

SISTEM PENUNJANG KEPUTUSAN CERDAS UNTUK MENGELOLA RANTAI PASOKAN PADA AGROINDUSTRI HORTIKULTURA

AN INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEM FOR HORTICULTURE SUPPLY CHAIN MANAGEMENT

Yandra Arkeman¹ dan Radityo Andi Dharma²

¹Staf Pengajar Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga P.O.Box 220, Bogor 16002
Email : yandra@ipb.ac.id

²Alumni Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

ABSTRACT

The objective of this research was to develop an intelligent decision support system for optimization of horticulture supply chain model using genetic algorithms. The case study was conducted at PT. Saung Mirwan, Megamendung-Bogor, a major producer of packed fresh vegetable and fresh-cut vegetable. The output of this research is an Intelligent Decision Support System of Supply Chain Management for Horticulture Agro industry (IDSS-SCM). IDSS-SCM consists of eight models: Products Demand Forecast, Vegetables Supply Forecast, Planting Schedule, Aggregate Planning, Material Requirements Planning I, Material Requirements Planning II, Inventory Management, and Transportation Route. Based on the most recent data collected, IDSS-SCM predicts that product demand will increase and it then gives optimum recommendations to the user such as plant schedule, material requirements planning, inventory, human resource allocation, and distribution route to fulfil the demand. The unique feature of this research was that a genetic algorithm (GA) with Partially Matched Crossover (PMX) operator was used to find the shortest distribution route as well as to optimize human resource allocation problem. The experiment results indicate that the GA developed in this research can solve a complex agroindustrial supply chain design problem faster and more efficiently.

Keywords: intelligent decision support system, genetic algorithms, supply chain management, agroindustry, partially matched crossover.

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi informasi serta meningkatnya persaingan dalam dunia industri telah memberikan banyak alternatif bagi konsumen dalam memilih produk, akibatnya tuntutan konsumen menjadi lebih tinggi. Konsumen menuntut antara lain: pelayanan yang lebih cepat, kualitas yang lebih baik, serta harga yang lebih murah. Di era globalisasi saat ini, hal tersebut dapat menjadi hambatan bagi produsen sayuran di Indonesia yang mayoritas belum menerapkan manajemen yang memadai karena mereka akan bersaing dengan produsen sayuran dari manca negara. Hambatan tersebut telah dibuktikan dengan ketidakmampuan produk pertanian Indonesia bersaing dengan produk pertanian impor baik dalam segi harga maupun kualitas. Saat ini persaingan yang sesungguhnya bukanlah persaingan antar perusahaan, melainkan persaingan antar jaringan kerja. Sebuah jaringan yang terdiri dari pemasok, perusahaan, distributor, dan pengecer, akan saling bekerja sama untuk menghasilkan produk akhir dengan kualitas tinggi, waktu yang lebih singkat, serta harga yang lebih terjangkau. Hanya tim yang memiliki jaringan kerja yang paling efektif dan efisien yang dapat memenangkan persaingan.

Supply Chain Management merupakan mekanisme pengelolaan rantai pasokan untuk mengoptimalkan nilai-nilai yang terdapat di sepanjang rantai pasokan dengan cara mengoptimalkan aliran barang, aliran informasi, dan aliran uang

di dalam rantai pasokan agar produk yang sampai ke konsumen dapat memberikan kepuasan dalam hal ketepatan waktu pengiriman, kualitas barang, dan harga yang terjangkau, sehingga pada akhirnya akan memberikan keuntungan yang maksimal kepada seluruh anggota yang terlibat dalam rantai pasokan (Chopra dan Meindl, 2004, Apaiah dan Hendrix 2004).

Tujuan penelitian ini adalah untuk merancang, mengembangkan dan mengimplementasikan sistem penunjang keputusan cerdas untuk mengelola rantai pasokan pada agroindustri hortikultura sesuai dengan kebutuhan perusahaan, mengintegrasikan pendekatan-pendekatan pemecahan persoalan *Supply Chain Management* ke dalam sistem penunjang keputusan cerdas (Dhar dan Stein, 1997), dan menerapkan Algoritme Genetika (Gen dan Cheng 1997, Goldberg 1989, De Jong 2006) sebagai bagian dari sistem penunjang keputusan cerdas untuk memperoleh hasil optimum yang berkualitas dalam waktu yang lebih singkat.

