

$$\mu_i[B_i x] = \begin{cases} 1; & \text{jika } B_i x \leq d_i \\ \in [0,1]; & \text{jika } d_i < B_i x < d_i + p_i \\ 0; & \text{jika } B_i x \geq d_i + p_i \end{cases}$$

dimana $i = 0,1,2, \dots, m$.

Gambaran fungsi keanggotaan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Fungsi Keanggotaan

$$\mu_i[B_i x] = f(x) = \begin{cases} 1; & \text{jika } B_i x \leq d_i \\ 1 - \frac{B_i x - d_i}{p_i}; & \text{jika } d_i < B_i x < d_i + p_i \\ 0; & \text{jika } B_i x \geq d_i + p_i \end{cases}$$

dimana $i = 0,1,2, \dots, m$

dengan p_i adalah toleransi interval yang diperbolehkan untuk melakukan pelanggaran baik pada fungsi objektif maupun batasan.

Dengan mensubstitusikan persamaan tersebut diatas, maka akan diperoleh

$$\max_{x \geq 0} \mu_D[Bx] = \max_{x \geq 0} \min_i \left\{ 1 - \frac{B_i x - d_i}{p_i} \right\}$$

Misalkan $\lambda = \min\{\mu_i[B_i x]\}$, maka diperoleh bentuk program linier baru sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &\text{Memaksimumkan: } \lambda \\ &\text{dengan batasan: } \lambda \leq \{\mu_i[B_i x]\} \\ & \quad \quad \quad x \geq 0 \end{aligned}$$

dimana $i = 0,1,2, \dots, m$

Kemudian bentuk tersebut diatas dapat diuraikan kedalam bentuk lain sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &\text{Memaksimumkan: } \lambda \\ &\text{dengan batasan: } \lambda d_i + B_i x \leq d_i + p_i \\ & \quad \quad \quad x \geq 0 \end{aligned}$$

dimana $i = 0,1,2, \dots, m$

Perkembangan Model Lokasi dan Alokasi

Model Lokasi Alokasi pertama kali dikenalkan oleh Cooper [5] dan telah dikembangkan oleh banyak peneliti sampai saat ini. Pada umumnya model yang dikembangkan dengan menggunakan fitur model *single period* dimana model memperhitungkan untuk satu waktu. Beberapa model menggunakan fitur model multi *period* yang merupakan model dirancang dengan memperhitungkan periode-periode tertentu untuk menentukan lokasi dan alokasi suatu fasilitas. Begitu juga untuk fitur model *single* produk dimana model dirancang hanya untuk satu produk. Beberapa menggunakan fitur model multi produk yang merupakan model yang dirancang untuk beberapa jenis produk.

Variabel yang sering digunakan pada model lokasi alokasi yaitu variabel transportasi yang mempertimbangkan fasilitas transportasi yang digunakan seperti jenis kendaraannya, kapasitas fasilitas yang mempertimbangkan kapasitas fasilitas seperti kapasitas gudang dan kapasitas kendaraan serta variabel lokasi/alokasi yang mempertimbangkan lokasi pembukaan gudang dan alokasinya untuk konsumen sedangkan terdapat beberapa penelitian menggunakan variabel waktu yang mempertimbangkan waktu seperti waktu pengiriman produk.

Penelitian ini merupakan pengembangan model dari Mohammed dan Wang [18], dimana pada penelitian Mohammed dan Wang [18] mengembangkan model dengan fitur model *single period*, *single* produk dan variabel transportasi, waktu dan variabel lokasi alokasi dengan tujuan penelitiannya untuk meminimasi biaya, memaksimalkan *responsiveness* dan meminimumkan dampak terhadap lingkungan. Sementara pada penelitian ini dikembangkan untuk fitur model *single period*, sesuai dengan kondisi PT Semen Padang yang mempunyai banyak tipe semen dan variabel transportasi, kapasitas fasilitas, waktu dan variabel lokasi alokasi. Model ini bertujuan untuk meminimasi biaya distribusi produk dan biaya pembukaan Gudang Penyangga dan *Packing Plant* serta memaksimumkan *responsiveness* terhadap pelanggan yang mempertimbangkan parameter yang tidak pasti dengan menggunakan metode *Fuzzy Multi Objective Programming*. Penelitian ini merangkum beberapa penelitian sebelumnya yang dapat dijadikan sebagai rujukan (Tabel 1).

METODE

Studi Pendahuluan

Studi pendahuluan dilakukan melalui studi lapangan dan studi literature. Studi lapangan dilakukan untuk mengetahui dan mempelajari sistem distribusi semen jalur darat dan jalur laut pada keadaan nyata, terutama mengenai jumlah, lokasi dan alokasi produk ke *distribution center*. Pengenalan sistem distribusi dapat dilakukan dengan wawancara, melihat informasi data transportasi dan informasi lainnya yang berhubungan dengan sistem distribusi. Studi literatur merupakan kegiatan untuk mencari sumber yang berkembang saat ini mengenai topik penelitian yaitu model lokasi dan alokasi gudang, distributor yang optimum. Studi literatur ini diperoleh dari berbagai sumber, buku, jurnal, atau referensi lainnya yang berkaitan dengan topik lokasi dan alokasi yang sesuai dengan karakteristik sistem distribusi.

Tabel 1. Penelitian Terkait Model Lokasi Alokasi

No.	Peneliti	Supply Chain Network Echelons	Period		Product		Variables				Objective Functions				Type of Mathematical Programming
			Single	Multiple	Single	Multiple	Transportation	Facility Capacity	Time	Location/ Allocation	Cost/ Distance	Profit	Responsiveness	Green	
1	Sulistyowati <i>et al.</i> (2010)	3	v			v	v	v	v	v	v				Mixed Integer Linear Programming
2	Yuniaristanto <i>et al.</i> (2010)	2		v		v	v	v		v	v				Mixed Integer Non-linear Programming
3	Pischvae dan Razmi (2012)	6	v		v	v	v		v	v			v		Fuzzy Mathematical Programming
4	Syam dan Côté (2012)	2	v		v	v	v		v	v					Nonlinear Mixed Integer
5	Shariff <i>et al.</i> (2012)	2	v		v	v	v		v	v					Genetic Algorithm based heuristics
6	Murali <i>et al.</i> (2012)	2	v		v	v	v		v	v					Locate-Allocate Heuristic
7	Taghipourian <i>et al.</i> (2012)	3		v	v	v	v		v	v					Fuzzy Integer Linear Programming
8	Ariyana (2012)	3		v		v	v		v	v					Linear Programming
9	Mousavi dan Niaki (2013)	2	v		v				v	v					Fuzzy Programing & Fuzzy Simulation
10	Kannan <i>et al.</i> (2013)	2	v		v				v	v	v				Fuzzy Multi-Objective Linear Programming
11	Xifeng <i>et al.</i> (2013)	2	v		v		v		v	v		v	v		Multi-Objective Optimization Problem
12	Mirzapour <i>et al.</i> (2013)	2	v		v			v	v	v					Mixed Integer Nonlinear Programming
13	Amin dan Zhang (2013)	3	v			v	v	v	v	v					Mixed Integer Linear Programming
14	Akbar <i>et al.</i> (2013)	2	v		v		v	v	v	v					Linear Programming
15	Masudin (2013)	3	v		v		v	v	v	v					Mixed Integer Linear Programming
16	Mousavi <i>et al.</i> (2014)	3	v			v	v	v	v	v					Fuzzy Possibilistic Stochastic Programming
17	Hosseininezhad <i>et al.</i> (2014)	2	v		v		v	v	v	v					Fuzzy Algorithm
18	Zahiri <i>et al.</i> (2014)	3		v	v		v		v	v	v				Robust Possibilistic Programming
19	Alikhani dan Azar (2015)	2	v		v				v	v	v		v		Fuzzy Goal Programming
20	Moghaddam (2015)	2	v			v	v		v	v		v	v		Fuzzy Goal Programming
21	Ghodratnam <i>et al.</i> (2015)	3		v		v	v	v	v	v		v	v		Fuzzy Goal Programming
22	Zhong <i>et al.</i> (2015)	2	v		v		v		v	v					Fuzzy Random Programming
23	Mestre <i>et al.</i> (2015)	2		v	v		v	v	v	v		v			Multi-Objective Programming
24	Wang dan Lee (2015)	3	v		v			v	v		v				Ant Colony Optimization
25	Mousavi <i>et al.</i> (2015)	2		v		v	v		v	v					Mixed Binary Integer Mathematical
26	Kazemi dan Szmerekovsjy (2015)	2	v			v	v	v	v	v					Mixed Integer Linear Programming
27	Arabzad <i>et al.</i> (2015)	3	v			v	v	v	v	v					Multi Objective Mixed Interger Linear Programming
28	Talaei <i>et al.</i> (2016)	3	v		v		v	v	v	v			v		Robust Fuzzy Programming
29	Ardjmand <i>et al.</i> (2016)	3	v		v		v		v	v					Genetic Algorithm
30	Saranwong dan Likasiri (2017)	3	v		v		v	v	v	v					Bi-Level Programming
31	Mohammed dan Wang (2017)	3	v		v		v		v	v		v	v		Fuzzy Multi-Objective Programming
32	Penelitian ini	3 eselon	v		v		v	v	v	v		v			Fuzzy Multi-Objective Programming

Identifikasi Masalah

Setelah dilakukan studi lapangan maka diidentifikasi masalah yang terjadi adalah tingginya biaya distribusi semen dan kurang efisiennya lokasi dan alokasi Gudang Penyanggan dan *Packing Plant* yang ada. Oleh sebab itu perlu dilakukan perancangan model matematis untuk menentukan jumlah, lokasi dan alokasi Gudang Penyangga dan *Packing Plant* yang optimum sehingga biaya distribusi semen dapat diminimalkan. Pengoptimalan biaya distribusi semen dapat menurunkan harga semen PT Semen Padang agar semen PT Semen Padang dapat bersaing dengan produsen semen lainnya.

