

## PEMODELAN RANTAI PASOK FLEKSIBEL PADA PEMURNIAN MINYAK SAWIT: STUDI KASUS DI PT X

### A MODELLING OF FLEXIBLE SUPPLY CHAIN FOR PALM OIL REFINERY : CASE STUDY AT PT X

Meilita T. Sembiring\*, M. Zaky Hadi, Sukaria Sinulingga, Dini Wahyuni, Andreasen P. Chaidir, Sawaluddin

Departemen Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara  
Jl. Almamater Kampus USU, Medan 20155  
\*Email : meilita@usu.ac.id

Makalah: Diterima 23 April 2021; Diperbaiki 12 November 2021; Disetujui 3 Desember 2021

#### ABSTRACT

*The development of the CPO-producing industry provides great benefits for the CPO refining industry. CPO is used as the main raw material for refined derivative products such as oleopangan products (cooking oil, margarine, shortening) and oleochemicals (fatty acids, fatty alcohol, glycerine). A related problem is the inefficiency in the distribution network caused by the complexity of the existing system and related to the many types or product variants that must be integrated in shipping. The aim of this research was to design a flexible supply chain network for domestic palm oil refined products using a soft computing approach with a genetic algorithm. The simulation results using GA showed that the optimal solution completion time of the mathematical model only takes 57 seconds. The optimization of the model that has been formulated was tested in cases where the results were measured by the variables of the number of products distributed, distribution flow in the supply chain network, minimum cost (Z), and network facilities. The design was also tested by verification of the optimization model by correcting errors in the model until the model produces a feasible solution and validating the optimization model to experts through the Association of Indonesian Palm Oil Entrepreneurs (GAPKI) North Sumatra, the Medan Palm Oil Research Center (PPKS) and Public Appraisal Service Consultants that often handles problems in the oil palm sector. According to experts, the designed model represented the real situation so that it can be said that the model has been validated. The design is flexible because it is able to meet the existing demand with utilities above 100% for 9 periods at a cost of Rp 630,892,386.*

*Keywords: multi-product, CPO refinery supply chain, genetic algorithm, optimization, flexible supply chain network design*

#### ABSTRAK

Berkembangnya industri penghasil CPO memberikan manfaat yang besar bagi industri pemurnian CPO. CPO digunakan sebagai bahan baku utama produk turunan hasil pemurnian seperti produk oleopangan (minyak goreng, margarin, *shortening*) dan oleokimia (*fatty acids, fatty alcohol, glycerine*). Masalah yang dihadapi adalah adanya inefisiensi jaringan distribusi yang diakibatkan oleh kompleksitas sistem yang ada dan terkait kepada banyaknya jenis atau varian produk yang harus diintegrasikan dalam pengiriman. Tujuan penelitian ini adalah merancang jaringan rantai pasok fleksibel produk hasil pemurnian minyak sawit dalam negeri menggunakan pendekatan soft computing dengan genetic algorithm. Hasil simulasi dengan menggunakan GA menunjukkan waktu penyelesaian pencarian solusi optimum dari model matematis hanya memerlukan waktu selama 57 detik. Model optimasi yang telah dirumuskan diuji pada kasus yang hasilnya diukur dengan variabel-variabel jumlah produk didistribusikan, aliran distribusi pada jaringan rantai pasok, biaya minimum (Z), dan fleksibilitas jaringan. Rancangan juga diuji dengan verifikasi model optimasi dengan melakukan perbaikan error pada model hingga model menghasilkan feasible solution serta validasi model optimasi kepada pakar melalui Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (GAPKI) Sumatera Utara, Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan dan Konsultan Jasa Penilai Publik yang sering menangani permasalahan dibidang kelapa sawit. Menurut pakar, model yang dirancang telah merepresentasikan keadaan nyata sehingga dapat dikatakan bahwa model telah tervalidasi. Rancangan sudah fleksibel karena mampu memenuhi permintaan yang ada dengan utilitas diatas 100% selama 9 periode dengan biaya Rp 630.892.386.

Kata kunci : multi-produk, jaringan distribusi produk pemurnian CPO, algoritma genetik, optimisasi, desain jaringan fleksibel rantai pasok

#### PENDAHULUAN

Industri minyak sawit adalah salah satu sektor industri yang menjadi sektor unggulan di Indonesia. Potensi dan bentuk Indonesia sebagai negara

produsen terbesar di dunia dalam bidang minyak kelapa sawit (CPO) telah mulai terealisasi pada tahun 2008 dengan pangsa ekspor minyak sawit sebesar 42,99 % dari kebutuhan dunia. Data dari *Palm Oil Analytics* tahun 2016 menunjukkan

