

# OPTIMASI KOLONI SEMUT FUZZY MULTI OBJEKTIF UNTUK PENCARIAN JALUR PASOK BIOENERGI BERBASIS KELAPA SAWIT

Ditdit N. Utama<sup>1</sup>, TaufikDjatna<sup>2</sup>, Erliza Hambali<sup>2</sup>, Marimin<sup>2</sup>, Dadan Kusdiana<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri, Jakarta

<sup>2</sup>Pascasarjana Teknologi Industri Pertanian, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor<sup>3</sup>Direktorat Keterbaruan dan Konservasi Energi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral  
dit.utama@uinjkt.ac.id

## Abstrak

Pada dasarnya, model berbasis Optimasi Koloni Semut mampu melakukan pencarian jalur terbaik yang hanya memiliki satu tujuan saja. Keadaan itu sangatlah sulit untuk diadaptasi dan diimplementasikan, karena di kasus sesungguhnya, jalur pasok memiliki tujuan yang lebih dari satu, atau disebut dengan multi objektif. Berarti, harus ada perbaikan pada metode Optimasi Koloni Semut, baik berbasis fuzzy atau non-fuzzy, menjadi Optimasi Koloni Semut Multi Objektif. Tujuan dari makalah ini adalah untuk memperbaiki metode Optimasi Koloni Semut Fuzzy menjadi Optimasi Koloni Semut Multi Objektif. Metode ini diimplementasikan pada kasus pencarian jalur teroptimum untuk rantai pasok energi berbasis kelapa sawit. Hasil pencarian jalur teroptimum menunjukkan bahwa jalur tersebut memiliki nilai optimum sebesar 70,676. Selain itu, metode telah diverifikasi dan validasi dengan sekumpulan data asli.

**Kata kunci:** optimasi koloni semut, fuzzy, multi objektif

## Abstract

*Indeed, the ant colony optimization based model could search the best path that has only one path objective. It would be difficult to be adopted and implemented, because in the real case, the supply path has multi objectives. It is a need to improve the ant colony optimization for multiobjectives case. The objective of this paper is improve the ant colony optimization for solving multi objectives based supply path problem by using fuzzy ant colony optimization. The developed multi objectives fuzzy ant colony optimization was used to search the optimum path of palm oil based bioenergy supply chain that has 70,676 performance value. The method was validated and verified with a real data set and the finding was analyzed and discussed.*

**Keywords:** multi objectives fuzzy ant colony optimization, supply path searching, palm oil based bioenergy supply chain.

## Pendahuluan

Di beberapa tahun terakhir, banyak penelitian yang dilakukan oleh para peneliti di berbagai bidang dengan menggunakan metode Optimasi Koloni Semut Fuzzy (OKSF) sebagai metode penelitian utamanya. Misalnya: Alsawyan dan Hefny (2010), Alsawy et al. (2010) atau Ganjidan Abadeh (2010), mereka telah melakukan penelitian pada area perancangan aturan untuk melakukan diagnosis penyakit diabetes; Hooshyar dan Khayati (2010) telah membuat model OKSF untuk mendeteksi pembuluh retina; Chiou et al. (2009) mengaplikasikan OKSF pada robot permainan sepak bola; Goswami et al. (2009) mengembangkan model *routing protocol* untuk kasus jaringan komputer berbasis nirkabel atau berbasis *mobile*; atau Khan dan Engelbrecht (2008) yang telah mampu membuat model berbasis OKSF untuk optimasi rancangan topologi jaringan komputer.

Beberapa penelitian di atas, merupakan jenis penelitian dengan menggunakan OKSF hanya untuk menyelesaikan permasalahan pada kasus yang bersifat *single objective*. Akan lebih kompleks namun sangat bermanfaat, jika OKSF yang digunakan sebagai metode penelitian utamanya dapat diimplementasikan pada permasalahan yang bersifat multi objektif. Seperti pada penelitian yang telah dilakukan oleh Dugardin et al. (2011). Dalam hal ini mereka telah melakukan penelitian dengan menggunakan OKSF Multi Objektif (OKS-MO) sebagai metode penelitian utamanya dalam rangka untuk menyelesaikan permasalahan penjadwalan. Di mana, jika dilihat dari karakteristik permasalahannya, sifat dari kasus penjadwalan ini merupakan kasus yang bersifat multi objektif.

Selain itu, OKS-MO akan mudah untuk diimplementasikan, khususnya pada permasalahan di bidang rantai pasok. Karena seperti yang terjadi

pada industri bioenergi berbasis kelapa sawit, terdapat banyak tempat sumber bahan baku (petani rakyat dan perkebunan swasta), dan juga terdapat lebih dari satu pengguna akhir (untuk kasus pada makalah ini terdapat dua jenis pengguna akhir).

Pada akhirnya, makalah ini akan menjelaskan pengembangan model pencarian jalur pasok bioenergi teroptimum dengan menggunakan metode penelitian utamanya adalah OKS-MO. Di mana, model ini akan dapat diimplementasikan pada kasus rantai pasok bioenergi berbasis kelapa sawit.