METODE PENELITIAN

Kerangka Pemikiran

Rantai pasokan merupakan mekanisme penyediaan produk sampai kepada konsumen akhir yang melibatkan pemasok, produsen, distributor, dan pengecer. Oleh sebab itu pengelolaan yang baik atas aliran informasi, aliran barang, dan aliran keuangan yang terjadi di antara anggota rantai pasokan memegang peranan yang sangat penting dalam menentukan efisiensi rantai pasokan. Rantai pasokan

yang efisien akan memberikan kepuasan kepada konsumen dalam hal ketepatan waktu pengiriman, kualitas barang, dan harga yang terjangkau, sehingga pada akhirnya akan memberikan keuntungan yang maksimal kepada seluruh anggota yang terlibat dalam rantai pasokan.

Dalam pelaksanaannya, seorang pengambil keputusan yang mengelola rantai pasokan akan dihadapkan kepada berbagai persoalan yang rumit dan kompleks (Apaiah dan Hendrix, 2004) karena pengelolaan rantai pasokan merupakan suatu persoalan yang dinamis dan melibatkan banyak elemen yang saling berkaitan (Brycesson dan Smith, 2008). Seorang pengambil keputusan sangat dituntut untuk menghasilkan keputusan yang terbaik dalam waktu yang singkat, sehingga diperlukan suatu alat yang dapat menyediakan informasi yang mendukung proses pengambilan keputusan secara cepat, ringkas, dan informatif (Simch-Levy, Kaminsky dan Simchi-Levy, 2000). Pada penelitian ini, alat tersebut adalah sistem penunjang keputusan cerdas untuk mengelola rantai pasokan pada agroindustri hortikultura (*Intelligent Decision Support System for Supply Chain Management* atau IDSS-SCM).

IDSS-SCM digunakan untuk mengelola rantai pasokan agroindustri hortikultura dengan mengintegrasikan elemen-elemen yang terdapat dalam *Supply Chain Management* seperti *Forecasting, Inventory Management, Aggregate Planning, Resource Planning, dan Transportation Management*. Selain itu IDSS-SCM menggunakan metode penyelesaian persoalan yang diadaptasi dari bidang kecerdasan buatan yaitu Algoritma Genetika, sehingga dengan menggunakan sistem ini diharapkan proses pengambilan keputusan yang berkaitan dengan pengelolaan rantai pasokan agroindustri hortikultura dapat berlangsung dengan lebih efektif dan efisien.

Pendekatan Sistem

Penelitian ini menggunakan metoda ilmiah untuk perancangan sistem seperti yang diusulkan Taylor (2007) dikombinasikan dengan metoda perancangan sistem rantai pasok (Shapiro, 2001) dan perancangan perangkat lunak algoritma genetika (Gen dan Cheng, 1997, De Jong, 2006). Hasil perancangan sistem dituangkan dalam bentuk analisa kebutuhan, diagram input-output, diagram lingkaran sebab-akibat, dan rancangan algoritma genetika yang dibahas pada sub-bab di bawah ini.

Analisis Kebutuhan

Pemasok

- Memperoleh kepastian jumlah pesanan
- Meminimalkan persediaan
- Memperoleh kepastian pembayaran
- Memenuhi kebutuhan perusahaan secara maksimal

Produsen: Divisi penjualan

- Memperoleh prediksi permintaan produk
- Memperoleh informasi pergerakan pesaing dalam hal produk, harga, distribusi, dan promosi

- Memperoleh informasi mengenai tingkat persediaan
- Memenuhi *service level* ke pelanggan semaksimal mungkin

Produsen: Divisi Pengadaan (Sayur & Non-Sayur)

- Memperoleh prediksi kebutuhan sayur
- Memperoleh prediksi kebutuhan bahan baku produk
- Membuat rencana pengadaan kebutuhan sayur dan bahan baku produk
- Memenuhi kebutuhan produksi secara maksimal

Produsen: Divisi Pengemasan

- Membuat perencanaan produksi
- Meminimalkan persediaan bahan baku
- Menentukan jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan
- Meminimalkan biaya tenaga kerja

Produsen: Divisi Distribusi

- Meminimalkan biaya transportasi
- Mempersingkat waktu pengiriman
- Menentukan rute pengiriman yang optimal