Indonesia berada di posisi pertama sebagai penghasil *crude palm oil* terbesar di dunia yakni sebanyak 34.520.000 ton. Kesesuaian geografis Indonesia menjadi salah satu pemicu berkembangnya perkebunan kelapa sawit. Berkembangnya industri penghasil CPO memberikan manfaat yang besar bagi industri pemurnian CPO. CPO digunakan sebagai bahan baku utama produk turunan hasil pemurnian seperti produk oleopangan (minyak goreng, margarin, *shortening*) dan oleokimia (*fatty acids, fatty alcohol, glycerine*). Pangsa pasar kelapa sawit Indonesia saat ini tidak hanya terfokus pada kawasan Asia saja, namun sudah mulai berkembang ke kawasan Timur Tengah, Uni Eropa dan bahkan Afrika. Dari beberapa pasar tersebut, Uni Eropa merupakan yang paling potensial. Semakin banyaknya perusahaan-perusahaan di Eropa yang membutuhkan minyak nabati sebagai bahan baku industri dan *biofuel*, merupakan alasan utama semakin tingginya volume impor kelapa sawit yang dilakukan Uni Eropa. Hal itu dibuktikan dengan meningkatnya volume impor kelapa sawit Uni Eropa beberapa tahun terakhir. Berkembangnya industri minyak sawit memberikan manfaat yang besar bagi industri lain yang terkait. Minyak sawit mentah (*crude palm oil*) digunakan sebagai bahan baku utama produk turunan seperti oleopangan (minyak goreng, margarin, *shortening*) dan oleokimia (*fatty acids, fatty alcohol, glycerine*).

Diversifikasi produk turunan hasil pemurnian (*refinery*) CPO sangat tinggi (*multi-product*). Tantangan inefisiensi jaringan distribusi produk hasil pemurnian CPO antara lain diakibatkan *multi-product*, jarak transportasi, biaya transportasi, ketidakpastian dalam rantai pasok, dan ketelusuran produk yang dikirim, permintaan yang bergejolak dan harus menyesuaikan volume produksi tanpa menimbulkan biaya yang signifikan menjadi tantangan yang dihadapi para pelaku dan merupakan tantangan yang juga dihadapi oleh para peneliti. Untuk menyelesaikan tantangan jaringan rantai pasok, perlu dikembangkan suatu model matematik dalam rangka pengambilan keputusan rantai pasok. Dalam mengembangkan model matematika, masalah yang ada didefinisikan dalam bentuk entitas sistem untuk memudahkan memahami sistem yang rumit dan diformulasikan menjadi bentuk matematika. Kemudian dengan bantuan algoritma, permasalahan diselesaikan untuk mendapatkan nilai optimal.

Rantai pasokan terdiri dari semua pihak yang terlibat, langsung atau tidak langsung, dalam memenuhi permintaan pelanggan. Rantai pasok tidak hanya mencakup pabrik dan pemasok, tetapi juga, distributor, gudang, pengecer dan bahkan pelanggan. Chopra dan Meindl (2013). Fleksibilitas dalam rantai pasok yang berkenaan dengan ketidakpastian, telah menjadi tantangan para peneliti selama beberapa tahun terakhir. Seperti penelitian (Alizadeh, 2016) yang merancang model rantai

pasok multi-periode, multi-eselon, dan multi-produk yang menggabungkan pengembangan produk dan produksi produk baru dan pengaruhnya terhadap konfigurasi rantai pasok dengan menggunakan *genetic algorithm*.

Fleksibilitas manufaktur biasanya identik dengan fleksibilitas mesin karena dalam aplikasinya hal inilah yang nampak. Rantai pasok yang sangat fleksibel dicirikan dengan proses rantai pasok yang dinamik dan mampu mempertahankan kinerja yang stabil, bahkan ketika mengubah kondisi fleksibilitas yang lebih besar, harus dipenuhi oleh entitas yang terlibat. Akibatnya, kapabilitas proses rantai pasok yang dinamik, harus dapat menyediakan produk yang dibutuhkan dengan cepat dan biaya yang rendah, sementara untuk mengatasi persyaratan yang lebih dinamik merupakan indikator fleksibilitas yang kuat. Fleksibilitas sendiri dalam rantai pasok terdiri dari konsep multi dimensi yang kompleks dengan tujuan memiliki kemampuan untuk merespon segala bentuk perubahan yang terjadi baik bersifat internal maupun eksternal, sehingga saat ini konsep efisiensi biaya dan kualitas material saja tidak lagi cukup untuk dapat bersaing di pasar .

Oleh karena itu, fleksibilitas rantai pasok merupakan masalah yang muncul dalam praktek, dimana fleksibilitas rantai pasok harus mampu dengan cepat menanggapi perubahan persyaratan pelanggan tanpa mengorbankan kinerja. Akibatnya banyak pendekatan ilmiah telah diusulkan untuk mengukur fleksibilitas seluruh rantai pasok. Namun untuk menilai fleksibilitas pada tingkat rantai pasok sangat sulit. Alasannya adalah bahwa rantai pasok adalah sistem yang kompleks, dipengaruhi oleh ketidakpastian internal dan eksternal yang melekat dan timbul dari hubungan intra-dan antar-organisasi.