1.1. Karakterisasi Sistem

Proses pendistribusian semen dari pabrik ke daerah-daerah pemasaran dilakukan dengan menggunakan jalur laut dan jalur darat. Semen yang didistribusikan dengan jalur laut terdiri atas semen curah dan semen kantong yang didistribusikan dengan kapal laut. Semen dari pabrik dibawa ke *Packing Plant* Teluk Bayur dengan menggunakan kereta api dan truk kapsul. Pendistribusian untuk semen kantong dikirimkan untuk ekspor dan ke beberapa gudang penyangga di Pulau Sumatera dan Jawa. Sedangkan semen curah didistribusikan untuk ekspor, intercompany dan ke beberapa *Packing Plant* diantaranya; Batam, Malahayati, Belawan, Dumai, Ciwandan, Tanjung Priok, Lhoksumawe, dan Lampung.

Pendistribusian jalur darat dilakukan dengan menggunakan truk. Semen kantong dan curah dibawa dari *Packing Plant* Indarung ke gudang-gudang penyangga yang ada. Pendistribusian semen kantong didistribusikan dengan menggunakan truk *bag* dan truk *loosing* ke daerah penyangga diantaranya, Sibolga, Pekanbaru, Siak, Pelalawan, Jambi, Bengkulu, Lubuk Linggau, Dumai dan Lampung, Kapuk, Tanjung Priok (Semper), Ciputat, dan Serang. Sedangkan semen curah didistribusikan dengan menggunakan truk kapsul ke daerah Sumbar, Riau Daratan, dan Jambi.

Proses pendistribusian produk tersebut mempertimbangkan beberapa parameter seperti biaya transportasi, biaya pembukaan *Packing Plant* dan gudang penyangga, permintaan konsumen, dan waktu pengiriman. Parameter-parameter tersebut mengasumsikan bilangan *real* yang nilainya sudah pasti. Namun pada kenyataannya terdapat parameter yang nilainya tidak pasti seperti permintaan konsumen. Untuk itu, digunakan logika fuzzy yang dapat menggambarkan parameter yang tidak pasti tersebut. Proses distribusi produk PT Semen Padang dapat dilihat pada Gambar 2.

Formulasi Model Matematis

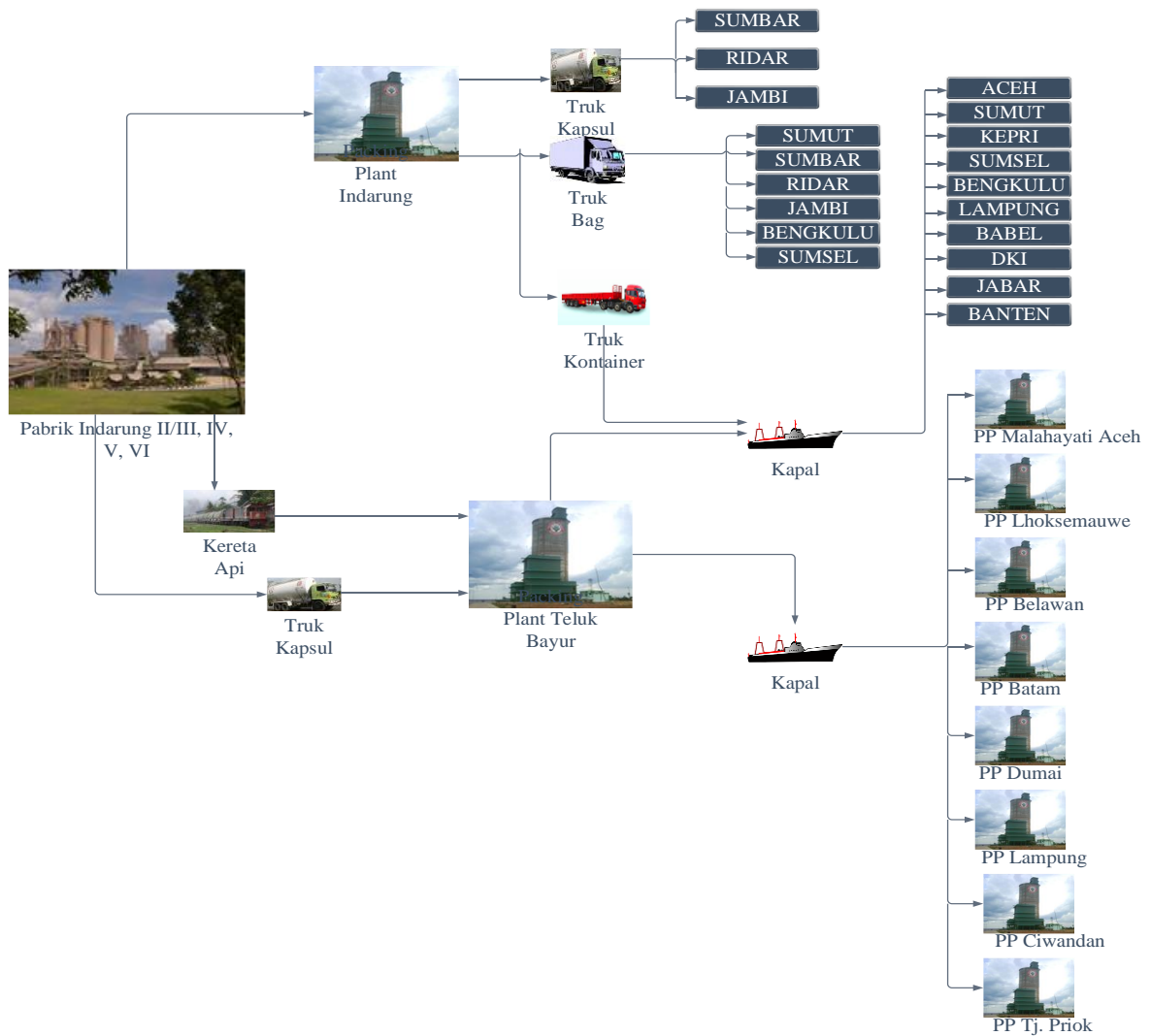
Formulasi model lokasi alokasi untuk penentuan lokasi dan alokasi Gudang Penyangga dan *Packing Plant* mengacu kepada model dari Mohammed dan Wang [18]. Tahapan-tahapan dalam formulasi model yang akan dilakukan adalah:

1. Pengembangan Model Lokasi Alokasi
Pengembangan model lokasi alokasi dilakukan berdasarkan penelitian yang telah mengembangkan model lokasi alokasi sebelumnya. Pengembangan model lokasi alokasi yang dilakukan dengan mengembangkan model jaringan distribusi dan model matematis dari penelitian sebelumnya.
2. Menentukan Karakteristik Sistem
Tahap ini dilakukan untuk mengetahui sistem nyata mengenai sistem distribusi semen jalur darat dan jalur laut PT Semen Padang. Dengan menentukan karakteristik sistem maka dapat diketahui perilaku dari sistem yang akan dimodelkan.
3. Formulasi Model
Tahapan dalam formulasi model adalah : (a) Menetapkan fungsi tujuan; (b) Menentukan parameter dan variabel model; (c) Mengembangkan model matematis lokasi alokasi Gudang Penyangga dan *Packing Plant* yaitu model *Fuzzy Multi Objective Programming*; (d) Transformasi ke model *crisp*; (e) Menentukan solusi min dan max untuk setiap fungsi tujuan; (f) Menentukan fungsi keanggotaan untuk setiap fungsi tujuan; (g) Menyelesaikan model dengan *goal programming*; (h) Menentukan keputusan dengan melihat nilai Min dan Max; (i) Verifikasi model. Verifikasi model dilakukan untuk mengetahui apakah model yang dibuat sudah benar dan sudah menyelesaikan permasalahan yang ada di perusahaan. Verifikasi model yang dilakukan yaitu uji komputasi *step by step*, uji dimensional dan uji hasil menggunakan *solver* Ms.Excel dan output software Lingo 17.0; (j) Validasi model. Validasi model digunakan untuk mengetahui apakah model yang dibuat sudah dapat mewakili sistem nyata. Validasi model yang dilakukan yaitu validasi dengan pengujian subjektif dimana pakar menilai model berdasarkan kemahiran dalam sistem dan pengalaman; (k) Menyusun prosedur solusi model. Prosedur solusi model menggunakan pendekatan bertahap dan pendekatan simultan menggunakan *software* Lingo.

Implementasi dan Analisis Model

Pengolahan data digunakan untuk mendapatkan kebijakan pengiriman lokasi dan alokasi yang optimal dengan biaya minimum. Analisis dilakukan terhadap tiap langkah dalam pengolahan data beserta hasil perhitungannya meliputi analisis biaya minimal dan analisis investasi untuk pembukaan Gudang Penyangga dan *Packing Plant*. Interpretasi hasil yang dilakukan adalah menjelaskan hasil yang didapatkan pada pengolahan data, yaitu interpretasi hasil penentuan lokasi alokasi Gudang Penyangga dan *Packing Plant* PT Semen Padang.