Pengecer

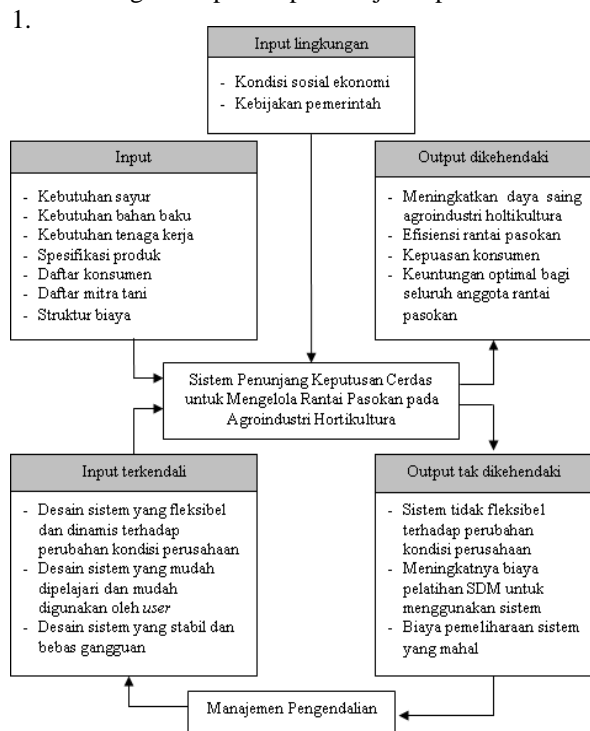
- Memperoleh pesanan tepat waktu
- Memperoleh pesanan dalam jumlah yang benar
- Memperoleh pesanan dengan spesifikasi yang benar
- Memperoleh pesanan dengan kualitas tinggi
- Memperoleh pesanan dengan harga murah

Konsumen

- Memperoleh produk yang selalu *ready-stock*
- Memperoleh produk dengan kualitas tinggi
- Memperoleh produk dengan harga murah

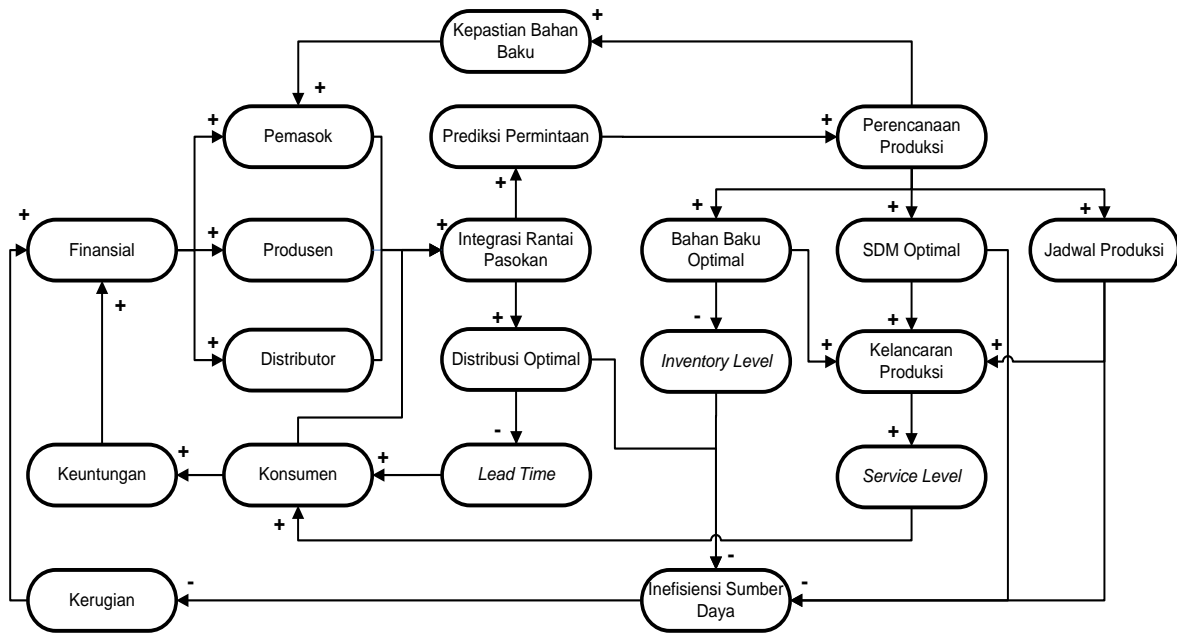
Diagram Input-Output

Diagram input output disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Input-Output IDSS-SCM