## Tinjauan Pustaka

### Manajemen rantai pasok

Konsep rantai pasok merupakan konsep yang masih berkembang, khususnya pada kaca mata bidang permasalahan logistik. Pada konsep biasa, permasalahan logistik merupakan permasalahan internal perusahaan saja. Perusahaan diharuskan menyelesaikan permasalahan logistik ini dengan secara sendiri, tanpa berkolaborasi dengan mitra perusahaan tersebut. Sedangkan pada konsep rantai pasok, permasalahan logistik dilihat dari kaca mata permasalahan yang lebih luas. Permasalahan logistik dapat terjadi pada setiap tahapan pada rantai pasok, mulai dari level awal (hulu) sampai pada level akhir (hilir) rantai pasok. Karena alasan tersebutlah bahwa manajemen rantai pasok dapat didefinisikan sebagai sekumpulan pendekatan yang digunakan untuk mengintegrasikan supplier, pabrik, gudang, dan toko secara efisien, sehingga produk dapat diproduksi dan didistribusikan pada jumlah yang tepat, lokasi yang tepat, waktu yang tepat, dengan meminimalisir biaya serta peningkatan kualitas pelayanan (Levi *et al.* 2000).

Selain itu, rantai pasok adalah aliansi perusahaan yang membawa produk ke pasaran (Lambert *et al.* 1998). Rantai pasok terdiri seluruh tahapan yang terlibat pada proses pemenuhan permintaan pelanggan, baik secara langsung maupun tidak. Rantai pasok tidak hanya berbicara mengenai pabrik dan supplier, tetapi juga jasa pengiriman, gudang, retailer, dan para pelanggan (Chopra dan Meindl, 2003). Defini lain mengatakan bahwa rantai pasok adalah jaringan dari fasilitas dan pilihan distribusi yang menunjukkan fungsi pengadaan produk, perubahan dari bahan mentah sampai barang jadi, dan distribusi barang jadi ke pelanggan akhir (Ganesh dan Harrison, 1995).

### Optimasi Koloni Semut (OKS) dan Optimasi Koloni Semut Fuzzy (OKSF)

Gutjahr (2006) menyatakan bahwa OKS adalah teknik optimasi yang diinspirasi oleh koloni semut biologis. Metode ini telah diperkenalkan oleh Dorigo *et al.* (1996), dan dikembangkan

kemudian menjadi meta-heuristic untuk permasalahan optimasi yang bersifat kombinasi (Dorigo dan Di Caro, 1999; Dorigo *et al.* 1999; Dorigo dan Stutzle, 2004). Kemudian, algoritma OKS digunakan pada konteks optimasi diskrit stokastik (Bianchi *et al.* 2002; Gutjahr, 2003; Gutjahr, 2004; Rauner *et al.* 2005; Birattari *et al.* 2005). Lebih lanjut, OKS esensinya adalah sistem berbasis agen yang mensimulasikan tingkah laku alamiah semut biologis, termasuk mekanisme komunikasi dan kerjasamanya. Algoritma OKS bekerja berdasarkan ide berikut (Sinha *et al.* 2007):

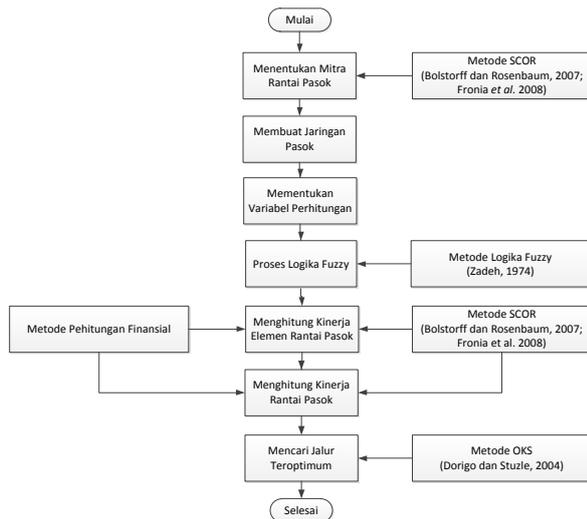
1. Masing-masing jalur dilewati oleh semut, ini dianggap sebagai alternatif solusi permasalahan yang sedang dihadapi.
2. Ketika semut melewati sebuah jalur, semut mengeluarkan sejumlah feromon pada jalur tersebut.
3. Ketika seekor semut harus memilih jalur mana yang dilewati, semut tersebut akan memilih jumlah feromon yang lebih besar.

OKSF mengkombinasikan OKS dengan variabel kinerja fuzzy. Pada kasus di makalah ini, ada tiga variabel yang dapat diidentifikasi dengan menggunakan logika fuzzy, yaitu: kinerja sumber daya manusia, nilai tambah, dan biaya transportasi. Sedangkan multi objektif diindikasikan pada jumlah sumber bahan baku dan tujuan pengiriman (pengguna akhir) yang lebih dari satu.

### Metode Penelitian

Pemikiran dasar dari penelitian ini adalah pengembangan model untuk pencarian jalur pasok teroptimum. Terdapat 7 tahap penelitian ini. Tahapan pertama adalah mengidentifikasi mitra rantai pasok. Pada tahapan ini, kita mengidentifikasi semua mitra yang terlibat pada rantai pasok industri bioenergi berbasis kelapa sawit. Selanjutnya, tahapan berikutnya adalah membuat jaringan rantai pasok (tahap kedua). Prinsipnya, kedua tahapan ini dilakukan untuk memahami lebih lanjut mengenai konfigurasi rantai pasok bioenergi berbasis kelapa sawit.

Selanjutnya, kita mengidentifikasi seluruh variabel yang dibutuhkan untuk digunakan di dalam perhitungan kinerja, baik kinerja elemen rantai pasok dan rantai pasok itu sendiri. Sebelum kita menghitung kinerja elemen rantai pasok (tahap 5) dan kinerja rantai pasok (tahap 6), kita memproses seluruh variabel dengan menggunakan metode logika fuzzy (tahap 4). Akhirnya, kita mengembangkan model untuk mencari jalur rantai pasok teroptimum.