Metaheuristik merupakan salah satu pendekatan *soft computing* yang muncul sebagai alternatif untuk memecahkan masalah-masalah kompleks ini. Pendekatan metaheuristik adalah pendekatan untuk mencari solusi optimal atau mendekati optimal dari suatu problem optimasi (Santosa, 2017). Pendekatan *evolutionary algorithm* merupakan salah satu teknik metaheuristik yang menjadi solusi dalam menyelesaikan permasalahan yang memakan waktu lama. *Evolutionary algorithm* merupakan metode optimasi berdasarkan fenomena alam yang dalam penelusurannya mencari titik optimal berdasarkan ide yang ada pada genetika dan teori Darwin *survival of the fittest*. (Berlianty, 2010).

*Genetic Algorithm* (GA) merupakan algoritma metaheuristik yang paling baik dan paling populer dalam menyelesaikan masalah fleksibilitas jaringan yang memiliki *multi-product* dibandingkan dengan metode lainnya (Sedyaser, 2012). Metode penyelesaian menggunakan GA ini lebih efisien secara komputasi sehingga mampu mempertahankan solusi tanpa menggunakan parameter tambahan (Deb *et al.*, 2008). *Generic Algorithm* digunakan untuk

melakukan teknik pencarian dan teknik optimasi yang bekerja dengan cara meniru proses evolusi dan perubahan struktur genetik pada makhluk hidup, dimana calon-calon solusi yang telah dikodekan dalam bentuk kromosom. Gen dalam kromosom menggambarkan informasi dalam ruang pencarian sedangkan kumpulan gen membentuk kromosom yang menggambarkan solusi masalah yang lengkap (Sampebatu *et al.*, 2015). Dalam penelitian (Arkeman dan Dharma, 2009) menggunakan GA untuk mengelola rantai pasokan agroindustri hortikultura dengan mengintegrasikan elemen manajemen rantai pasok sehingga menghasilkan pengelolaan rantai pasok dapat berjalan lebih efektif dan efisien.

Penelitian ini akan mengembangkan model matematik dari industri penghasil produk hasil pemurnian minyak sawit (margarin, minyak goreng, dan *shortening*) yang memiliki permasalahan kompleks karena banyaknya variabel yang mempengaruhi jaringan rantai pasok yang dirancang dengan tujuan untuk meminimasi biaya distribusi produk hasil turunan CPO di dalam negeri. Pengembangan model matematik ini membantu dalam mengambil keputusan yang ada di rantai pasok dengan menggunakan pendekatan *genetic algorithm*.

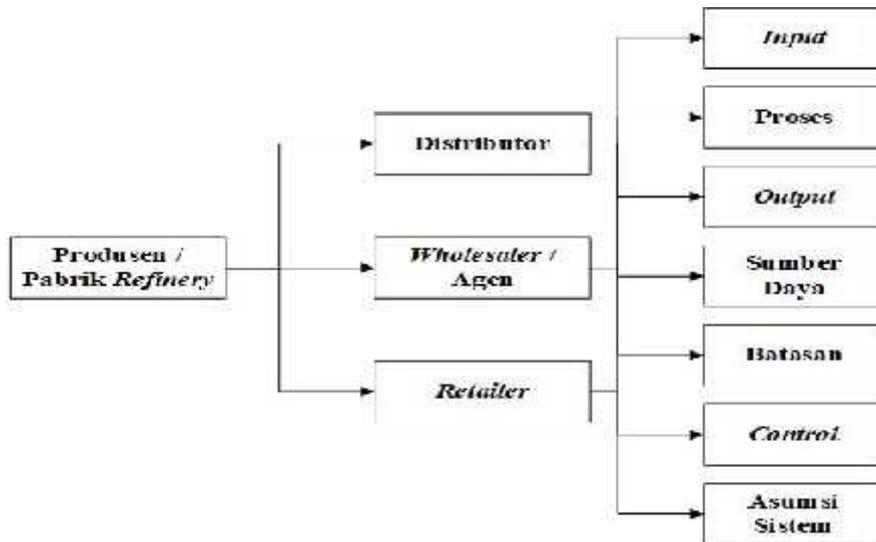
## BAHAN DAN METODE

Berdasarkan sifatnya, maka penelitian ini digolongkan sebagai penelitian eksploratif (*exploratory research*). Tujuan penelitian eksploratif adalah penelitian yang dilakukan untuk masalah yang belum diteliti lebih jelas, dimaksudkan untuk menetapkan prioritas, mengembangkan definisi operasional dan meningkatkan desain penelitian akhir (Shields dan Rangarjan, 2015).