Selanjutnya dilakukan analisis sensitivitas terhadap variabel-variabel dalam model penentuan lokasi alokasi Gudang Penyangga dan *Packing Plant*. Tahapan ini dilakukan untuk melihat seberapa besar perubahan terhadap hasil yang didapatkan jika terjadi perubahan nilai pada parameter.



Gambar 2. Proses Pendistribusi Produk

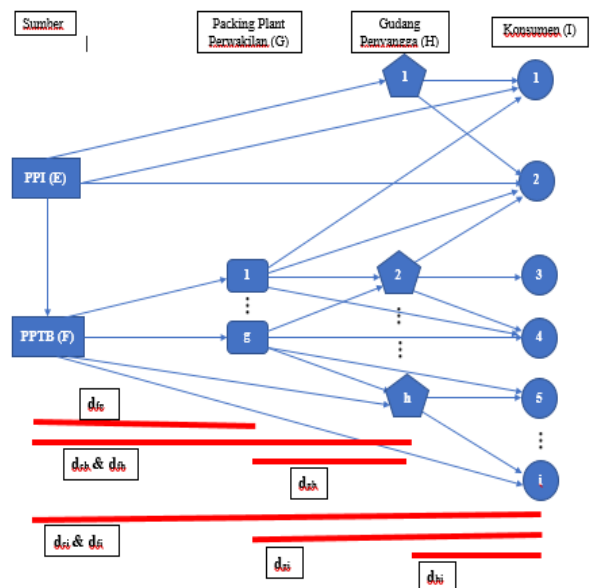
HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Sistem

Permasalahan yang dibahas pada penelitian ini adalah pengembangan model lokasi alokasi dalam pendistribusian produk di PT Semen Padang yang bertujuan untuk mengoptimalkan lokasi Gudang Penyangga dan *Packing Plant* serta alokasi yang akan dikirimkan ke konsumen, tujuan lainnya yaitu untuk memaksimalkan pengiriman yang tepat waktu ke konsumen. Model ini terdiri dari tiga eselon yaitu dari *Packing Plant*, Gudang Penyangga dan Konsumen. Penentuan pemilihan lokasi *Packing Plant* dan Gudang Penyangga dengan mempertimbangkan biaya transportasi dan biaya pembukaan *Packing Plant* dan Gudang Penyangga.

Semen yang telah diproduksi di pabrik Indarung II/III, IV, V, dan VI dikirimkan ke *Packing Plant* Indarung dan *Packing Plant* Teluk Bayur yang akan dipasarkan ke daerah-daerah pemasaran PT Semen Padang. Daerah pemasaran PT Semen Padang meliputi dalam dan luar negeri. Saat ini perusahaan lebih memfokuskan untuk memenuhi permintaan daerah pemasaran dalam negeri dibandingkan luar negeri. Daerah pemasaran dalam negeri meliputi wilayah-wilayah di seluruh Pulau Sumatera dan beberapa wilayah di Pulau Jawa diantaranya DKI Jakarta, Banten

dan Jawa Barat. PT Semen Padang memiliki kompetitor di daerah pemasarannya, seperti semen Andalas, semen Tiga Roda, semen Batu Raja, semen Merah Putih dan semen Holcim. Proses rantai pasok PT Semen Padang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Rantai Pasok PT Semen Padang

Influence Diagram

Berdasarkan karakteristik sistem yang telah dijelaskan, dapat ditentukan keterkaitan antar elemen dalam sistem pendistribusian produk PT Semen Padang, serta pengaruh antara variabel-variabel tersebut yang digambarkan dengan *influence* diagram. Keterkaitan antara elemen input, komponen dan output disajikan dalam bentuk *influence* diagram sistem pendistribusian semen PT Semen Padang pada Gambar 4.

Formulasi Model Matematis

Berdasarkan *influence* diagram maka dapat diformulasikan model matematis untuk menggambarkan karakteristik sistem. Formulasi model matematis ini merupakan pengembangan model lokasi alokasi dari Mohammed dan Wang [18]. Model matematis dipilih karena dibangun atas dasar pengetahuan sistem nyata yang sedang dikaji, teori dan ilmu matematika, serta keterampilan analisis. Model ini dinilai lebih mudah untuk mempelajari keterkaitan hubungan antara objek-objek pada dunia nyata, maupun objek-objek yang abstrak yang kemudian diterjemahkan dalam bentuk simbol-simbol matematis. Prilaku sistem yang memiliki suatu fungsi tujuan dan kendala-kendala yang membatasi sistem. Hal yang perlu dilakukan dalam membangun model dengan menentukan asumsi model, notasi, parameter, variabel-variabel keputusan, fungsi tujuan, dan kendala-kendala dalam sistem yang ditransformasikan dari sistem nyata ke dalam bentuk sebuah model. Berikut ini merupakan proses pembangunan model lokasi alokasi yang akan dikembangkan:

a. Asumsi

Adapun asumsi yang digunakan dalam pengembangan model lokasi alokasi ini adalah sebagai berikut:

1. Daerah pemasaran diasumsikan kab/kota diseluruh wilayah pendistribusi PT Semen Padang.
2. Kecepatan pengiriman dari *distribution center* terakhir ke konsumen diasumsikan konstan.
3. Biaya distribusi dari pabrik ke *distribution center* tetap
4. Biaya pembukaan *distribution center* tetap

b. Notasi

Penulisan notasi digunakan untuk lebih mudah mengkomunikasikan kerangka penalaran sistem yang kompleks ke dalam model untuk mendapatkan kesepakatan dan pemahaman bersama. Notasi model dapat dilihat sebagai berikut:

E = Sumber 1 (PPI)

F = Sumber 2 (PPTB)

G = lokasi potensial dibukanya *Packing Plant* (1, 2, ...g ... G)

H = lokasi potensial dibukanya gudang penyangga (1, 2, ... h ... H)

I = daerah pemasaran (1, 2, ... i ... I)

P = jenis produk (1, 2, ... p ... P)

c. Parameter

Parameter-parameter yang digunakan pada model ini adalah sebagai berikut;

C_{ehp} = Biaya transportasi produk p dari sumber 1 ke Gudang Penyangga h (Rp/Ton.Km)

C_{eip} = Biaya transportasi produk p dari sumber 1 ke daerah pemasaran i (Rp/Ton.Km)

C_{efp} = Biaya transportasi produk p dari sumber 1 ke sumber 2 (Rp/Ton.Km)

C_{fgp} = Biaya transportasi produk p dari sumber 2 ke *Packing Plant* g (Rp/Ton.Km)

C_{fhp} = Biaya transportasi produk p dari sumber 2 ke gudang penyangga h (Rp/Ton.Km)

C_{fip} = Biaya transportasi produk p dari sumber 2 ke daerah pemasaran i (Rp/Ton.Km)

C_{ghp} = Biaya transportasi produk p dari *Packing Plant* g ke gudang penyangga h (Rp/Ton.Km)

C_{gip} = Biaya transportasi produk p dari *Packing Plant* g ke daerah pemasaran i (Rp/Ton.Km)

C_{hip} = Biaya transportasi produk p dari gudang penyangga h ke daerah pemasaran i (Rp/Ton.Km)

d_{eh} = Jarak dari sumber 1 ke gudang penyangga h (Km)

d_{ei} = Jarak dari sumber 1 ke daerah pemasaran i (Km)

d_{ef} = Jarak dari sumber 1 ke sumber 2(Km)

d_{fg} = Jarak dari sumber 2 ke *Packing Plant* g (Km)

d_{fh} = Jarak dari sumber 2 ke gudang penyangga h (Km)

d_{fi} = Jarak dari sumber 2 ke daerah pemasaran i (Km)

d_{gh} = Jarak dari *Packing Plant* g ke gudang penyangga h (Km)

d_{gi} = Jarak dari *Packing Plant* g ke daerah pemasaran i (Km)

d_{hi} = Jarak Gudang Penyangga h ke daerah pemasaran i (Km)

F_g = biaya tetap pembukaan *Packing Plant* g(Rp)

F_h = biaya tetap pembukaan Gudang Penyangga h (Rp)

K_{ep} = kapasitas sumber 1 untuk produk p (ton)

K_{fp} = kapasitas sumber 2 untuk produk p (ton)

K_{hp} = kapasitas *Packing Plant* g untuk produk p (ton)

K_{gp} = kapasitas Gudang Penyangga h untuk produk p (ton)

D_{ip} = permintaan produk p untuk daerah pemasaran i (ton)

v = Kecepatan kendaraan untuk pengiriman akhir(Km/Jam)

d. Variabel

Variabel merupakan lambang yang memiliki unsur-unsur dalam suatu himpunan dari suatu atribut sistem. Variabel keputusan yang digunakan sebagai berikut;

X_{ehp} = total produk p yang dikirim dari sumber 1 ke gudang penyangga h (ton)

X_{eip} = total produk p yang dikirim dari sumber 1 ke daerah pemasaran i (ton)

X_{efp} = total produk p yang dikirim dari sumber 1 ke sumber 2 (ton)

X_{fgp} = total produk p yang dikirim dari sumber 2 ke *Packing Plant* g (ton)

X_{fhp} = total produk p yang dikirim dari sumber 2 ke gudang penyangga h (ton)

X_{fip} = total produk p yang dikirim dari sumber 2 ke daerah pemasaran i (ton)