Gambar 1  
Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini, data dikumpulkan berdasarkan observasi, survey, studi literatur, yang kemudian dikembangkan menjadi peta jaringan rantai pasok dengan menggunakan metode SCOR (Bolstorff dan Rosenbaum, 2007; Fronia et al. 2008). Kami telah melakukan observasi dan survey pada Provinsi Riau. Khususnya pada kawasan industri Dumai dan Kuala Enok, Dinas Perkebunan, Dinas Pertanian, Dinas Perindustrian, para petani dan pengumpul. Kenyataannya, kami tidak mendapatkan data penuh untuk kebutuhan penelitian ini, sehingga kami melakukan simulasi dengan menggunakan metode simulasi Monte Carlo.

Selanjutnya, metode SCOR digunakan untuk menghitung kinerja elemen rantai pasok dan kinerja rantai pasok itu sendiri. Selain itu, metode finansial dikombinasikan dengan metode SCOR untuk menghitung kinerja elemen rantai pasok dari sisi variabel finansial. Tetapi, sebelum dilakukan perhitungan kinerja, dilakukan proses konversi terlebih dahulu menjadi nilai-nilai fuzzy dengan menggunakan metode logika fuzzy (Zadeh, 1974).

Akhirnya, metode utama yang digunakan di dalam penelitian ini adalah metode OKS (Dorigo and Stutzle, 2004). Metode ini digunakan untuk mencari jalur teroptimum pada rantai pasok yang terdiri dari lebih dari satu sumber bahan baku dan pengguna akhir. Kombinasi antara metode logika fuzzy, OKS, yang diimplementasikan pada kasus multi objektif, inilah yang kita sebut dengan OKS-MO.

### Optimasi Koloni Semut Fuzzy Multi Objektif Rumusan matematika

Berdasarkan tingkah laku dasar dari model OKSF (Gutjahr, 2003), kami menawarkan rumusan matematika dari kinerja elemen rantai pasok

teroptimum seperti yang tesaji pada persamaan matematika (1).

$$PoP_c = D_c \times \left(1 - \frac{\sum PoV_{c-1}}{\sum ToV_{c-1}}\right) \times (1 - \tau) \dots (1)$$

Di mana:

- $PoP_c$  = Kinerja rantai pasok
- $D_c$  = Jarak, dasar perhitungan
- $PoV_{c-1}$  = Kinerja rantai pasok sebelumnya
- $ToV_{c-1}$  = Jumlah elemen sebelumnya
- $\tau$  = Bobot feromon

Selanjutnya, feromon ( $\tau$ ) dapat diformulasikan dengan menggunakan rumus matematika pada persamaan (2) (Dorigo dan Stutzle, 2004).

$$\tau_{ij}(t) = \rho \cdot \tau_{ij}(t - 1) + (1 - \rho) \cdot \tau_0 - \epsilon \dots (2)$$

Di mana:

- $\tau_{ij}$  = Feromon antara elemen i dan j
- $\tau_0$  = Feromon awal
- $t$  = Elemen
- $\rho$  = Parameter, antara 0 dan 1
- $\epsilon$  = Penguapan

Selanjutnya, di dalam perhitungan kinerja elemen rantai pasok, terdapat tiga variabel. Ketiga variabel ini dibutuhkan untuk menghitung kinerja elemen rantai pasok ( $PoP_c$ ), ketiga variabel ini adalah: jarak, kinerja elemen rantai pasok sebelumnya, dan feromon. Untuk menghitung kinerja rantai pasok sebelumnya ( $PoV_{c-1}$ ), terdapat tiga variabel lainnya lagi yang dihitung, yaitu: Kinerja elemen rantai pasok sebelumnya ( $PoSCE_{c-1}$ ); kinerja nilai tambah; ( $PoAV_{c-1}$ ); dan kinerja biaya transportasi ( $PoTC_{c-1}$ ). Perhitungan ketiga variabel tersebut dapat dilihat pada persamaan (3) (Utama et al. 2011).

$$\sum PoV_{c-1} = PoSCE_{c-1} + PoAV_{c-1} + PoTC_{c-1} \dots (3)$$

### Kinerja elemen rantai pasok

Kinerja elemen rantai pasok sebelumnya ( $PoSCE_c$ ) tergantung pada enam variabel lain, yaitu: kinerja SCOR ( $PoSCOR$ ), kinerja keuangan ( $PoF$ ), kinerja mesin ( $PoM$ ), kinerja sumber daya manusia ( $PoHR$ ), kualitas produk ( $QoP$ ), dan kinerja manajemen limbah ( $PoWM$ ). Formula

matematikanya dapat disajikan pada persamaan (4) (Utama *et al.* 2011).