Penelitian diawali dengan melakukan analisis entitas sistem jaringan distribusi produk hasil pemurnian minyak sawit dalam negeri (minyak goreng, *shortening*, dan margarin). Entitas sistem yang dianalisis yaitu pabrik *refinery*, distributor, *wholesaler*, dan *retailer* dengan melihat *input*, proses, *output*, aktor, sumberdaya, batasan, *control*, dan asumsi sistem. Dapat dilihat pada Gambar 1.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam pengolahan data adalah sebagai berikut:

1. Penentuan indeks, parameter, dan variabel keputusan model.  
Notasi-notasi indeks, parameter, dan variabel keputusan yang digunakan pada fungsi kendala dapat dilihat pada Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3.



Gambar 1. Diagram Entitas Sistem

Tabel 1. Indeks Model Jaringan Distribusi

Notasi	Keterangan
$I$	Indeks jenis produk ( $i, i \in 1,2,3,...I$ )
$m$	Indeks daerah asal distribusi ( $m, m \in 1,2,3, \dots M$ )
$n$	Indeks daerah tujuan distribusi ( $n, n \in 1,2,3, \dots N$ )
$t$	Indeks periode ( $t, t \in 1,2,3, \dots T$ )

Tabel 2. Parameter Fungsi Kendala Jaringan Distribusi

Notasi	Keterangan
--------	------------

$W_m$	Kapasitas gudang pada daerah ke n untuk setiap aktor
$C_{i,m,n}^{Trans}$	Biaya transportasi produk ke-i dari daerah asal-m ke daerah tujuan-n
$C_{i,m}^{Storage}$	Biaya penyimpanan produk ke-i pada daerah-m
$D_{i,m,n,t}$	Permintaan terhadap produk ke-i dari daerah asal-m ke daerah tujuan -n pada periode ke-t
$C_{i,m}^{Prod}$	Biaya produksi produk ke-i pada daerah ke-m
$Q_{i,m}^{Prod}$	Jumlah produksi produk ke-i pada daerah ke-m
$I_{i,m,t}$	<i>Inventory</i> produk ke-i pada daerah ke-m pada periode ke-t
$A_m$	Anggaran yang disediakan oleh setiap aktor untuk biaya distribusi dan penyimpanan

Tabel 3. Varibel Keputusan Jaringan Distribusi

Notasi	Keterangan
$X_{m,n}$	Bilangan biner jika produk yang diproduksi di pabrik ke-m ke distributor ke-n
$Y_{m,n}$	Bilangan biner jika produk dari distributor-m dialokasikan ke <i>wholesaler</i> -n
$Z_{m,n}$	Bilangan biner jika produk dari <i>wholesaler</i> -m dialokasikan ke <i>retailer</i> -n
$U_{m,n}$	Bilangan biner jika produk dari <i>wholesaler</i> -m dialokasikan ke <i>customer</i> -n
$Q_{i,m,n}^{Prod}$	Jumlah produk ke-i yang dialokasikan dari daerah ke-m ke daerah ke-n

2. Pemodelan Kendala (*constraint*)

Fungsi kendala diperlukan agar *output* yang diperoleh model dapat merepresentasikan sistem aktual.

$$\sum_{i=1}^J \sum_{n=1}^N I_{i,n,t}^F + Q_{i,t}^F - Q_{i,m,n,t}^{F-D} X_{m,n} > 0$$

$$\sum_{i=1}^J \sum_{n=1}^N I_{i,n,t}^D + X_{m,n} Q_{i,m,n,t}^{F-D} - Q_{i,m,n,t}^{D-W} Y_{m,n} > 0$$

$$\sum_{i=1}^J \sum_{n=1}^N I_{i,n,t}^W + Y_{m,n} Q_{i,m,n,t}^{D-W} - Q_{i,m,n,t}^{W-R} Z_{m,n} > 0$$

$$\sum_{i=1}^J \sum_{n=1}^N I_{i,n,t}^R + Q_{i,m,n,t}^{W-R} Z_{m,n} - Q_{i,m,n,t}^{R-C} U_{m,n} > 0$$

b) Jumlah *inventory* dan produk ke-i yang didistribusikan dari daerah ke-m ke daerah ke-n lebih besar dari permintaan produk ke-i pada daerah ke-n

$$\sum_{i=1}^J \sum_{n=1}^N I_{i,n,t}^F + Q_{i,m,n,t}^{F-D} X_{m,n} \geq \sum_{n=1}^N D_{i,m,n}^D$$

$$\sum_{i=1}^J \sum_{n=1}^N I_{i,n,t}^D + Q_{i,m,n,t}^{D-W} Y_{m,n} \geq \sum_{n=1}^N D_{i,m,n}^W$$

$$\sum_{i=1}^J \sum_{n=1}^N I_{i,n,t}^W + Q_{i,m,n,t}^{W-R} Z_{m,n} \geq \sum_{n=1}^N D_{i,m,n}^R$$