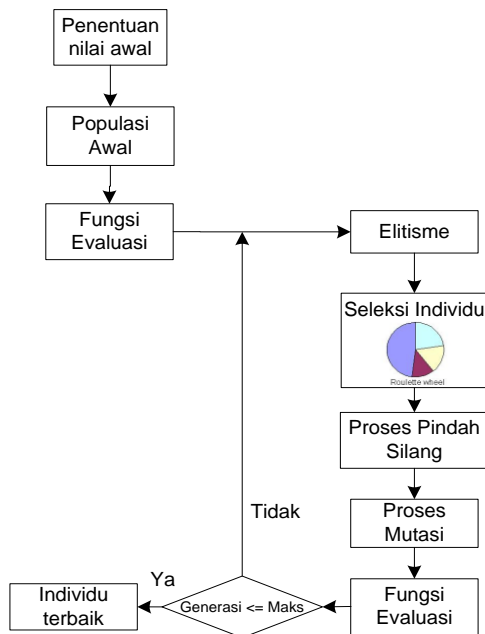
Diagram Lingkar Sebab-Akibat



Gambar 2. Diagram lingkar sebab-akibat IDSS-SCM

Algoritma Genetika

Algoritma genetika (GA) merupakan suatu metode pencarian yang didasarkan pada mekanisme dari seleksi dan genetika natural (Haupt dan Haupt 2004). Proses GA dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses algoritme genetika

GA digunakan untuk menemukan solusi dalam masalah yang kompleks melalui kumpulan-kumpulan metode atau teknik seperti fungsi evaluasi (*fitness function*), pindah silang, mutasi, dan seleksi alam (Owais *et al.*, 2005). Walaupun algoritma genetika sudah banyak digunakan di bidang pertanian dan agroindustri secara umum seperti yang dilakukan (Mardle dan Pascoe 2000, Matthews *et*

al., 2005, Mayer *et al.*, 2001, Sarker dan Ray 2009, Stewart *et al.*, 2004, Zhang *et al.*, 2009), namun publikasi penggunaan algoritma genetika untuk optimasi rantai pasok produk hortikultura belum banyak ditemukan.

GA dikarakterisasi dengan 5 komponen dasar yaitu :

1. Representasikan kromosom untuk memudahkan penemuan solusi dalam masalah pengoptimasian.
2. Inisialisasi populasi.
3. *Fitness function* yang mengevaluasi setiap solusi.
4. Proses genetik yang menghasilkan sebuah populasi baru dari populasi yang ada.
5. Parameter seperti ukuran populasi, probabilitas proses genetik, banyaknya generasi, dan lain-lain.

Tata Laksana

Tahapan penelitian yang dilakukan terdiri dari studi pustaka, observasi dan wawancara, perancangan sistem, implementasi, verifikasi dan evaluasi. Observasi dilakukan untuk mengidentifikasi sistem kebutuhan agroindustri hortikultura yaitu PT. Saung Mirwan, Megamendung-Bogor. Wawancara dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan data atau informasi melalui pimpinan pabrik beserta staf.

PEMODELAN SISTEM

Sistem Penunjang Keputusan Cerdas untuk Mengelola Rantai Pasokan pada Agroindustri Hortikultura yang dinamai IDSS-SCM (*Intelligent Decision Support System for Supply Chain Management*) merupakan sebuah sistem penunjang keputusan yang ditingkatkan kinerjanya dengan menambahkan elemen kecerdasan buatan ke dalamnya (Chopra dan Peter, 2000).

IDSS-SCM dirancang untuk membantu pihak yang berkepentingan dalam mengambil keputusan yang berkaitan dengan pengelolaan rantai pasokan agroindustri hortikultura, mulai dari kebutuhan bahan baku sayuran, rencana kebutuhan benih sayuran, rencana tanam sayuran, rencana kebutuhan bahan baku kemasan, rencana pembelian bahan baku kemasan, rencana kebutuhan tenaga kerja, sampai rencana pengaturan rute distribusi. IDSS-SCM diprogram menggunakan bahasa pemrograman Pascal dalam *Borland Delphi 7.0* dan menggunakan *Microsoft Access 2003* sebagai basis datanya.

IDSS-SCM terdiri dari empat bagian utama, yaitu sistem manajemen dialog, sistem manajemen basis data, sistem manajemen basis model, dan elemen kecerdasan buatan (Dhar dan Stein, 2004).