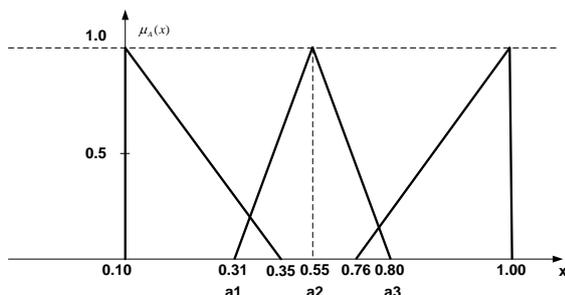
$$PoSCE_c = PoSCOR + PoF + PoM + PoHR + QoP + PoWM \dots\dots\dots(4)$$

**Penyajian fungsi keanggotaan**

Pada dasarnya terdapat tiga dari enam variabel yang didefinisikan ke dalam format *Triangular Fuzzy Number* (TFN) dengan menggunakan metode logika *fuzzy*. Ketiga variabel tersebut adalah kinerja sumber daya manusia, nilai tambah, dan biaya transportasi. TFN telah ditentukan sebagai jenis fungsi keanggotaan *fuzzy* karena kelompok data riil yang dianalisis menggambarkan konfigurasi TFN.

Sekumpulan data riil dari variabel nilai tambah akan dikategorikan ke dalam tiga jenis bahasa alami (rendah, sedang, dan tinggi). Pertama kali, dari data nilai tambah yang riil diubah menjadi kelompok data normal, kemudian kita akan mendapatkan nilai elemen fungsi keanggotaan antara 0.10 ( $\alpha_{min}$ ) dan 1.00 ( $\alpha_{max}$ ), kita sebut dengan *confidence interval*. Hasil itu mengindikasikan batasan dari nilai ordinal. Setelah itu, kita menentukan batasan dari tiga kategori bahasa alami: 0.10 – 0.33 untuk kategori rendah, 0.33 – 0.78 untuk kategori sedang, dan 0.78 – 1.00 untuk kategori tinggi. Semua kategori ditentukan berdasarkan batasan nilai elemen fungsi keanggotaan dan nilai 0.55 ( $\frac{\alpha_{min} + \alpha_{max}}{2}$ ) ditentukan sebagai median dari kategori kedua (sedang).

Selanjutnya, setelah kita menentukan tiga jenis kategori bahasa alami. Kita merancang *interval disjoint*. Maksudnya adalah bahwa kita harus merancang bahwa antara dua nilai kategori harus terjadi overlap. Hasilnya bahwa kita dapat merancang format TFN untuk variabel nilai tambah. Seccara jelas, TFN untuk variabel nilai tambah dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar2  
FN untuk Variabel Nilai Tambah

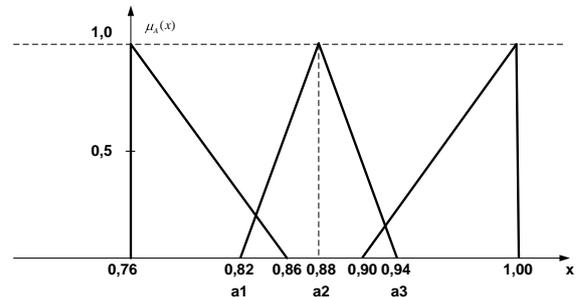
Di mana:

$$\text{Tinggi } \mu_T(x) = \begin{cases} \frac{x-0.76}{0.76} & 0.76 < x \leq 1.00 \\ 1 & x \geq 1.00 \end{cases} \dots(5)$$

$$\text{Sedang } \mu_S(x) = \begin{cases} \frac{x}{0.35} & 0 < x \leq 0.35 \\ \frac{0.76-x}{0.35} & 0.35 < x \leq 0.76 \end{cases} \dots(6)$$

$$\text{Rendah } \mu_R(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 0.1 \\ \frac{0.35-x}{0.35} & 0.1 < x \leq 0.35 \end{cases} \dots(7)$$

Dengan menggunakan cara yang sama, TFN untuk biaya transportasi dapat digambarkan pada Gambar 3.



Gambar 3  
TFN untuk Biaya Transportasi

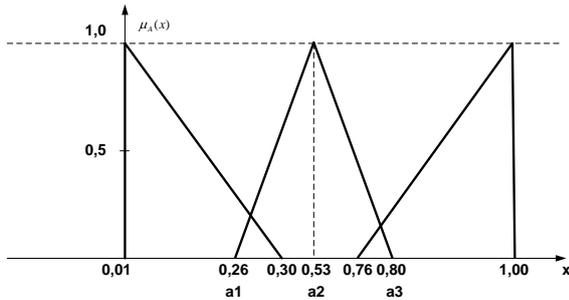
Di mana:

$$\text{Tinggi } \mu_T(x) = \begin{cases} \frac{x-0.90}{0.90} & 0.90 < x \leq 1.00 \\ 1 & x \geq 1.00 \end{cases} \dots(8)$$

$$\text{Sedang } \mu_S(x) = \begin{cases} \frac{x}{0.86} & 0 < x \leq 0.86 \\ \frac{0.90-x}{0.86} & 0.86 < x \leq 0.90 \end{cases} \dots(9)$$

$$\text{Rendah } \mu_R(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 0.1 \\ \frac{0.86-x}{0.86} & 0.76 < x \leq 0.86 \end{cases} \dots(10)$$

Selanjutnya, untuk nilai kinerja sumber daya manusia, ada dua jenis variabel yang dapat diidentifikasi berdasarkan logika *fuzzy* dengan menggunakan format TFN. Kedua variabel itu adalah: variabel jumlah pegawai dan rata-rata pengalaman kerja. Variabel jumlah pegawai telah diidentifikasi dengan menggunakan format TFN, seperti yang digambarkan pada Gambar 4, dengan *confidential interval* antara 0,01 sampai dengan 1,00. Sedangkan untuk variabel rata-rata pengalaman digambarkan pada Gambar 5, dengan *confidential interval* 0,16 sampai dengan 1,00.