$$\sum_{i=1}^J \sum_{n=1}^N I_{i,n,t}^R + Q_{i,m,n,t}^{R-C} U_{m,n} \geq \sum_{n=1}^N D_{i,m,n}^C$$

c) Jumlah jenis produk ke -i yang dialokasikan dari daerah ke-m ke daerah ke-n tidak boleh melebihi kapasitas gudang pada daerah -n

$$\sum_{i=1}^J \sum_{n=1}^N I_{i,n,t}^D + Q_{i,m,n,t}^{F-D} X_{m,n} \leq W_n^D$$

a) Jumlah *inventory* produk di dalam gudang harus lebih besar dari 0 untuk memastikan produsen tidak kehabisan stok produk.

$$\sum_{i=1}^J \sum_{n=1}^N I_{i,n,t}^W + Q_{i,m,n,t}^{D-W} Y_{m,n} \leq W_n^W$$

$$\sum_{i=1}^J \sum_{n=1}^N I_{i,n,t}^R + Q_{i,m,n,t}^{W-R} Z_{m,n} \leq W_n^R$$

d) Biaya distribusi dan pergudangan untuk produsen, distributor, dan *wholesaler*, dan *retailer* tidak boleh lebih besar dari total anggaran yang disediakan oleh masing-masing aktor.

$$\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^J C_{i,m,n}^{T,F-D} X_{m,n} Q_{i,m,n,t}^{F-D} + C_{i,n}^S X_{m,n} (I_{i,n,t}^F + Q_{i,t}^F - Q_{i,m,n,t}^{F-D}) \leq A_n^F$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^J (C_{i,m,n}^{T,D-W} Q_{i,m,n,t}^{F-D} X_{m,n} + C_{i,n}^S Y_{m,n} (I_{i,n,t}^D + Q_{i,m,n,t}^{D-W} - Q_{i,m,n,t}^{D-W})) \leq A_n^D$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^J (C_{i,m,n}^{T,W-R} Q_{i,m,n,t}^{D-W} Y_{m,n} + C_{i,n}^S Z_{m,n} (I_{i,n,t}^W + Q_{i,m,n,t}^{W-R} - D_{i,m,n}^R)) \leq A_n^W$$

Kendala biner:

$$X_{m,n}, Y_{m,n}, Z_{m,n} \in \{0,1\}$$

e) Kendala total biaya distribusi untuk memastikan bahwa perusahaan akan selalu menggunakan jasa distributor

$$Z > 0$$

- f) Kendala bilangan *non-negatif*  
 Untuk memastikan bahwa nilai jumlah alokasi tidak ada yang bernilai *negative*

$$Q_{i,m,n,t}^{Prod P-D}, Q_{i,m,n,t}^{Prod D-W}, Q_{i,m,n,t}^{Prod W-R}, Q_{i,m,n,t}^{Prod W-C} \geq 0$$

3. Pemodelan Fungsi Tujuan  
 Fungsi tujuan dari model matematis ini adalah meminimasi biaya Z.

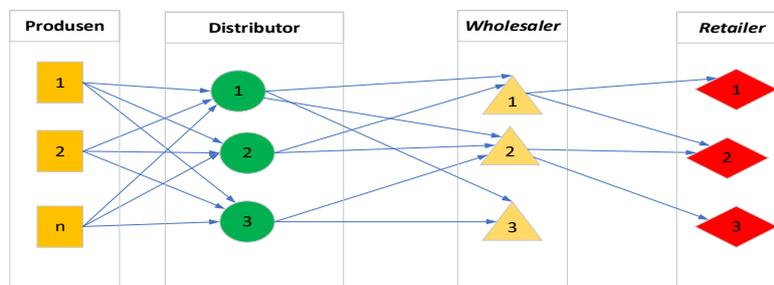
$$\begin{aligned} Z = & \sum_{i=1}^I \sum_{n=1}^N (c_{i,n}^P Q_{i,n}^P) \\ & + \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (c_{i,m,n}^T X_{m,n}^{P-D} Q_{i,m,n,t}^{P-D}) \\ & + c_{i,m,n}^T U_{m,n}^{D-W} Y_{m,n,t}^{D-W} Q_{i,m,n,t}^{D-W} \\ & + c_{i,m,n}^T Z_{m,n}^{W-R} Q_{i,m,n,t}^{W-R}) \\ & + \sum_{i=1}^I \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (c_{i,n}^S (I_{i,n,t}^P + Q_{i,n}^P \\ & - Q_{i,m,n,t}^{P-D} X_{m,n} - Q_{i,m,n,t}^{D-W} Y_{m,n}) \\ & + c_{i,n}^S (I_{i,n,t}^W + Q_{i,m,n,t}^{W-R} Z_{m,n} \\ & - Q_{i,m,n,t}^{W-R} Z_{m,n}) + c_{i,n}^S (I_{i,n,t}^R \\ & + Q_{i,m,n,t}^{W-R} Z_{m,n} - Q_{i,m,n,t}^{D-W} U_{m,n})) \end{aligned}$$