Sistem Manajemen Dialog merupakan fasilitas yang dapat mengatur interaksi antara IDSS-SCM dengan pengguna ketika menggunakan *software* tersebut. Interaksi yang dimaksud berupa kondisi ketika pengguna memberikan *input* kepada program, termasuk di dalamnya adalah menambah, mengurangi, atau memodifikasi *input* di tempat yang sudah disediakan oleh program.

Sistem Manajemen Basis Data merupakan komponen yang berfungsi mengelola data yang dibutuhkan oleh program dalam mengolah masukan menjadi keluaran (Russel *et al.*, 2006). Fasilitas pengelolaan data yang disediakan dalam IDSS-SCM adalah menginput data, mengedit data, dan menampilkan data. Data-data yang dikelola dalam IDSS-SCM adalah data produk, data sayuran, data pemasok sayur, data bahan baku kemasan, data tenaga kerja bagian pengemasan, data konsumen.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengelolaan rantai pasokan di PT. Saung Mirwan dilakukan dari hulu ke hilir, dan setiap prosesnya diterjemahkan ke dalam sebuah model yang terdapat dalam program IDSS-SCM. Pengelolaan rantai pasokan dimulai membuat perkiraan jumlah permintaan dari setiap jenis produk selama satu tahun ke depan. Perkiraan jumlah permintaan ini dihitung di dalam Model Peramalan Permintaan Produk.

Untuk memenuhi permintaan tersebut dibutuhkan bahan baku berupa macam-macam sayuran segar yang dipasok dari *green house* PT. Saung Mirwan, para mitra tani, atau pasar bebas. Untuk itu dilakukan peramalan pasokan sayur dari para pemasok selama satu tahun ke depan berdasarkan data hasil panen pada tahun-tahun sebelumnya. Proses perhitungan ini dilakukan di dalam Model Peramalan Pasokan Sayur.

Selanjutnya agar bahan baku berupa sayuran dapat dipanen dengan jumlah yang sesuai saat dibutuhkan, perlu dilakukan perencanaan tanam yang meliputi kapan para pemasok mulai menanam sayur, berapa banyak kebutuhan benihnya, dan berapa luas lahan yang dibutuhkan. Perhitungan yang berkaitan dengan rencana tanam ini dilakukan di dalam Model Rencana Tanam.

Setelah prediksi permintaan setiap jenis produk selama satu tahun ke depan diketahui, maka perlu dilakukan perencanaan alokasi sumber daya yang dibutuhkan untuk menghasilkan produk-produk tersebut. Dalam hal ini, sumber daya yang dimaksud adalah para pekerja yang terdapat di divisi pengemasan sayuran yang secara langsung berperan dalam proses peningkatan nilai tambah sayuran, mulai dari proses penerimaan, sortasi, pencucian, *trimming*, pemotongan, dan pengepakan sayuran.

Pengalokasian sumber daya meliputi penentuan jumlah tenaga kerja harian, berapa banyak tenaga kerja baru yang harus direkrut, berapa banyak tenaga kerja yang diberhentikan, alokasi jam kerja lembur, serta jumlah karyawan borongan yang dibutuhkan. Seluruh perhitungan yang berkaitan dengan alokasi tenaga kerja terdapat dalam Model Perencanaan Agregat.

Divisi pengemasan juga memerlukan informasi yang terkait dengan jumlah material kemasan yang dibutuhkan dari setiap jenis produk yang dihasilkan dan suatu model yang dapat memprediksi kebutuhan bahan baku kemasan secara terperinci dan terstruktur. Untuk itulah Model *Material Requirements Planning I* dan Model *Material Requirements Planning II* dibuat. Fungsinya adalah menghitung kebutuhan bahan baku kemasan dari setiap jenis produk berdasarkan prediksi permintaan produk tersebut selama satu tahun ke depan dengan biaya yang dibutuhkan (*Bills of Material*) dari masing-masing produk.

Agar bahan baku kemasan dapat tersedia dalam jumlah yang tepat ketika dibutuhkan, maka diperlukan sebuah model yang berfungsi untuk mengelola *inventory* bahan baku kemasan. Untuk itu digunakan Model Manajemen *Inventory* Kemasan. Tujuan utama model ini adalah membantu divisi pengadaan dalam menentukan pembelian bahan baku kemasan, sehingga dapat meminimumkan biaya *inventory* sekaligus sebagai referensi bagi divisi keuangan agar dapat menyediakan dana pembelian bahan baku kemasan tepat pada saat dibutuhkan, sehingga proses produksi dapat berjalan dengan tertib dan lancar.