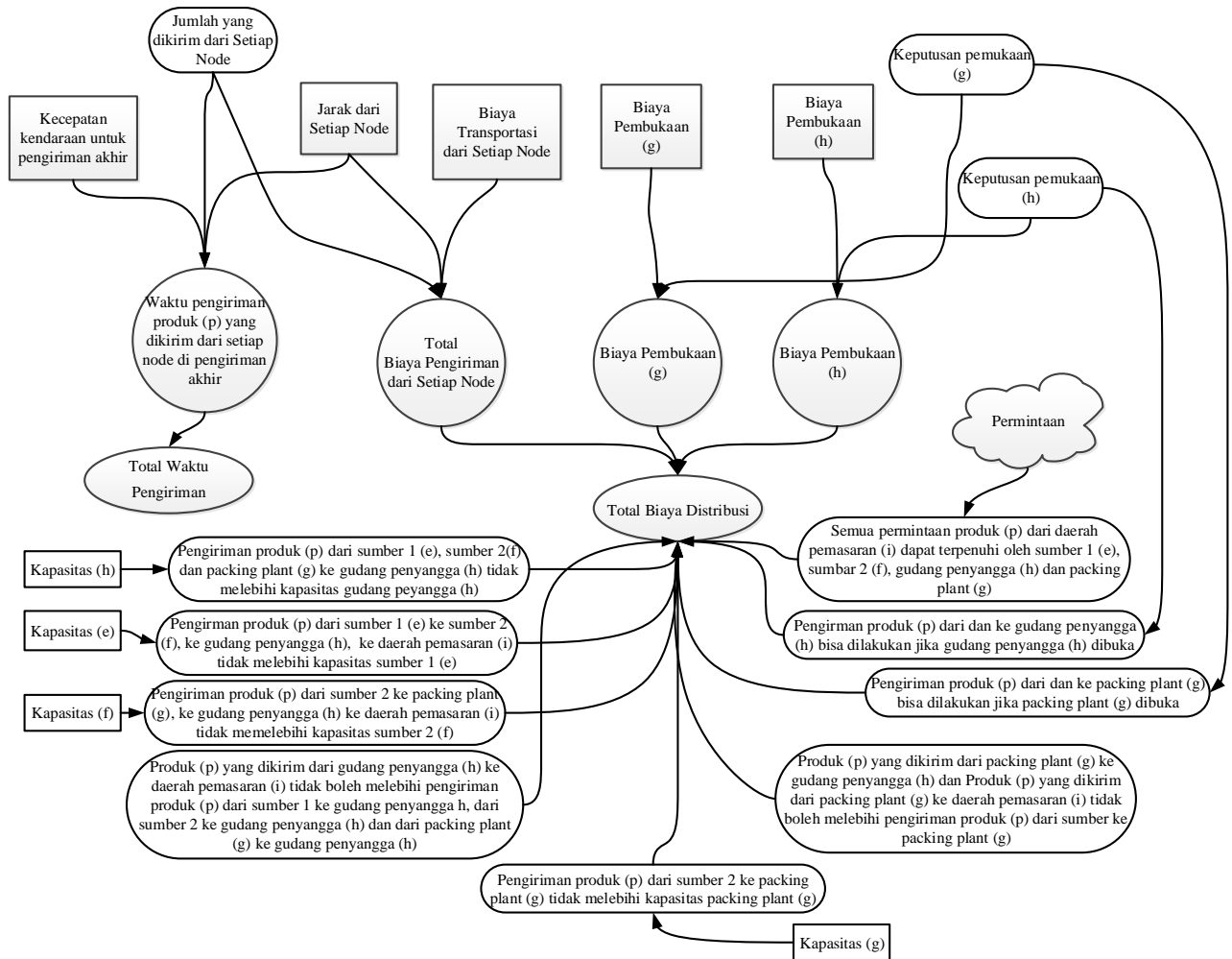
X_{ghp} = total produk p yang dikirim dari *Packing Plant* g ke gudang penyangga h

X_{gip} = total produk p yang dikirim dari *Packing Plant* g ke daerah pemasaran i

X_{hip} = total produk p yang dikirim dari gudang Penyangga h ke daerah pemasaran i

Z_g = 1, jika *Packing Plant* g dibuka atau 0, jika tidak dibuka

Z_h = 1, jika gudang penyangga h dibuka atau 0, jika tidak dibuka



Gambar 4. Influence Diagram

e. Fungsi Tujuan

Penentuan fungsi tujuan dengan menetapkan variabel mana yang ingin dioptimalkan ke dalam bentuk suatu fungsi linear. Model ini memiliki dua fungsi tujuan dapat dilihat sebagai berikut;

Fungsi Tujuan 1: Minimasi biaya pengiriman produk dan biaya untuk pembukaan Packing Plant dan gudang penyangga

$$\begin{aligned}
 \text{Min } Z_1 = & \sum_h^H \sum_p^P C_{ehp} \cdot d_{eh} \cdot X_{ehp} + \\
 & \sum_i^I \sum_p^P C_{eip} \cdot d_{ei} \cdot X_{eip} + \sum_p^P C_{efp} \cdot d_{ef} \cdot X_{efp} + \\
 & \sum_h^H \sum_p^P C_{fhp} \cdot d_{fh} \cdot X_{fhp} + \sum_i^I \sum_p^P C_{fip} \cdot d_{fi} \cdot X_{fip} + \\
 & \sum_g^G \sum_h^H \sum_p^P C_{ghp} \cdot d_{gh} \cdot X_{ghp} + \sum_g^G \sum_i^I \sum_p^P C_{gip} \cdot d_{gi} \cdot X_{gip} + \\
 & \sum_h^H \sum_i^I \sum_p^P C_{hip} \cdot d_{hi} \cdot X_{hip} + \sum_g^G F_g \cdot Z_g + \sum_h^H F_h \cdot Z_h \quad (1)
 \end{aligned}$$

Fungsi Tujuan 2: Meminimasi waktu pengiriman ke daerah pemasaran i dari distribution center terakhir

$$\begin{aligned}
 \text{Min } Z_2 = & \sum_i^I \sum_p^P \frac{d_{ei}}{v} \cdot X_{eip} + \sum_i^I \sum_p^P \frac{d_{fi}}{v} \cdot X_{fip} + \\
 & \sum_g^G \sum_i^I \sum_p^P \frac{d_{gi}}{v} \cdot X_{gip} + \sum_h^H \sum_i^I \sum_p^P \frac{d_{hi}}{v} \cdot X_{hip} \quad (2)
 \end{aligned}$$

f. Kendala-Kendala (Constraint)

Sistem pendistribusian produk pada PT Semen Padang merupakan sistem yang kompleks dan memiliki

DOI: 10.25077/josi.v17.n1.p1-15.2018

persyaratan/batasan yang harus dipenuhi untuk membangun model menjadi logis dan representatif. Kendala-kendala pada model ini dapat dilihat sebagai berikut;

1. Semua permintaan produk p dari daerah pemasaran i dapat terpenuhi oleh sumber 1 e, sumber 2 f, gudang penyangga h dan Packing Plant g

$$X_{eip} + X_{fip} + \sum_g^G X_{gip} + \sum_h^H X_{hip} \geq \bar{D}_{ip}, \text{ untuk semua } i \text{ dan } p \quad (3)$$

2. Produk p yang dikirim dari Packing Plant g ke gudang penyangga h tidak boleh melebihi pengiriman produk p dari sumber ke Packing Plant g dan Produk p yang dikirim dari Packing Plant g ke daerah pemasaran i tidak boleh melebihi pengiriman produk p dari sumber 2 ke Packing Plant g

$$\sum_h^H X_{ghp} + \sum_i^I X_{gip} \leq X_{fgp}, \text{ untuk semua } g \text{ dan } p \quad (4)$$

3. Produk p yang dikirim dari gudang penyangga h ke daerah pemasaran i tidak boleh melebihi pengiriman produk p dari sumber 1 ke gudang penyangga h, dari sumber 2 ke gudang penyangga h dan dari Packing Plant g ke gudang penyangga h

$$\sum_i^I X_{hip} \leq X_{ehp} + X_{fhp} + \sum_g^G X_{ghp}, \text{ untuk semua } h \text{ dan } p \quad (5)$$

4. Pengiriman produk p dari sumber 2 ke Packing Plant g tidak melebihi kapasitas Packing Plant g

$$X_{f_{gp}} \leq K_{gp}, \text{ untuk semua } g \text{ dan } p \quad (6)$$

5. Pengiriman produk p dari sumber 1, sumber 2 dan *Packing Plant* g ke gudang penyangga h tidak melebihi kapasitas gudang Penyangga h

$$X_{ehp} + X_{f_{hp}} + \sum_g^g X_{ghp} \leq K_{hp}, \text{ untuk semua } h \text{ dan } p \quad (7)$$

6. Pengiriman produk p dari sumber 1 ke sumber 2, ke gudang penyangga h, ke daerah pemasaran i tidak melebihi kapasitas sumber 1

$$X_{efp} + \sum_h^H X_{ehp} + \sum_i^I X_{eip} \leq K_{ep}, \text{ untuk semua } p \quad (8)$$

7. Pengiriman produk p dari sumber 2 ke *Packing Plant* g, ke gudang penyangga h ke daerah pemasaran i tidak melebihi kapasitas sumber 2

$$\sum_g^G X_{f_{gp}} + \sum_h^H X_{f_{hp}} + \sum_i^I X_{f_{ip}} \leq K_{ep}, \text{ untuk semua } p \quad (9)$$