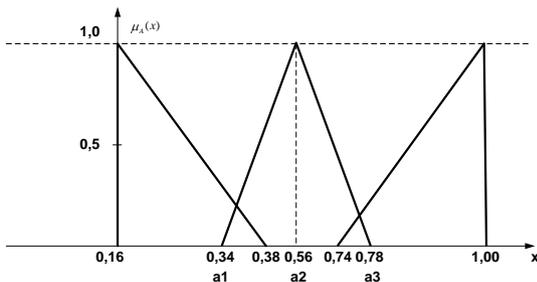
Gambar 4  
TFN untuk Variabel Jumlah Pegawai

Di mana:

$$\text{Tinggi } \mu_T(x) = \begin{cases} \frac{x-0.76}{0.76} & 0.76 < x \leq 1.00 \\ 1 & x \geq 1.00 \end{cases} \quad (11)$$

$$\text{Sedang } \mu_S(x) = \begin{cases} \frac{x}{0.30} & 0 < x \leq 0.30 \\ \frac{0.30-x}{0.30} & 0.30 < x \leq 0.76 \end{cases} \quad (12)$$

$$\text{Rendah } \mu_R(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 0.01 \\ \frac{0.30-x}{0.30} & 0.01 < x \leq 0.30 \end{cases} \quad (13)$$



Gambar 5  
TFN untuk Variabel Pengalaman

Di mana:

$$\text{Tinggi } \mu_T(x) = \begin{cases} \frac{x-0.74}{0.74} & 0.74 < x \leq 1.00 \\ 1 & x \geq 1.00 \end{cases} \quad \dots\dots(14)$$

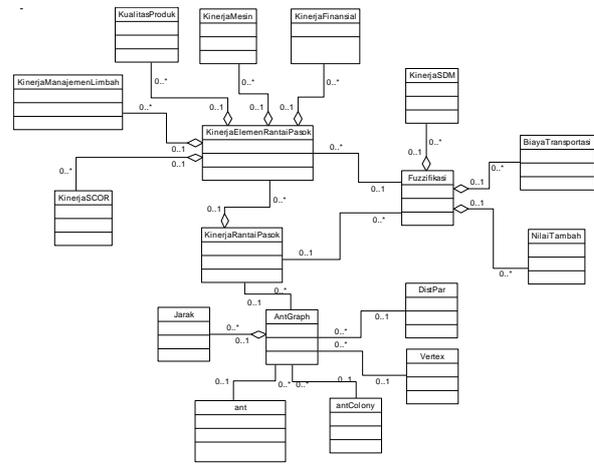
$$\text{Sedang } \mu_S(x) = \begin{cases} \frac{x}{0.38} & 0 < x \leq 0.38 \\ \frac{0.74-x}{0.38} & 0.38 < x \leq 0.74 \end{cases} \quad (15)$$

$$\text{Rendah } \mu_R(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 0.16 \\ \frac{0.38-x}{0.38} & 0.16 < x \leq 0.38 \end{cases} \quad \dots\dots(16)$$

Akhirnya, proses mengkonversi menjadi nilai *de-fuzzy* ( $\mu_A$ ) dapat dihitung dengan menggunakan rumus yang terdapat pada persamaan (17). Sedangkan Gambar diagram kelas dari model berbasis OKSF-MO dapat dilihat pada Gambar 6.

$$\mu_A = \begin{cases} 0, & x < a1 \\ \frac{x-a1}{a2-a1}, & a1 \leq x \leq a2 \end{cases} \quad (17)$$

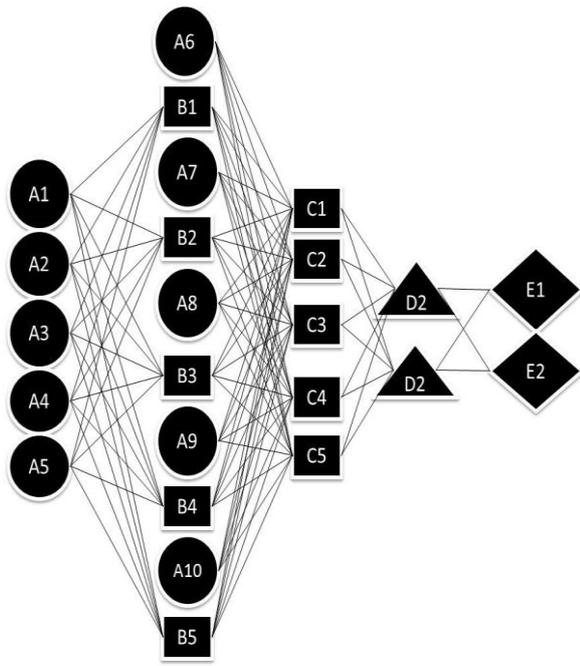
$$\begin{aligned} &= \frac{a3-x}{a3-a2}, & a2 \leq x \leq a3 \\ &= 0, & x > a3 \end{aligned}$$