4. Penyelesaian Model Optimasi Menggunakan Algoritma GA (*Genetic Algorithm*). Penyelesaian model optimasi ini dibantu dengan menggunakan software Netbeans.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Entitas Sistem Jaringan Distribusi**

Analisis sistem berbasis entitas untuk mengetahui entitas sistem dalam jaringan distribusi produk pemurnian CPO yaitu produk minyak goreng, margarin dan *shortening*. Sistem jaringan distribusi produk hasil pemurnian minyak sawit disimulasikan selama 12 periode dan melihat



Gambar 2. Jaringan rantai pasok fleksibel hasil simulasi periode 9

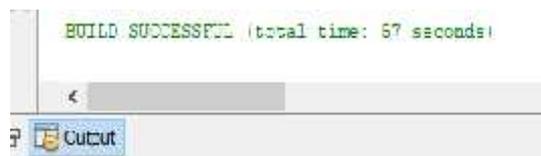
**Analisis Sensitivitas**

Untuk melihat seberapa besar pengaruh parameter terhadap model jaringan yang telah

fleksibilitas serta *inventory* dari setiap aktor menghasilkan variabel-variabel optimum. Dalam simulasi selama 12 periode diperoleh bahwa biaya paling minimum adalah Rp. 630.892.386 yang terjadi pada periode ke 9. Hasil simulasi dengan GA selama 9 periode menunjukkan bahwa seluruh permintaan telah terpenuhi dengan jalur distribusi seperti berikut dimana permintaan dari distributor 1,2, dan 3 dipenuhi sepenuhnya oleh produsen 1,2,dan 3. Permintaan *Wholesaler* 2 dipenuhi oleh distributor 1 dan 2. Permintaan *Wholersaler* 1 dipenuhi oleh distributor 3 dan 2. Permintaan *wholesaler* 3 dipenuhi oleh distributor 1 dan 3. Permintaan *Retailer* 1 dipenuhi oleh *Wholesaler* 2 dan 3. Permintaan *Retailer* 2 dipenuhi oleh *Wholesaler* 2 dan 3. Permintaan *retailer* 3 dipenuhi oleh *wholesaler* 1. Adapun jalur distribusi pada periode tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.

**Teknik Soft-computing**

Teknik *soft-computing* dimaksudkan untuk mendapatkan solusi optimum dari jumlah populasi solusi yang berukuran sangat besar sehingga untuk proses manual sangat tidak mungkin dilakukan karena membutuhkan iterasi yang sangat banyak dan waktu penyelesaian perhitungan yang sangat lama dari suatu model matematis. Dengan teknik ini waktu yang dibutuhkan menjadi sangat cepat bahkan hanya dalam hitungan detik untuk mendapatkan solusi optimum dengan melakukan proses iterasi yang sangat panjang. Hal ini terbukti, dengan menggunakan GA waktu penyelesaian pencarian solusi optimum dari model matematis hanya memerlukan waktu selama 57 detik seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Waktu Pencarian Solusi Menggunakan Teknik Soft-Computing GA

dibuatlah analisis sensitivitas untuk 5 parameter. Parameter tersebut adalah

- Biaya Penyimpanan distributor  $C_{m,n}^S \quad D$
- Biaya Penyimpanan *wholesaler*  $C_{m,n}^S \quad W$
- Biaya pengiriman produk ke distributor  $C_{i,m,n}^T \quad P-D$
- Biaya pengiriman produk distributor ke *wholesaler*  $C_{i,m,n}^T \quad D-W$
- Biaya pengiriman produk *wholesaler* ke *retailer*  $C_{i,m,n}^T \quad W-R$

Dilakukan simulasi sebanyak 20 kali untuk melihat pengaruh parameter hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 4. Parameter  $C_{i,m,n}^T \quad P-D$  memiliki pengaruh terbesar terhadap output simulasi yang dihasilkan setiap kenaikan 1% output akan bertambah 0,55%. Untuk parameter  $C_{i,m,n}^T \quad D-W$  setiap kenaikan 1% output akan bertambah sebanyak 0,21%. Untuk parameter  $C_{m,n}^S \quad D$  kenaikan 1% output akan bertambah sebanyak 0,12%. Untuk parameter  $C_{m,n}^S \quad W$  kenaikan 1% output akan bertambah sebanyak 0,09%. Untuk parameter  $C_{i,m,n}^T \quad W-R$  kenaikan 1% output akan bertambah sebanyak 0,02%.