8. Pengiriman produk p dari dan ke *Packing Plant* g bisa dilakukan jika *Packing Plant* dibuka

$$X_{f_{gp}} \leq M * Z_g, \text{ untuk semua } g \text{ dan } p \quad (10)$$

$$\sum_h^H X_{ghp} + \sum_i^I X_{gip} \leq M * Z_g, \text{ untuk semua } g \text{ dan } p \quad (11)$$

9. Pengiriman produk p dari dan ke gudang penyangga h bisa dilakukan jika gudang penyangga dibuka

$$X_{ehp} + X_{f_{hp}} + \sum_g^G X_{ghp} \leq M * Z_h, \text{ untuk semua } h \text{ dan } p \quad (12)$$

$$\sum_i^I X_{hip} \leq M * Z_h, \text{ untuk semua } h \text{ dan } p \quad (13)$$

$M = \text{nilai yang sangat besar}$

$$X_{f_{gp}}, X_{ghp}, X_{gip}, X_{hip} \geq 0, \text{ untuk semua } f, g, h, i, p$$

$$Z_g, Z_h \in \{0, 1\}, \text{ untuk semua } g, h$$

Model ini meminimasi total biaya distribusi produk dari gudang Penyangga dan *Packing Plant* ke daerah pemasaran; biaya distribusi dari *Packing Plant* ke gudang Penyangga; biaya distribusi dari pabrik ke *Packing Plant*; biaya tetap yang berhubungan dengan penempatan dan operasional gudang penyangga dan *Packing Plant*. Selain itu juga untuk meminimasi waktu pengiriman dari *distribution center* terakhir ke konsumen.

Pengembangan Model Fuzzy Multi Objective Programming

Data dan parameter dalam permasalahan model lokasi alokasi seperti permintaan sering tidak dapat dipastikan nilainya karena informasi yang didapatkan seringkali tidak lengkap atau tidak dapat ditentukan. Dimana permintaan merupakan suatu informasi yang mengandung unsur ketidakpastian (*uncertainty*), sedangkan permintaan adalah masukan (*input*) dari model. Oleh karena itu kendala dengan menggunakan data atau parameter permintaan dapat dikatakan bersifat *fuzzy*. *Fuzzy Programming* dapat digunakan sebagai pendekatan dalam pengambilan keputusan untuk mendapatkan hasil yang optimal.

Pengembangan model *Fuzzy Multi Objective Programming* yang diusulkan untuk dioptimalkan dengan menggunakan langkah-langkah sebagai berikut:

Langkah 1:

Tentukan batas maksimum dan batas minimum (Maks, Min) untuk setiap fungsi tujuan sebagai berikut:

Untuk solusi batas minimum:

Fungsi Tujuan 1: Minimasi biaya pengiriman produk dan biaya untuk pembukaan *Packing Plant* dan gudang penyangga dengan menggunakan persamaan (1).

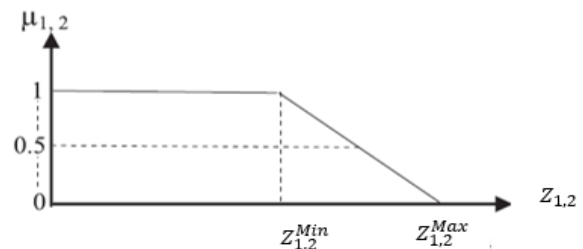
Fungsi Tujuan 2: Meminimasi waktu pengiriman ke daerah pemasaran i dari *distribution center* terakhir dengan menggunakan persamaan (2).

Untuk solusi batas maksimum:

Batas maksimum untuk fungsi Tujuan 1 diasumsikan 3 kali lipat dari nilai minimum fungsi tujuan 1. Begitu juga dengan batas maksimum fungsi tujuan 2.

Langkah 2:

Setiap fungsi tujuan sesuai dengan fungsi keanggotaan linier ekuivalen, yang dapat diperoleh dengan menerapkan persamaan (14 dan 15). Ilustrasi tentang fungsi keanggotaan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Fungsi keanggotaan untuk kedua fungsi tujuan Z_1, Z_2

$$\mu_1(Z_1(x)) = \begin{cases} 1 & \text{jika } Z_1(x) \leq \text{Min}_1 \\ \frac{\text{Max}_1 - Z_1(x)}{\text{Max}_1 - \text{Min}_1} & \text{jika } \text{Min}_1 \leq Z_1(x) \leq \text{Max}_1 \\ 0 & \text{jika } Z_1(x) \geq \text{Max}_1 \end{cases} \quad (14)$$

$$\mu_2(Z_2(x)) = \begin{cases} 1 & \text{jika } Z_2(x) \leq \text{Min}_2 \\ \frac{\text{Max}_2 - Z_2(x)}{\text{Max}_2 - \text{Min}_2} & \text{jika } \text{Min}_2 \leq Z_2(x) \leq \text{Max}_2 \\ 0 & \text{jika } Z_2(x) \geq \text{Max}_2 \end{cases} \quad (15)$$

Persamaan (14) dan (15) menunjukkan tingkat kepercayaan dari masing-masing fungsi tujuan.

Langkah 3:

Optimalkan model *Fuzzy Multi Objective Programming* dengan mengubah kendala *fuzzy* pada persamaan (3) menjadi persamaan (16) terlebih dahulu selanjutnya mengubah kedua fungsi tujuan menjadi satu fungsi tujuan menggunakan prosedur solusi pada langkah 4.

Notasi

$$y_{ip} = \text{maksimum toleransi untuk } D_{ip}$$

$$X_{eip} + X_{f_{ip}} + \sum_g^G X_{gip} + \sum_h^H X_{hip} \geq D_{ip} + (1 - \alpha)y_{ip}, \text{ untuk semua } i \text{ dan } p \quad (16)$$

Langkah 4:

Dengan menggunakan fungsi keanggotaan linear, dan keputusan *fuzzy*, masalah program linear multi objektif asli dapat diformulasikan sebagai:

Maksimum min $\mu_1(Z_1(x))$ dan $\mu_2(Z_2(x))$ dengan batasan dapat dilihat pada persamaan (4) sampai (13) dan persamaan (16).

Dengan variabel bantu λ , masalah di atas dapat direduksi menjadi masalah program linear konvensional sebagai berikut:

$$\text{Maksimum } \lambda \quad (17)$$

Dengan batasan

$$\lambda \leq \frac{\text{Max}_1 - Z_1(x)}{\text{Max}_1 - \text{Min}_1} \quad (18)$$

$$\lambda \leq \frac{\text{Max}_2 - Z_2(x)}{\text{Max}_2 - \text{Min}_2} \quad (19)$$

$$0 \leq \lambda \leq 1 \quad (20)$$

dan batasan pada persamaan (4) sampai (13) dan persamaan (20).

Langkah 5:

Menyelesaikan masalah LP pada langkah 4 untuk memperoleh solusi kompromi awal. Software komputer digunakan untuk memperoleh solusi optimal Pareto.

Langkah 6:

Jika pengambil keputusan merasa puas dengan solusi kompromi awal yang diperoleh, proses berhenti. Jika tidak, kembali ke langkah 3.

Verifikasi Model

Verifikasi model dilakukan tujuan dengan untuk memeriksa kesesuaian logika model dengan model konseptual. Verifikasi model sistem distribusi semen terdiri dari: (1) Verifikasi komponen-komponen model; (2) Pengujian dimensi model; (3) Verifikasi *syntax Software* Lingo; (4) Perbandingan *output* antara *Software* Lingo dan *Solver (Microsoft Excel)*. Keseluruhan poin verifikasi mampu dipenuhi oleh model lokasi alokasi pendistribusian produk sehingga dapat disimpulkan model ini telah tervalidasi secara internal (*verified*).

Validasi Model

Tahapan validasi selanjutnya adalah validasi eksternal (validasi). Validasi bertujuan untuk mengetahui model sudah mewakili sistem nyata dan menyelesaikan permasalahan pada perusahaan. Validasi model distribusi produk dilakukan menggunakan metode *face validity*. Validasi ini dilakukan oleh pakar sistem distribusi PT Semen Padang. Pakar memeriksa kebenaran variabel-variabel yang dipertimbangkan dalam penelitian. Tahapan validasi dengan metode *face validity* pada Tabel 2 menunjukkan bahwa hasil rancangan model sudah sesuai dengan sistem distribusi PT Semen Padang. Hal ini dibuktikan dari hasil pemeriksaan setiap tahapan yang dinyatakan *valid* oleh pakar sistem distribusi PT Semen Padang (Staf Analisa dan Perencanaan Distribusi dan Transportasi PT Semen Padang).

IMPLEMENTASI DAN ANALISIS MODEL

Implementasi Model

Setelah model sistem distribusi produk dinyatakan *verified* dan *valid*. Selanjutnya dapat dilakukan implementasi model dengan memasukkan data-data yang dibutuhkan dalam model tersebut. Implementasi model dilakukan untuk perencanaan distribusi sistem dan keputusan pembukaan *Packing Plant* dan gudang penyangga yang dibantu dengan *Software Lingo 17.0*. Implementasi model terdiri dari beberapa bagian sebagai berikut.