Gambar 6  
Diagram Kelas untuk Model OKS Fuzzy Multi Objektif

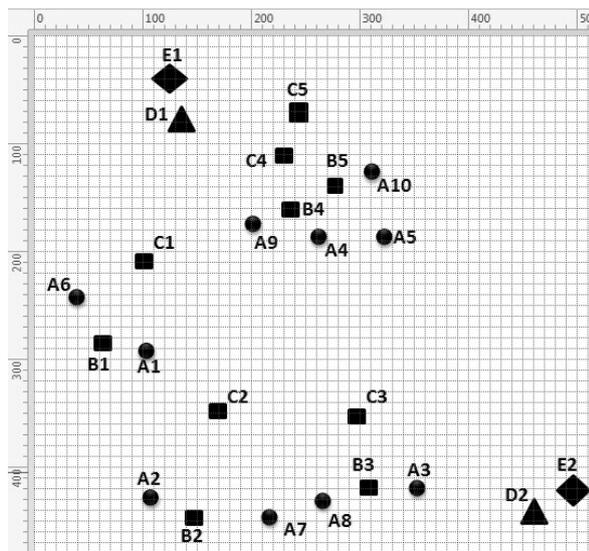
### Hasil dan Pembahasan

Gambar 7 menunjukkan bahwa rantai pasok bioenergi berbasis kelapa sawit terdiri dari multi-layer dengan sumber bahan baku yang lebih dari satu dan multi objektif, untuk contoh kasus, kami menggunakan dua jenis tujuan saja. Poin A mengindikasikan petani atau perkebunan swasta, poin B mengindikasikan pengumpul kelapa sawit, C adalah pabrik kelapa sawit, D adalah pabrik bioenergi, dan E adalah pengguna akhir. Dengan sumber bahan baku dan pengguna akhir yang diidentifikasi berjumlah lebih dari 1, ini menunjukkan bahwa jalur rantai pasok yang dipetakan memiliki lebih dari satu tujuan (multi objektif). Sedangkan semua elemen rantai pasok dapat digambarkan berdasarkan skala peta. Seperti yang terlihat pada Gambar 8. Format skala peta ini dibutuhkan, karena model OKSF-MO ini membutuhkan data inputan berupa skala. Sehingga variabel jarak, yang dijadikan basis perhitungan, dapat ditentukan atau dihitung kemudian.



Gambar 7

Rantai Pasok Bioenergi Berbasis Kelapa Sawit



Gambar 8

Skala Peta Rantai Pasok Bioenergi Berbasis Kelapa Sawit

Selanjutnya, Tabel 1 menggambarkan contoh data input berbasis nilai fuzzy untuk menghitung kinerja elemen rantai pasok pada persamaan (3) dan kinerja sumber daya manusia (satu variabel dari persamaan 4). Nilai *de-fuzzy* dari kinerja masing-masing elemen rantai pasok (SCOR, biaya transportasi atau KBT, nilai tambah atau KNT, keuangan atau KK, mesin atau KM, sumber daya manusia atau KSDM, manajemen limbah atau KML, dan kualitas produk atau KP) dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1  
Contoh Data Input Berbasis Fuzzy

Elemen	Jumlah Pegawai	Biaya			Nilai Tambah
		Pengalamanan	Transportasi		
E1	-	-	-	-	
E2	-	-	-	-	
D1	Sedang	Rendah	Tinggi	Sedang	
D2	Sedang	Rendah	Tinggi	Sedang	
C1	Rendah	Tinggi	Tinggi	Sedang	
C2	Rendah	Sedang	Tinggi	Rendah	
C3	Rendah	Sedang	Sedang	Sedang	
C4	Rendah	Sedang	Tinggi	Rendah	
C5	Rendah	Sedang	Tinggi	Sedang	
B1	Rendah	Sedang	Rendah	Sedang	
B2	Rendah	Sedang	Tinggi	Rendah	
B3	Rendah	Tinggi	Sedang	Sedang	
B4	Rendah	Tinggi	Rendah	Tinggi	
B5	Rendah	Tinggi	Tinggi	Sedang	
A1	Tinggi	Sedang	Tinggi	Sedang	
A2	Tinggi	Sedang	Sedang	Sedang	
A3	Sedang	Sedang	Tinggi	Sedang	
A4	Tinggi	Sedang	Rendah	Tinggi	
A5	Sedang	Sedang	Tinggi	Rendah	
A6	Sedang	Sedang	Tinggi	Sedang	
A7	Sedang	Rendah	Tinggi	Sedang	
A8	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	
A9	Sedang	Sedang	Tinggi	Rendah	
A10	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang	

Tabel 2

Nilai *De-Fuzzy* Kinerja Elemen Rantai Pasok

Elemen	SCOR	KB	KN	K	K	KSD	KM	KP
	R	T	T	K	M	M	L	
E1	-	-	-	-	-	-	-	-
E2	-	-	-	-	-	-	-	-
D1	0.43	1.0	0.08	0.5	0.5	0.5	1.0	0.7
D2	0.43	1.0	0.08	0.5	0.5	0.5	1.0	0.7
C1	0.62	1.0	0.22	0.7	0.5	0.5	1.0	0.5
C2	0.45	1.0	0.19	0.5	0.5	0.5	1.0	0.7
C3	0.85	1.0	0.19	0.7	0.5	1.0	0.0	0.5
C4	0.67	1.0	0.26	0.7	0.5	0.7	0.0	0.5
C5	0.64	1.0	0.23	0.7	0.5	0.5	0.0	0.0
B1	0.80	1.0	0.14	0.7	0.5	0.5	0.0	0.1
B2	0.47	1.0	0.11	0.7	1.0	0.5	0.0	0.1
B3	0.45	1.0	0.13	0.5	1.0	0.7	0.0	0.1
B4	0.87	1.0	0.26	0.7	0.5	0.7	0.0	0.1
B5	0.38	1.0	0.29	0.7	0.5	1.0	0.0	0.1
A1	0.72	1.0	0.03	0.7	1.0	0.5	0.0	0.1
A2	0.91	1.0	0.22	0.7	0.5	0.5	0.0	0.1
A3	0.63	1.0	0.04	0.7	1.0	0.5	0.0	0.1
A4	0.57	1.0	0.00	0.7	0.5	0.7	0.0	0.1
A5	0.52	1.0	0.33	0.5	0.5	0.5	0.0	0.1
A6	0.67	1.0	0.29	0.7	1.0	0.5	0.0	0.1
A7	0.68	1.0	0.33	0.7	0.5	0.5	0.0	0.1
A8	0.76	1.0	0.17	0.7	0.5	0.5	0.0	0.1
A9	0.53	1.0	0.03	0.5	0.5	0.5	0.0	0.1
A10	0.54	1.0	0.18	0.7	1.0	0.5	0.0	0.1