Proses terakhir di dalam rantai pasokan PT. Saung Mirwan adalah distribusi produk ke lokasi konsumen. Produk PT. Saung Mirwan adalah sayuran yang memiliki umur simpan yang relatif pendek. Oleh sebab itu penentuan rute pengiriman yang tepat diperlukan agar sayuran dapat tiba di lokasi konsumen dengan lebih cepat, hemat waktu, hemat tenaga, dan dapat menekan biaya konsumsi bahan bakar. Untuk menentukan rute pengiriman terpendek digunakan Model Rute Pengiriman yang memakai teknik Algoritma Genetika, sehingga mampu menghasilkan solusi yang optimal dalam waktu yang relatif singkat.

Keseluruhan model-model yang terdapat di dalam IDSS-SCM ini diharapkan mampu menunjang proses pengambilan keputusan yang terkait dengan pengelolaan rantai pasokan secara menyeluruh mulai dari hulu hingga hilir dengan cepat dan berkualitas,

sehingga perusahaan dapat mengelola rantai pasokan secara lebih efektif dan efisien (Marimin, 2004).

Metode peramalan yang digunakan dalam model ini ada 6 macam, yaitu: *Moving Average*, *Double Moving Average*, *Single Exponential Smoothing*, *Adaptive Exponential Smoothing*, *Brown's Method*, dan *Holt's Method* (Heizer & Render 2004). Hasil peramalan yang dipilih merupakan *output* yang memiliki nilai *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) terkecil dari masing-masing metode. Hasil peramalan tersebut kemudian dimuluskan dengan metode *Seasonal Adjustments*, sehingga hasil peramalan yang diperoleh mengikuti pola musiman berdasarkan pola musim pada tahun-tahun sebelumnya (Turban *et al.*, 1991).

Model Peramalan Permintaan Produk

Model Peramalan Permintaan Produk berfungsi untuk memprediksi permintaan setiap jenis produk serta kebutuhan bahan bakunya setiap bulan selama satu tahun ke depan. Data yang dimasukkan ke model ini adalah data aktual permintaan setiap jenis produk sayuran yang dihasilkan PT. Saung Mirwan selama tahun 2006 dan 2007.

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa hasil peramalan yang telah dimuluskan dengan metode *Seasonal Adjustment* menunjukkan kesesuaian dengan pola permintaan produk sayur pada umumnya, yaitu mengikuti pola musim hujan/kemarau. Data hasil peramalan yang telah dimuluskan dengan metode *Seasonal adjustments* kemudian dibagi dengan nilai rendemen produk untuk mendapatkan prediksi kebutuhan bahan baku produk tersebut disajikan pada Tabel 1. Produk Daun Bawang Slice 100 g *McDonald's* memiliki rendemen sebesar 60%. Artinya, dari 100% bahan baku yang digunakan yaitu Daun Bawang utuh, hanya 60% yang menjadi produk jadi.

Model Peramalan Produksi Sayur

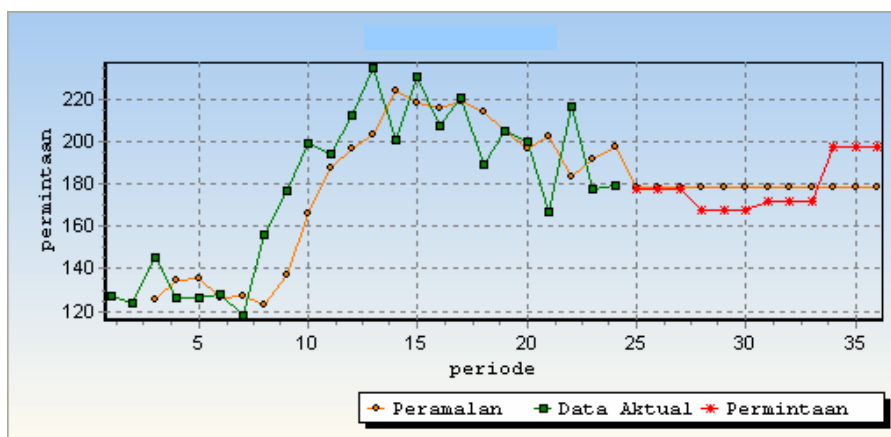
Model Peramalan Produksi sayur berfungsi untuk memprediksi hasil produksi sayur bulanan dari para pemasok selama satu tahun ke depan. Data yang dimasukkan ke model ini adalah data aktual

jumlah sayur yang dihasilkan oleh para pemasok selama tahun 2006 dan 2007. Hasilnya adalah prediksi jumlah sayur yang dihasilkan serta revisi rencana produksi sayur dari para pemasok sepanjang tahun 2008.