Tabel 2. Proses Validasi dengan Pakar

No.	Tahapan	Catatan	Valid/Tidak
1	Penentuan karakteristik sistem	Karakteristik sistem mencakup alur aktivitas distribusi produk. Di dalamnya mencakup biaya transportasi, biaya pembukaan gudang, dan waktu distribusi, dengan mempertimbangkan kapasitas gudang dan permintaan	Valid
2	Penyusunan <i>Influence Diagram</i>	Keterkaitan elemen-elemen sistem distribusi produk pada <i>Influence Diagram</i>	Valid
3	Bentuk formulasi model distribusi produk	Hubungan matematis pada model distribusi produk	Valid

Data Input

Kebutuhan data sesuai dengan *input* yang dimasukkan ke dalam model. Data yang dibutuhkan didalam model sebagai berikut:

- Kapasitas PPI, PPTB, *Packing Plant* Perwakilan dan Gudang Penyangga, kapasitas setiap eselon diperoleh dari data hipotetik kapasitas pengeluaran semen pada masing-masing fasilitas tersebut selama setahun.
- Biaya Transportasi
Biaya transportasi untuk masing-masing eselon diperoleh dari PT Semen Padang dan beberapa biaya transportasi diperoleh dari data hipotetik misalnya untuk biaya transportasi ke daerah pemasaran. Biaya transportasi dari *Packing Plant* Perwakilan ke masing-masing Gudang Penyangga diasumsikan sebesar 286 Rp/ton.km. Biaya transportasi dari PPI ke *Packing Plant* Teluk Bayur C_{ef} adalah sebesar Rp.19.000/ton berdasarkan data dari PT Semen Padang. Biaya transportasi dari PPI ke masing-masing daerah pemasaran C_{ei} , biaya transportasi dari *Packing Plant* Teluk Bayur ke masing-masing daerah pemasaran C_{fi} , biaya transportasi dari *Packing Plant* Perwakilan ke masing-masing daerah pemasaran C_{gi} dan biaya transportasi dari Gudang Penyangga ke masing-masing daerah pemasaran C_{hi} diasumsikan tarif distribusi semen dari gudang penyangga ke daerah pemasaran sebesar 436 Rp/per ton.km [2]. Penetapan tarif tersebut karena tidak tersedianya data tersebut pada perusahaan
- Jarak
Jarak untuk setiap eselon diperoleh dengan menggunakan bantuan *Google Mapss*. Data jarak dari PPI ke Gudang Penyangga d_{eh} , dari PPTB ke *Packing Plant* Perwakilan d_{fg} , dari PPTB ke Gudang Penyangga d_{fh} , dari PPI ke PPTB diasumsikan nilainya 1 karena berdasarkan data dari perusahaan biaya transportasi yang diperoleh sudah termasuk jarak tempuh pendistribusian.
- Biaya Tetap Pembukaan *Packing Plant* dan Gudang Penyangga
Biaya tetap pembukaan *Packing Plant* dan Gudang Penyangga merupakan biaya yang dibutuhkan untuk pembukaan *Packing Plant* dan Gudang Penyangga seperti

biaya operasional, biaya pembangunan/biaya sewa dan biaya pengamanan. Beberapa data biaya tetap pembukaan *Packing Plant* dan Gudang Penyangga diperoleh dari penelitian [2] dan asumsi biaya pembukaan *Packing Plant* dan Gudang Penyangga.

5. Permintaan

Data permintaan dari setiap daerah pemasaran diperoleh dari hasil asumsi dengan menghitung jumlah penduduk dari setiap daerah pemasaran kemudian dikalikan dengan konsumsi semen perkapita dan dikalikan dengan pangsa pasar dari setiap daerah pemasaran. Konsumsi semen perkapita pada tahun 2016 sebesar 234 kg/kapita dan untuk pangsa pasar PT Semen Padang di Sumatera sebesar 43 %, di Jawa Barat sebesar 3,09, di Banten sebesar 13,92% dan di DKI Jakarta sebesar 12,9% [1].

6. Kecepatan kendaraan untuk pengiriman akhir

Kecepatan kendaraan digunakan untuk menghitung nilai pada fungsi tujuan, kecepatan kendaraan diasumsikan sebesar 40 Km/Jam untuk pengiriman ke semua daerah pemasaran.

7. y_{ip} dan α

Nilai y_{ip} dan α ditentukan oleh pembuat keputusan yang digunakan untuk fungsi kendala permintaan. Dimana y_{ip} merupakan nilai toleransi yang digunakan terhadap perubahan permintaan dan α merupakan tingkat keyakinan terhadap perhitungan. Nilai y_{ip} yang digunakan sebesar 10% dan α sebesar 0,5.

Solusi Model

Data *input* model dimasukkan pada rancangan model yang telah dibuat. Pencarian solusi model dibantu dengan *software* Lingo 17.0. Solusi model perencanaan distribusi dan pembukaan *Packing Plant* dan Gudang Penyangga dibuat berdasarkan *output Software* Lingo. *Output* tersebut disusun ke dalam tabel perencanaan distribusi dan *Packing Plant* dan Gudang Penyangga. Implementasi model *fuzzy multi objective programming* dilakukan dengan menghitung nilai maksimum dan minimum dari setiap fungsi tujuan. Berdasarkan hasil *output* pada Tabel 3, dapat dilihat bahwa jika masing-masing fungsi tujuan dioptimalkan maka akan diperoleh hasil untuk Z_1 =Rp 1.818.327.000.000,00 dengan tujuh *Packing Plant* dan sembilan gudang penyangga yang dibuka dan nilai Z_2 = 63.827.293,88 jam ton, dengan keputusan *Packing Plant* dan gudang penyangga dibuka semuanya. Hal ini menunjukkan agar waktu pengiriman ke konsumen maksimum. Namun pada kenyataannya, keputusan untuk fungsi tujuan tersebut tidak bisa dilaksanakan secara bersamaan karena keputusan yang dihasilkan berbeda. Jika salah satu fungsi tujuan saja yang dioptimalkan maka fungsi tujuan lainnya tidak optimal maka perlu dilakukan penggabungan antara kedua fungsi tujuan tersebut sehingga menghasilkan fungsi yang optimal.

Tabel 3. Output Model

Fungsi Tujuan	Maksimum	Minimum
Z_1	6,00E+12	1,82E+12
Z_2	215730800	63827293,88

Berdasarkan nilai maksimum dan minimum dari setiap fungsi tujuan yang akan digunakan untuk mengkonversi fungsi multi objektif menjadi fungsi objektif tunggal dengan bantuan fungsi keanggotaan, maka formulasi hasil transformasi dapat dilihat pada persamaan (17), (18), (19) dan (20). Solusinya dihitung

berdasarkan persamaan tersebut dengan menggunakan *software* Lingo 17, sehingga diperoleh hasil λ optimal sebesar 0,957. Nilai dari fungsi tujuan asal dihitung dengan mensubstitusikan nilai-nilai variabel keputusan kedalam persamaan fungsi tujuan, sehingga diperoleh Z_1 = Rp3.574.375.162.941,52 dan nilai Z_2 = 70.294.754,28 jam ton dengan nilai fungsi keanggotaan μ_1 = 0.74 dan μ_2 = 0,96.

Analisis

Analisis Model Perencanaan Distribusi Produk

Implementasi model dilakukan dengan mempertimbangkan kapasitas *Packing Plant* dan gudang penyangga yang tersedia di PT Semen Padang. Dalam proses implementasi model beberapa data diasumsikan nilainya karena keterbatasan data yang diperoleh dari perusahaan seperti data kapasitas *Packing Plant* dan gudang penyangga per tahun, data konsumen yang diasumsikan seluruh kabupaten/kota di wilayah pemasaran PT Semen Padang dan data permintaan yang diasumsikan dengan menggunakan data kebutuhan perkapita semen dan pangsa pasar dari wilayah pemasaran PT Semen Padang. Asumsi-asumsi tersebut dapat menjadi kelemahan dari hasil implementasi model yang telah dilakukan.

Output yang dihasilkan dari implementasi model distribusi produk ini adalah keputusan pembukaan *Packing Plant* dan Gudang Penyangga PT Semen Padang dan jumlah pengiriman produk yang dikirim dari setiap *distribution center* dengan total biaya yang minimum.

Model distribusi produk sudah dinyatakan *verified* dan *valid*, karena pada tahapan proses verifikasi dan validasi dapat dipenuhi oleh model. Model ini dapat diimplementasikan dan menjadi salah satu acuan untuk pengambilan keputusan bagi PT Semen Padang dalam memutuskan pembukaan *Packing Plant* dan Gudang Penyangga serta jumlah pengiriman produk dalam proses distribusi.

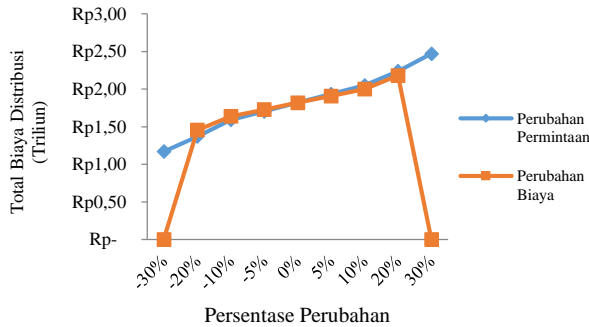
Model distribusi yang telah dirancang telah mampu untuk menghasilkan keputusan pembukaan *Packing Plant* dan Gudang Penyangga dan jumlah pengiriman produk yang harus dikirim. Namun, untuk mengimplementasikan model distribusi produk pada perusahaan maka perusahaan harus menggunakan data dari setiap parameter yang akurat dan benar sesuai dengan keadaan nyata sehingga model mampu digunakan untuk menghasilkan keputusan yang berguna bagi perusahaan dalam pengambilan keputusan pembukaan *Packing Plant* dan Gudang Penyangga dan jumlah pengiriman produk.

Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas merupakan tahapan dalam pemodelan sistem yang bertujuan untuk melihat pengaruh perubahan parameter model terhadap variabel keputusan ataupun *output* model. Analisis ini dilakukan dengan mengubah nilai parameter model yang terdiri dari perubahan koefisien fungsi kendala yaitu permintaan produk (D) dan biaya transportasi (C) produk pada fungsi tujuan 1 dan perubahan permintaan dan waktu pada fungsi tujuan 2.

Perubahan nilai parameter model dilakukan dengan persentase tertentu yaitu $\pm 5\%$, $\pm 10\%$, $\pm 20\%$ dan $\pm 30\%$ untuk perubahan

permintaan dan $\pm 5\%$, $\pm 10\%$ dan $\pm 20\%$. Perubahan dua parameter untuk fungsi tujuan 1 mempengaruhi output model. Gambar 6 menunjukkan bahwa perubahan parameter permintaan dan biaya transportasi akan menyebabkan perubahan nilai optimal dari total biaya distribusi produk. Perubahan nilai parameter berbanding lurus dengan nilai total biaya yang dihasilkan. Jika terjadi pengurangan pada nilai parameter, maka akan menyebabkan pengurangan total biaya distribusi yang dikeluarkan, begitupun sebaliknya.



Gambar 6. Pengaruh Perubahan Parameter Permintaan dan Biaya Transportasi terhadap Total Biaya Distribusi

Selain itu, perubahan parameter permintaan dan biaya transportasi juga akan menyebabkan perubahan pada keputusan yang akan diambil, dimana keputusan untuk jumlah pengiriman berubah dan untuk keputusan pembukaan *Packing Plant* dan Gudang Penyangga tetap sama dengan hasil optimalnya. Besar-kecilnya pengaruh perubahan parameter model permintaan dan total biaya distribusi dapat dilihat dari hasil persentase perubahan yang disajikan pada Tabel 4 dan Tabel 5. Pengaruh dari dua parameter yang berubah nilainya disajikan pada Gambar 7.

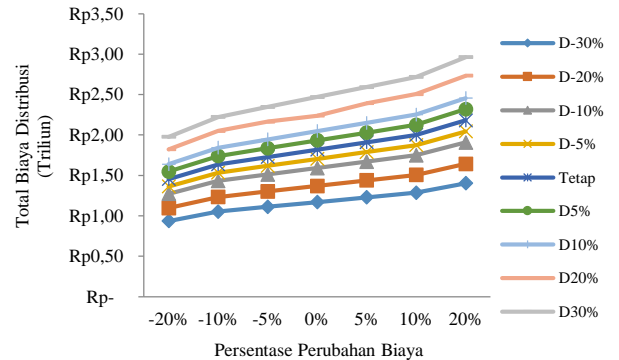
Tabel 4. Persentase Perubahan Parameter Permintaan terhadap Total Biaya Distribusi

Perubahan parameter	Total Biaya Distribusi (Rp-triliyun)	Perubahan Total Biaya Distribusi (Rp-triliyun)	Perubahan Total Biaya Distribusi (%)
-30%		1,169	-36%
-20%		1,369	-25%
-10%		1,591	-13%
-5%		1,704	-6%
0%	1,818	1,818	0%
5%		1,933	6%
10%		2,048	13%
20%		2,239	23%
30%		2,469	36%

Perubahan parameter permintaan dan biaya transportasi akan menyebabkan perubahan nilai optimal dari total biaya distribusi produk. Pada gambar dapat dilihat bahwa kedua parameter mempengaruhi nilai optimal dari model, jika nilai kedua parameter nilainya turun maka nilai optimal model akan turun, begitu sebaliknya dan jika nilai salah satu parameter tetap maka nilai optimal dipengaruhi oleh nilai parameter lainnya. Besarnya pengaruh perubahan parameter permintaan dan biaya transportasi dapat dilihat dari hasil persentase perubahan yang disajikan pada Tabel 6.

Tabel 5. Persentase Perubahan Parameter Biaya terhadap Total Biaya Distribusi

Perubahan parameter	Total Biaya Distribusi (Rp-triliyun)	Perubahan Total Biaya Distribusi (Rp-triliyun)	Perubahan Total Biaya Distribusi (%)
-20%		1,455	-20%
-10%		1,637	-10%
-5%	1,818	1,728	-5%
5%		1,909	5%
10%		1,999	10%
20%		2,181	20%



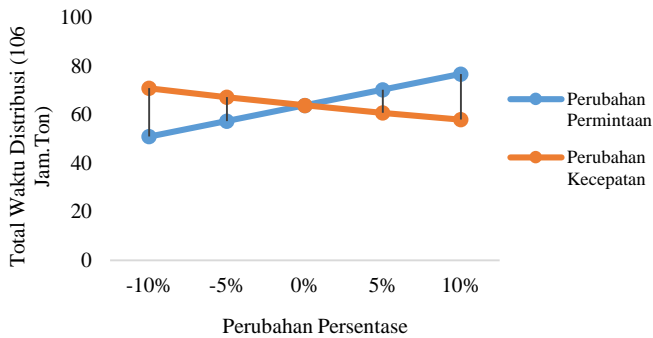
Gambar 7. Perubahan Parameter Permintaan dan Biaya terhadap Total Biaya Distribusi

Tabel 6. Persentase Perubahan Parameter Permintaan dan Biaya Transportasi terhadap Total Biaya Distribusi

Perubahan Permintaan	Perubahan Biaya Transportasi (%)						
	-20%	-10%	-5%	0%	5%	10%	20%
-30%	-48,5	-42,1	-38,9	-35,7	-32,5	-29,2	-22,8
-20%	-39,7	-32,2	-28,4	-24,7	-20,9	-17,2	-9,6
-10%	-30,0	-21,3	-16,9	-12,5	-8,2	-3,8	4,9
-5%	-25,0	-15,6	-11,0	-6,3	-1,6	3,1	12,4
0%	-20,0	-10,0	-5,0	0,0	5,0	10,0	20,0
5%	-14,9	-4,3	1,0	6,3	11,6	16,9	27,5
10%	-9,9	1,4	7,0	12,6	18,2	23,9	35,1
20%	0,3	12,8	19,1	23,1	31,6	37,8	50,3
30%	8,7	22,3	29,0	35,8	42,6	49,4	63,0

Hasil persentase perubahan yang bernilai negatif menunjukkan bahwa total biaya distribusi akan menurun sesuai persentase yang diberikan, begitupun sebaliknya. Besarnya persentase perubahan total biaya masing-masing parameter terdapat nilai yang melebihi persentase perubahan parameter. Dengan demikian, model yang telah dirancang sensitif terhadap perubahan yang terjadi pada dua parameter.

Perubahan nilai parameter model dilakukan dengan persentase tertentu yaitu $\pm 5\%$ dan $\pm 10\%$. Perubahan dua parameter untuk fungsi tujuan 2 mempengaruhi output model. Gambar 8 menunjukkan bahwa perubahan parameter permintaan dan kecepatan akan menyebabkan perubahan nilai optimal dari total waktu distribusi produk. Perubahan nilai parameter permintaan berbanding lurus dengan nilai total waktu distribusi yang dihasilkan. Jika terjadi pengurangan pada nilai parameter permintaan, maka akan menyebabkan pengurangan total waktu distribusi yang dibutuhkan, begitupun sebaliknya.

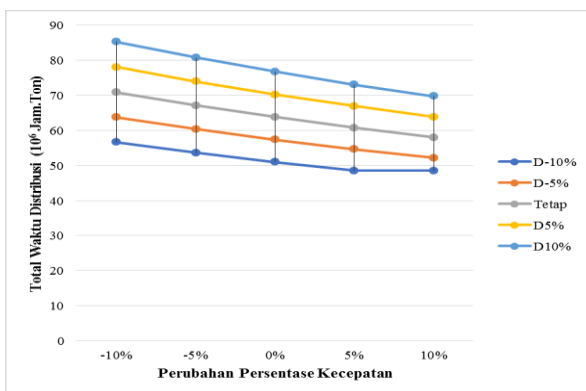


Gambar 8. Pengaruh Perubahan Parameter Permintaan dan Kecepatan terhadap Total Waktu Distribusi

Namun, pada perubahan waktu berbanding terbalik dengan total waktu distribusi yang dihasilkan, jika terjadi pengurangan nilai pada parameter kecepatan, maka total waktu distribusi semakin lama dan begitu sebaliknya. Besar-kecilnya pengaruh perubahan parameter model permintaan dan total biaya distribusi dapat dilihat dari hasil persentase perubahan yang disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Persentase Perubahan Parameter Model terhadap Total Waktu Distribusi

Parameter	-10%	-5%	5%	10%
Permintaan	-20%	-10%	10%	20%
Kecepatan	5%	11%	-5%	-9%



Gambar 9. Perubahan Parameter Permintaan dan Kecepatan terhadap Total Waktu Distribusi

Gambar 9 menunjukkan bahwa perubahan parameter permintaan dan kecepatan akan menyebabkan perubahan nilai optimal dari total waktu distribusi produk. Pada gambar dapat dilihat bahwa kedua parameter mempengaruhi nilai optimal dari model, jika nilai kedua parameter nilainya turun maka nilai optimal model akan turun, begitu sebaliknya dan jika nilai salah satu parameter tetap maka nilai optimal dipengaruhi oleh nilai parameter lainnya. Besarnya pengaruh perubahan parameter permintaan dan biaya transportasi dapat dilihat dari hasil persentase perubahan yang disajikan pada Tabel 8.