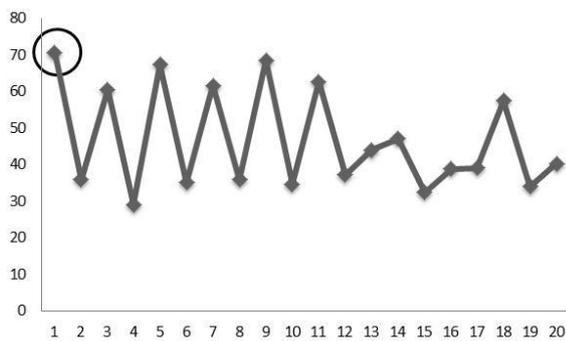
Akhirnya, hasil eksekusi model dapat dilihat pada Tabel 3. Di mana, nilai kinerja yang didapat adalah sebesar 70,676. Jarak yang berhasil dipilih pun memiliki nilai terendah (yaitu 295,749 km). Fakta ini menjawab bahwa hasil yang didapat oleh OKSF-MO sama dengan hasil yang didapat oleh

metode *shortest path* (SP), namun metode SP tidak dapat menunjukkan kinerja rantai pasok atau jalur yang terpilih. Sedangkan hasil eksekusi model secara grafik dapat dilihat pada Gambar 9.

**Tabel 3**  
**Hasil Perhitungan Model**

No	Jalur Rantai Pasok	K	J (km)	F
1	A1 - B1 - C1 - D1 - E1	70,676	295,749	0,076
2	A1 - B1 - C1 - D2 - E2	35,852	644,069	0,036
3	A6 - C1 - D1 - E1	60,608	396,588	0,06
4	A6 - C1 - D2 - E2	29,061	711,753	0,03
5	A4 - B5 - C4 - D1 - E1	67,398	328,538	0,069
6	A4 - B4 - C4 - D2 - E2	35,158	651,09	0,037
7	A9 - C4 - D1 - E1	61,599	386,679	0,062
8	A9 - C4 - D2 - E2	35,856	644,106	0,037
9	A5 - B5 - C5 - D1 - E1	68,604	316,631	0,076
10	A5 - B5 - C5 - D2 - E2	34,691	655,633	0,035
11	A10 - C5 - D1 - E1	62,7	375,657	0,063
12	A10 - C5 - D2 - E2	37,24	630,201	0,037
13	A2 - B2 - C3 - D1 - E1	44,039	562,028	0,039
14	A2 - B2 - C3 - D2 - E2	47,083	531,709	0,043
15	A7 - C2 - D1 - E1	32,372	678,783	0,033
16	A7 - C2 - D2 - E2	38,808	614,387	0,036
17	A3 - B3 - C2 - D1 - E1	39,063	611,735	0,035
18	A3 - B3 - C3 - D2 - E2	57,555	426,886	0,052
19	A8 - C2 - D1 - E1	34,018	662,119	0,031
20	A8 - C3 - D2 - E2	40,357	598,923	0,037

\*K = Nilai Kinerja, J = Jarak, F = Feromon



Gambar 9 Nilai Kinerja Rantai Pasok

### Kesimpulan

Kombinasi OKSF-MO dan metode perhitungan kinerja elemen rantai pasok dapat diimplementasikan untuk pencarian jalur teroptimum pada rantai pasok bioenergi berbasis kelapa sawit. Hasil eksekusi model didapat nilai kinerja rantai pasok teroptimum adalah sebesar 70,676, dengan jarak yang didapat merupakan jarak terpendek dari berbagai alternatif hasil eksekusi model, yaitu 195,749 km.

### Daftar Pustaka

Alsawy AA, Hefny HA. "Fuzzy-Based Ant Colony Optimization Algorithm". *Proceeding of 2<sup>nd</sup> international computer Technology and Development (ICCTD) Conference, 2010: 530 – 534. 2010*

Alsawy AA, Hefny HA, El-Licy F. "Fuzzy Ant Colony Optimization" *Algorithm. Proceeding*

*of 7<sup>th</sup> Informatics and Systems (INFOS) Conference, 1 – 5. 2010.*

Bianchi L, Gambardella LM, Dorigo M. "Solving the Homogeneous Probabilistic Travelling Salesman Problem by the ACO Meta-Heuristic". *Proceeding of ANTS '02, the 3rd International Workshop on Ant Algorithms, 177–187. 2002.*

Birattari M, Balaprakash P, Dorigo M. "ACO / F-Race: Ant Colony Optimization and Racing Techniques for Combinatorial Optimization under Uncertainty". *Proceeding of MIC 2005—6<sup>th</sup> Metaheuristics International Conference, 107–112. 2005*

Bolstorff P, Rosenbaum R. "Supply Chain Excellence - A Handbook for Dramatic Improvement Using the SCOR Model". Amacom. 2007.