**Fleksibilitas Jaringan Supply Chain**

Model yang telah diperoleh akan diuji fleksibilitasnya dengan melihat sebagaimana model akan merespon permintaan konsumen yang berubah-ubah dengan mengujinya terhadap beberapa skenario yaitu mengubah-ubah permintaan. Ukuran fleksibilitas dilihat dari bagaimana jaringan merespon permintaan dan sampai sejauh mana perubahan pemesanan yang dapat direspon oleh jaringan yang telah didesain dengan melihat utilitas dari jaringan *supply chain* selama 12 periode. (Tabel 5).

Model mampu merespon permintaan ketika utilitas jaringan di atas 100% ini memndahkan bahwa model rancangan sudah *feasible*. Namun bagaimana bisa jaringan merespon permintaan diatas kapasitas pasokannya. Hal ini menandakan bawah para aktor mungkin saja melakukan pekerjaan lembur agar bisa memenuhi *demand* dari konsumen dengan melakukan pekerjaan lembur maka akan bertambah kapasitas *supply* dari jaringan yang mengakibatkan *demand* dapat terpenuhi namun dengan menugaskan pekerja untuk bekerja lembur akan memakan *cost* yang lebih tinggi . Produsen bisa juga melakukan subcontact untuk memenuhi *demand* hal ini lebih praktis dibandingkan harus melakukan pekerjaan lembur dengan begitu *cost* juga dapat diminimasi.

Tabel 4. Analisis sensitivitas

Run	Parameter Variation					Output
	$C_{m,n}^{Storage D}$	$C_{m,n}^{Storage W}$	$C_{i,m,n}^T \quad P-D$	$C_{i,m,n}^{Trans D-W}$	$C_{i,m,n}^T \quad W-R$	(Cost Supply Chain)
1	+10%	0%	0%	0%	0%	+1,22%
2	+5%	0%	0%	0%	0%	+0,61%
3	-5%	0%	0%	0%	0%	-0,61%
4	-10%	0%	0%	0%	0%	-1,22%
5	0%	+10%	0%	0%	0%	+0,90%
6	0%	+5%	0%	0%	0%	+0,45%
7	0%	-5%	0%	0%	0%	-0,45%
8	0%	-10%	0%	0%	0%	-0,90%
9	0%	0%	+10%	0%	0%	+5,50%
10	0%	0%	+5%	0%	0%	+2,75%
11	0%	0%	-5%	0%	0%	-2,75%
12	0%	0%	-10%	0%	0%	-5,50%
13	0%	0%	0%	+10%	0%	+2,10%
14	0%	0%	0%	+5%	0%	+1,05%
15	0%	0%	0%	-5%	0%	-1,05%
16	0%	0%	0%	-10%	0%	-2,10%
17	0%	0%	0%	0%	+10%	+0,28%
18	0%	0%	0%	0%	+5%	+0,14%
19	0%	0%	0%	0%	-5%	-0,14%
20	0%	0%	0%	0%	-10%	-0,28%

Tabel 5. Analisis fleksibilitas

Periode ke	Demand	Kapasitas Supply	Utililitas (%)
1	41813	48165	86.812
2	32778	48165	68.0536
3	48794	48165	101.306
4	49565	48165	102.907
5	50136	48165	104.092
6	47691	48165	99.0159
7	50423	48165	104.688
8	49286	48165	102.327
9	50251	48165	104.331
10	48178	48165	100.027
11	49075	48165	101.889
12	50982	48165	105.849

Dalam melakukan pemodelan, terdapat beberapa kendala sehingga terjadi *error* saat menjalankan program. Hal tersebut disebabkan kesalahan peneliti saat mengetik coding maupun kesalahan dalam melakukan input parameter sehingga hasil yang diperoleh tidak *feasible*. Peneliti melakukan verifikasi model dengan cara memeriksa dan merevisi kesalahan saat melakukan modelling. Setelah model diperiksa dan kesalahan yang terdapat ketika membuat model telah diperbaiki, model menghasilkan *feasible solution* sehingga dapat dikatakan model telah terverifikasi. Untuk memastikan apakah model yang dirancang sudah merepresentasikan keadaan nyata, peneliti melakukan validasi model kepada pakar melalui Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (GAPKI) Sumatera Utara, Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan dan Konsultan Jasa Penilai Publik yang sering menangani permasalahan dibidang kelapa sawit. Ketika berdiskusi dengan pakar, peneliti melakukan validasi model untuk memastikan model telah sesuai dengan sistem nyata. Pakar memberikan kritik dan saran mengenai model dan entitas-entitas sistem yang terdapat di model tersebut. Menurut pakar, model yang dirancang telah merepresentasikan keadaan nyata sehingga dapat dikatakan bahwa model telah tervalidasi.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Kondisi *existing* dari rantai pasok produk hasil pemurnian CPO dalam negeri khususnya daerah Sumatera Utara terdiri dari empat aktor yaitu produsen, distributor, *wholesaler*, dan *retailer*. variabel-variabel yang mempengaruhi jaringan rantai pasok fleksibel pada penelitian ini adalah jumlah produk pengiriman setiap aktor, dan jalur distribusi setiap aktor. parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah permintaan setiap aktor,