Hasil persentase perubahan yang bernilai negatif menunjukkan bahwa total waktu distribusi akan menurun sesuai persentase yang diberikan, begitupun sebaliknya. Besarnya persentase perubahan total waktu masing-masing parameter terdapat nilai

yang melebihi persentase perubahan parameter (-10%, -5%, 5%, dan 10%). Dengan demikian, model yang telah dirancang sensitif terhadap perubahan yang terjadi pada dua parameter.

Tabel 8. Persentase Perubahan Parameter Permintaan dan Kecepatan terhadap Total Waktu Distribusi

Perubahan Permintaan	Perubahan Kecepatan				
	-10%	-5%	0%	5%	10%
-10%	-11%	-16%	-20%	-24%	-27%
-5%	0%	-5%	-10%	-14%	-18%
0%	11%	5%	0%	-5%	-9%
5%	22%	16%	10%	5%	0%
10%	34%	27%	20%	15%	9%

Berdasarkan analisis sensitivitas keputusan pembukaan Gudang Penyangga dan *Packing Plant* pada setiap perubahan parameter memiliki hasil yang sama karena persentase perubahan parameter yang digunakan sama untuk setiap nilai pada parameter tersebut. Oleh karena itu, sebaiknya analisis sensitivitas dilakukan berdasarkan perubahan yang sejalan dengan perubahan pertumbuhan permintaan, biaya fasilitas dan biaya transportasi antar daerah pada masing-masing nilai parameter.

Analisis Perubahan Sistem Distribusi Produk

Pada model distribusi produk terdapat beberapa parameter diantaranya biaya transportasi, jarak, biaya tetap pembukaan fasilitas, kapasitas gudang, permintaan dan kecepatan kendaraan. Jika terjadi perubahan-perubahan pada setiap parameter tersebut maka akan mempengaruhi hasil model. Namun, jika terdapat penambahan variabel keputusan misalnya penambahan *Packing Plant/ Gudang Penyangga* dan penambahan parameter untuk pemilihan moda transportasi antar *distribution center* maka model dapat dikembangkan lebih lanjut. Selain itu, model juga dapat dikembangkan dengan menambah fungsi tujuan baru misalnya mempertimbangkan dampak lingkungan akibat aktivitas distribusi seperti minimasi emisi CO₂.

KESIMPULAN

Penelitian ini telah menghasilkan model perencanaan jaringan distribusi produk dengan menggunakan metode *fuzzy multi objective programming* dengan output model adalah pembukaan *Packing Plant* dan gudang penyangga dan jumlah pengiriman produk ke konsumen akhir dengan biaya dan waktu distribusi minimum. Model yang dibangun mampu menjelaskan perubahan output jika terjadi perubahan-perubahan parameter yang meliputi permintaan antar daerah pemasaran, biaya transportasi antar daerah pemasaran serta kecepatan kendaraan dalam pengangkutan produk dari pusat distribusi terakhir ke daerah pemasaran. Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar dapat membangun model dengan fungsi tujuan yang lain misalnya minimasi dampak lingkungan yang dapat didekati dengan minimasi emisi CO₂ dalam aktivitas transportasi. Selain itu, model dapat dikembangkan lebih lanjut dengan membagi lokasi aktual konsumen dan tidak dikelompokkan sebatas kab/kota, dan perlu dilakukannya pengembangan sistem informasi yang terintegrasi pada sistem distribusi produk.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asosiasi Semen Indonesia. *Presentasi Perkembangan Industri Semen di Indonesia*. Bali, 2015.
- [2] R. Syukria. "Evaluasi Lokasi Gudang Penyangga Distribusi Semen Jalur Darat PT Semen Padang". Tugas Akhir, Universitas Andalas, 2011.
- [3] Djuwansyah, L. Hafizah, Y. Betty, and I Nyoman W. A. "Mengukur Kesiapan Industri Nasional Jelang AEC 2015". *Media Industri*, No. 02-2013, pp. 7, 2013.
- [4] S. J. Hosseini-zhad, S. J. Mohammad, and G. J. N. Seyed. "A Fuzzy Algorithm for Continuous Capacitated Location Allocation Model with Risk Consideration". *Journal of Appl. Math. Model.* vol. 38, no. 3, pp. 983–1000, 2014.
- [5] L. Cooper. "Location-allocation problems". *Operations Research*, vol. 11, no. 3, pp. 331–343, 1963.
- [6] M. D. Akbar, A. Rahman, and C. F. M. Tantrika. "Optimalisasi Aliran Distribusi Dan Alokasi Material Dengan Metode Linear Programming (Studi Kasus: PT PLN (PERSERO) APJ Distribusi Malang)". Universitas Brawijaya, 2013.
- [7] N. Ariyana. "Model Lokasi-Alokasi Bantuan Logistik Catastrophic Berbasis Masjid di Kota Padang". Tugas Akhir. Universitas Andalas, 2012.
- [8] Yuniaristanto, W. Sutopo, and A. Aisyati. "Pemodelan Lokasi-Alokasi Terminal Bahan Baku untuk Meminimasi Total Biaya Rantai Pasok pada Industri Produk Jadi Rotan". *Jurnal Teknik Industri*, vol. 12, no. 1, pp. 17-24, 2010.
- [9] H. Sulistyowati, A. Rusdiansyah, and N.I. Arvitrinda. "Model Jaringan Distribusi Multi Eselon untuk Produk Multi Item PT Gold Coin Surabaya". Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), Surabaya, 2010.
- [10] I. Masudin. "Facility Location Modeling in Multi-Echelon Distribution System: A Case Study of Indonesian Liquefied Petroleum Gas Supply Chain". *Aceh International Journal of Science and Technology*, vol. 2, no. 1, pp. 37-43, 2013.
- [11] S. M. Arabzad, M. Ghorbani, and S. H. Zolfani. "A Multi-Objective Robust Optimization Model for a Facility Location-Allocation Problem in a Supply Chain under Uncertainty". *Journal of Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics*, vol. 26, no. 3, pp. 227–238, 2015.
- [12] Marimin and R. A. Hadiguna. "Alokasi Pasokan Berdasarkan Produk Unggulan Untuk Rantai Pasok Sayuran Segar". *Jurnal Teknik Industri*, vol. 9, no. 2, pp. 85-101, 2007.
- [13] M. S. Pishvae and J. Razmi. "Environmental Supply Chain Network Design Using Multi-Objective Fuzzy Mathematical Programming". *Journal of Applied Mathematical Modelling*, vol. 36, no. 8, pp. 3433–3446, 2012.
- [14] S. M. Mousavi, B. Vahdani, R. Tavakkoli-Moghaddam, H. Hashemi. "Location of Cross-Docking Centers and Vehicle Routing Scheduling Under Uncertainty: A Fuzzy Possibilistic–Stochastic Programming Model". *Journal of Applied Mathematical Modelling*, vol. 38, no. 7-8, pp. 2249–2264, 2014.
- [15] R. Alikhani and A. Adel. "A Hybrid Fuzzy Satisfying Optimization Model for Sustainable Gas Resources Allocation". *J. Clean. Prod.*, vol 107, pp. 353-365, 2015.
- [16] M. Talaei, B. F. Moghaddam, M. S. Pishvae, A. Bozorgi-Amiri, S. Gholamnejad. "A Robust Fuzzy Optimization Model for Carbon-Efficient Closed-Loop Supply Chain Network Design Problem: A Numerical Illustration in Electronics Industry". *J. Clean. Prod.* vol. 113, pp. 662-673, 2016.
- [17] A. Mohammed and Q. Wang. "The Fuzzy Multi-Objective Distribution Planner for A Green Meat Supply Chain". *Int. J. Prod. Econ.* vol. 184, pp. 47–58, 2017.
- [18] S. Chopra. *Supply Chain Management: Strategy, Planning and Operation*. New Jersey: Pearson Education Inc, 2010.
- [19] I. N. Pujawan. *Supply Chain Management*. Denpasar: Guna Widya, 2005.
- [20] R. H. Ballou. *Business Logistics Management*. New Jersey: Prentice Hall, 1998.
- [21] D. J. Bowersox. *Manajemen Logistik: Integasi Sistem-sistem Manajemen Distribusi Fisik dan Manajemen Material Jilid I*. Jakarta: Bumi Aksara. Bowersox, Donald. J, David J. Closs. *Logistical Management: The Integrated Supply Chain Process*. New York: McGraw Hill, 2002.
- [22] V. Gaspersz. *Production Planning and Inventory Control Berdasarkan Pendekatan Sistem Terintegrasi MRP II dan JIT Menuju Manufaktur 21*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, 2004.
- [23] D. Simchi-Levi, P. Kaminsky, E. Simchi-Levi. *Designing and Managing the Supply Chain*. Boston: McGraw-Hill, 2003.
- [24] A. Ristono. *Perancangan Fasilitas*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2010.
- [25] P. Schönsleben. *Integral Logistic Management*. (Ed. 3). New York: Auerbach Publication, 2007.
- [26] H. G. Daellenbach. *System and Decision Making A Management Science Approach*. John Wiley & Son Ltd, USA, 1995.
- [27] F. Susilo. *Himpunan dan Logika Kabur serta Aplikasinya*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2006.