Chiou JS, Wang KY, Shieh MY. "The Optimization of the Application of Fuzzy Ant Colony Algorithm in Soccer Robot". *Proceeding of International Conference on Information and Automation ICIA '09, 2009: 681 – 686. 2009*

Chopra S, Meindl P. "Supply Chain, Second Edition". Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, Inc. 2003

Dorigo M, Di Caro G. "The Ant Colony Optimization Metaheuristic" *In D. Corne M. Dorigo, and Glover F, (eds.), "New Ideas in Optimization", 11–32, McGraw Hill: London, UK. 1999*

Dorigo M, Di Caro G, Gambardella LM. 1999. "Ant algorithms for Discrete Optimization". *Journal of Artificial Life vol. 5 (2): 137–172.*

Dorigo M, Stutzle T. 2004. "Ant Colony Optimization". MIT Press, MA. Cambridge. 2004

Dorigo M, Maniezzo V, Coloni A. 1996. "Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents. *Journal of IEEE Transactions on Systems", Man, and Cybernetics, Part B vol. 26(1): 29–41. 1996*

Dugardin F, Amodeo L, Yalaoui F. "Fuzzy Lorenz Ant Colony System to Solve MultiObjective Reentrant Hybrid FlowShop Scheduling Problem". *Proceeding of International*

- conference on Communications, Computing and Control Applications (CCCA), 2011: 1–6. 2011. 2011
- Fronia P, Wriggers FS, Nyhuis P. “A Framework for Supply Chain Design”. *Proceeding of International Conference on Engineering Optimization, EngOpt2008, Rio de Janeiro, Brazil. 2008.*
- Ganji MF, Abadeh MS. 2010. “Using Fuzzy Ant Colony Optimization for Diagnosis of Diabetes Disease”. *Proceeding of 18<sup>th</sup> Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), 2010: 501 – 505. 2010*
- Ganeshan R, Harrison TP. “An Introduction to Supply Chain Management”. *Department of Management Sciences and Information Systems, 303 Beam Business Building, Penn State University, University Park, PA. 1995*
- Goswami MM, Dharaskar RV, Thakare VM. “Fuzzy Ant Colony Based Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Network”. *Proceeding of International Conference on Computer Engineering and Technology ICCET '09, 2009, 2: 438 – 444. 2009*
- Gutjahr WJ. “A converging ACO Algorithm for Stochastic Combinatorial Optimization”. *Proceedings SAGA 2003 (Stochastic Algorithms: Foundations and Applications), In A. Albrecht and K. Steinhoeft (eds.), Lecture Notes in Computer Science 2827, 10–25, Springer: Berlin, Germany. 2003*
- Gutjahr WJ. “S-ACO: An Ant-Based Approach to Combinatorial Optimization under Uncertainty”. *Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence: Proceedings of ANTS 2004—Fourth International Workshop, Lecture Notes in Computer Science 3172: 238–249, Springer: Berlin, Germany. 2004*
- Gutjahr WJ.. “On the Finite-Time Dynamics of Ant Colony Optimization”. *Journal of Methodol Comput Appl Probab (2006) 8: 105–133. 2006*
- Hooshyar S, Khayati R. Retina Vessel “Detection Using Fuzzy Ant Colony Algorithm”. *Proceeding of Canadian Conference on Computer and Robot Vision (CRV), 2010: 239 – 244. 2010*
- Khan SA, Engelbrecht AP. “A Fuzzy Ant Colony Optimization Algorithm for Topology Design of Distributed Local Area Networks”. *Proceeding of IEEE Swarm Intelligence Symposium, SIS 2008, 2008: 1 – 7. 2008*
- Lambert DM, Stock JR, Ellram LM. “Fundamentals of Logistics Management”. Boston, MA: Irwin/McGraw-Hill. 1998
- Levi DS, Kaminsky P, Levi ES. “Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies and Case Studies”. Irwin McGraw-Hill. 2000
- Rauner M, Brailsford SC, Gutjahr WJ, Zeppelzauer W. “Optimal Screening Policies for Diabetic Retinopathy Using a Combined Discrete-Event Simulation and Ant Colony Optimization Approach. In J. G. Anderson and M. Katzper (eds.)”, *Proceeding of International Conference on Health Sciences Simulation, Western MultiConference '05: 147–152. 2005*
- Sinha AN, Das N, Sahoo G. “Ant Colony Based Hybrid Optimization for Data Clustering”. *Journal of Kybernetes Vol. 36 No. 2, 2007: 175-191. 2007*
- Utama DN, Djatna T, Hambali E, Kusdiana D, Marimin. “Sistem Penunjang Keputusan Cerdas untuk Pencarian Jalur Optimum Rantai Pasok Bioenergi Berbasis Kelapa Sawit dengan Menggunakan Metode Optimasi Koloni Semut”. *Jurnal Teknologi Informasi Institut Pertanian Bogor, vol. 21 No. 1, 2011: 50 - 62. 2011*
- Yun BJ, Yong LS. 2009. “Improved Ant Colony Algorithm with Emphasis on Data Processing and Dynamic City Choice”. *Proceeding of International Conference on Information Engineering and Computer Science ICIECS 2009, 2009; 1–4.*
- Zadeh LA. “A Fuzzy-Algorithmic Approach to the Definition of Complex or Imprecise Concepts”. *Electronics Research Laboratory Report ERL-M474, University of California, Berkeley. 1974*