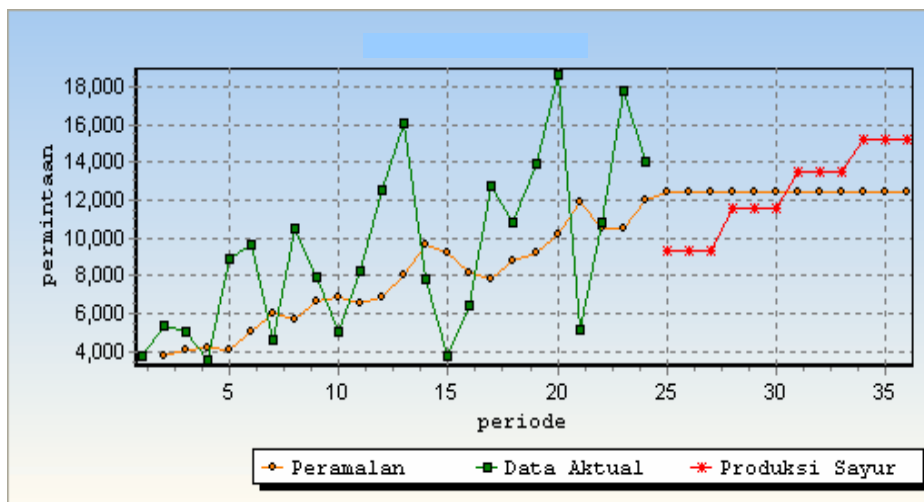
Tabel 1. Prediksi kebutuhan bahan baku produk daun bawang slice 100 g *McDonalds* tahun 2008

Bulan-Tahun	Prediksi Permintaan (Kg)	Kebutuhan Bahan Baku (Kg)
Januari-2008	178	296,7
Februari-2008	178	296,7
Maret-2008	178	296,7
April-2008	168	280,0
Mei-2008	168	280,0
Juni-2008	168	280,0
Juli-2008	172	286,7
Agustus-2008	172	286,7
September-2008	172	286,7
Oktober-2008	198	330,0
November-2008	198	330,0
Desember-2008	198	330,0

Pada Gambar 5 menunjukkan bahwa sepanjang tahun 2008, hasil produksi sayur Edamame yang dihasilkan oleh para mitra tani di daerah Gadog cenderung mengalami kenaikan. Kenaikan produksi sayur Edamame disebabkan oleh jumlah petani yang bergabung menjadi mitra PT. Saung Mirwan, sehingga jumlah sayur yang dihasilkan semakin meningkat. Bertambahnya jumlah petani mitra disebabkan karena meningkatnya kebutuhan PT. Saung Mirwan terhadap sayur Edamame untuk memenuhi permintaan produk Edamame yang semakin meningkat setiap tahunnya.



Gambar 4. Hasil peramalan permintaan produk daun bawang slice 100 g *McDonald's*



Gambar 5. Hasil peramalan produksi sayur edamame oleh mitra tani di daerah Gadog

Data hasil peramalan yang telah dimuluskan dengan metode *Seasonal adjustments* kemudian dikalikan dengan nilai revisi produksi untuk mendapatkan rencana produksi sayuran yang ideal. Nilai revisi produksi digunakan untuk merevisi prediksi jumlah sayuran yang dihasilkan agar sesuai dengan kapasitas produksi pemasok yang sebenarnya. Hasil revisi produksi sayur Edamame oleh para mitra di daerah Gadog dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Revisi produksi sayur edamame yang dihasilkan oleh para mitra di daerah gadog tahun 2008

Bulan-Tahun	Revisi Produksi Sayur (Kg)
Januari-2008	9272,0
Februari-2008	9272,0
Maret-2008	9272,0
April-2008	11565,0
Mei-2008	11565,0
Juni-2008	11565,0
Juli-2008	13512,0
Agustus-2008	13512,0
September-2008	13512,0
Oktober-2008	15235,0
November-2008	15235,0
Desember-2008	15235,0

Model Rencana Tanam

Model rencana tanam berfungsi untuk menentukan rencana tanam bagi para pemasok sayur, menentukan kebutuhan dan biaya benih, serta menentukan kebutuhan luas lahan yang akan ditanami. Tujuan pembuatan model ini adalah untuk membantu divisi pengadaan dalam membuat Rencana Kerja Anggaran Perusahaan tahunan (RKAP) yang bertujuan untuk menentukan jumlah

kebutuhan sayur per minggu dari setiap pemasok berdasarkan rencana penjualan mingguan dari divisi penjualan.