kapasitas gudang setiap aktor biaya simpan produk pada setiap aktor, biaya kirim pada setiap aktor, dan *inventory* setiap aktor. Pendekatan *genetic algorithm* untuk menyelesaikan efisiensi jaringan rantai pasok fleksibel pemurnian minyak sawit dalam negeri hanya memerlukan waktu 57 detik untuk menyelesaikan masalah model. Model optimasi diuji coba dengan studi kasus sehingga menghasilkan variabel keputusan jumlah produk didistribusikan, aliran distribusi pada jaringan rantai pasok dengan biaya minimum (*Z*) selama 12 periode dan melihat fleksibilitas jaringan dengan menghitung utilitas jaringan. Rancangan sudah fleksibel karena mampu memenuhi permintaan yang ada dengan utilitas diatas 100% selama 9 periode dengan biaya Rp 630.892.386.

### Saran

Model akan mampu dipergunakan apabila kondisi sesuai dengan analisis entitas sistem dan memenuhi asumsi-asumsi yang telah dibuat oleh peneliti. Karena model masih memiliki beberapa kekurangan yang harus dibenahi, maka untuk penelitian kedepan diharapkan dalam pembuatan model optimasi jaringan distribusi produk-produk turunan CPO dalam negeri harus memperhatikan dan mempertimbangkan: Kemungkinan resiko yang terjadi saat pendistribusian, aset yang dimiliki produsen, jumlah tenaga kerja, jumlah alat angkut dan kapasitas alat angkut yang digunakan, waktu pendistribusian dan pergudangan, dan fasilitas yang terkait dalam pendistribusian serta aliran informasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alizadeh A, Zahra, Seyed HN, Mahdavi I. 2016. A genetic algorithm for supply chain configuration with new product development. *Computers and Industrial Engineering*, 101: 440–54.

- Arkeman Y dan Dharma RA. 2009. Sistem penunjang keputusan cerdas untuk mengelola rantai pasokan pada agroindustri hortikultura. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 19(3): 152-163.
- Badan Pusat Statistik. 2016. *Distribusi Perdagangan Komoditas Minyak Goreng di Indonesia 2016*. Jakarta : Badan Pusat Statistik.
- Berlianty I dan Miftahol A. 2010. *Teknik-Teknik Optimasi Heuristik*. Yogyakarta : Penerbit Graha Ilmu.
- Chopra S dan Meindl P. 2013. *Supply Chain Management Fifth Edition*. Edinburgh: Pearson Education, Inc.
- Coello CA, Gary BL, David A, Veldhuizen V. 2011. *Evolutionary Algorithms for Solving Multi-objective Problems*. 2<sup>nd</sup> ed. New York: Springer.
- Deaningra DA. 2014. *Analisis Saluran Distribusi Minyak Goreng dan Margarin Sebagai Produk Turunan Kelapa Sawit (Studi Kasus PT SMART Tbk)*. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Deb K. 2008. *Multiobjective Optimization*. Berlin: Springer.
- Fauzi AHM, Amin NAS dan Ramli M. 2014. Esterification of oleic acid to biodisel using magnetic ionic liquid: multi-objective optimization and kinetic study. *Applied Energy*. 114 : 809-818.
- Groover MP, 2010. *Fundamentals of Modern Manufacturing : Materials, Process, and Systems*, 4<sup>th</sup> ed. Jhon Wiley & Sons Inc : New York.
- Gunasekaran A dan Ramanathan U. 2014. Supply chain collaboration: impact of succes in long-term partnerships. *International Journal of Production Econimics*. 147 : 252-259.
- Hadiguna RA. 2016. *Manajemen Rantai Pasok Agroindustri*. Padang : Andalas University Press.
- Ibrahim D. 2016. *An Overview of Soft Computing*. Vienna : Procedia Computer Science.
- Sampebatu LS, Arkeman Y, Hambali E, Gaspers V, Saharjo BH. 2015. Model penggunaan lahan dan perubahan penggunaan lahan untuk bahan baku biodisel kelapa sawit: studi kasus di kabupaten Rokan Hilir. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*. 26 (2):207-215.
- Santoso B dan Ai TJ. 2017. *Pengantar Metaheuristik*. Surabaya: ITS Tekno Sains.
- Shields dan Rangarjan. 2015. *A Playbook for Research Methods : Integrating Conceptual Frameworks and Project Management*. New York : New Forums Press.
- Wisner JD, Tan K-C, dan Leong GK. 2011. *Pinciples of Supply Chain Management: A Balanced Approcah*. 3<sup>rd</sup> ed. Mason, OH : South-Western.