Data yang digunakan sebagai masukan dalam model ini adalah data prediksi total kebutuhan sayur yang diperoleh dengan menjumlahkan hasil prediksi kebutuhan sayur dari seluruh jenis produk yang menggunakan bahan baku sayuran yang sama. Proses ini akan berlangsung secara otomatis ketika pengguna menjalankan Model Rencana Tanam.

Model Rencana Tanam akan menghitung jumlah sayur yang harus disediakan oleh para pemasok setiap minggu, kapan pemasok harus mulai menanam sayur, berapa jumlah benih yang dibutuhkan setiap minggunya oleh para pemasok, berapa biaya untuk membeli benih tersebut, dan berapa luas lahan yang harus ditanami/dipanen oleh para pemasok setiap minggunya.

Model Perencanaan Agregat

Model Perencanaan Agregat digunakan untuk menentukan alokasi sumber daya manusia yang digunakan untuk mengolah bahan baku sayuran menjadi produk jadi pada divisi pengemasan setiap bulan selama satu tahun ke depan.

Perhitungan yang dilakukan dalam Model Perencanaan Agregat meliputi jumlah tenaga kerja harian yang dibutuhkan, berapa jumlah tenaga kerja harian yang harus direkrut, berapa jumlah tenaga kerja harian yang harus diberhentikan, berapa jumlah jam kerja lembur yang terpakai, berapa jumlah tenaga kerja borongan yang diperlukan, berapa hasil produksi tenaga kerja harian, berapa hasil produksi lembur, berapa hasil produksi pekerja borongan, dan berapa biaya tenaga kerja yang dibutuhkan. Semuanya dihitung dalam basis bulanan.

Metode yang digunakan untuk menyelesaikan persoalan perencanaan agregat adalah Algoritma Genetik. Tujuan penerapan metode Algoritma Genetik adalah untuk meminimumkan total biaya tenaga kerja selama satu tahun ke depan. Fungsi total biaya tenaga kerja dalam Model Perencanaan Agregat adalah sebagai berikut:

$$TCTK = \sum_{i=1}^{12} (TKH_i \times PRTKB \times URK) + \sum_{i=1}^{12} (TKHR_i \times BR) + \sum_{i=1}^{12} (TKHP_i \times BP) + \sum_{i=1}^{12} (PLB_i \times ULK) + \sum_{i=1}^{12} (PB_i \times UBK)$$

Dimana:

- TCTK = Total Cost Tenaga Kerja
- TKH_i = Jumlah Tenaga Kerja Harian bulan ke- i
- PRTKB = Kapasitas Produksi Reguler Tenaga Kerja per bulan
- URK = Upah Reguler per Kilogram produk yang dihasilkan
- $TKHR_i$ = Jumlah Tenaga Kerja Harian yang di Rekrut pada bulan ke- i
- BR = Biaya Rekrut Tenaga Kerja Harian per orang
- $TKHP_i$ = Jumlah Tenaga Kerja Harian yang di PHK pada bulan ke- i
- BP = Biaya Pemutusan Hubungan Kerja per orang
- PLB_i = Produksi Lembur bulan ke- i
- ULK = Upah Lembur per Kilogram Produk yang dihasilkan
- PB_i = Produksi Borongan bulan ke- i
- UBK = Upah Borongan per Kilogram produk yang dihasilkan

Variabel-variabel keputusan yang terdapat pada fungsi tersebut akan direpresentasikan menjadi gen-gen di dalam kromosom. Berikut ini adalah gambar representasi kromosom untuk Model Perencanaan Agregat.

Kromosom pada perencanaan agregat terdiri dari 60 buah gen, yaitu gen K1, K2, K3, ..., K12 yang merepresentasikan Jumlah Tenaga Kerja Harian

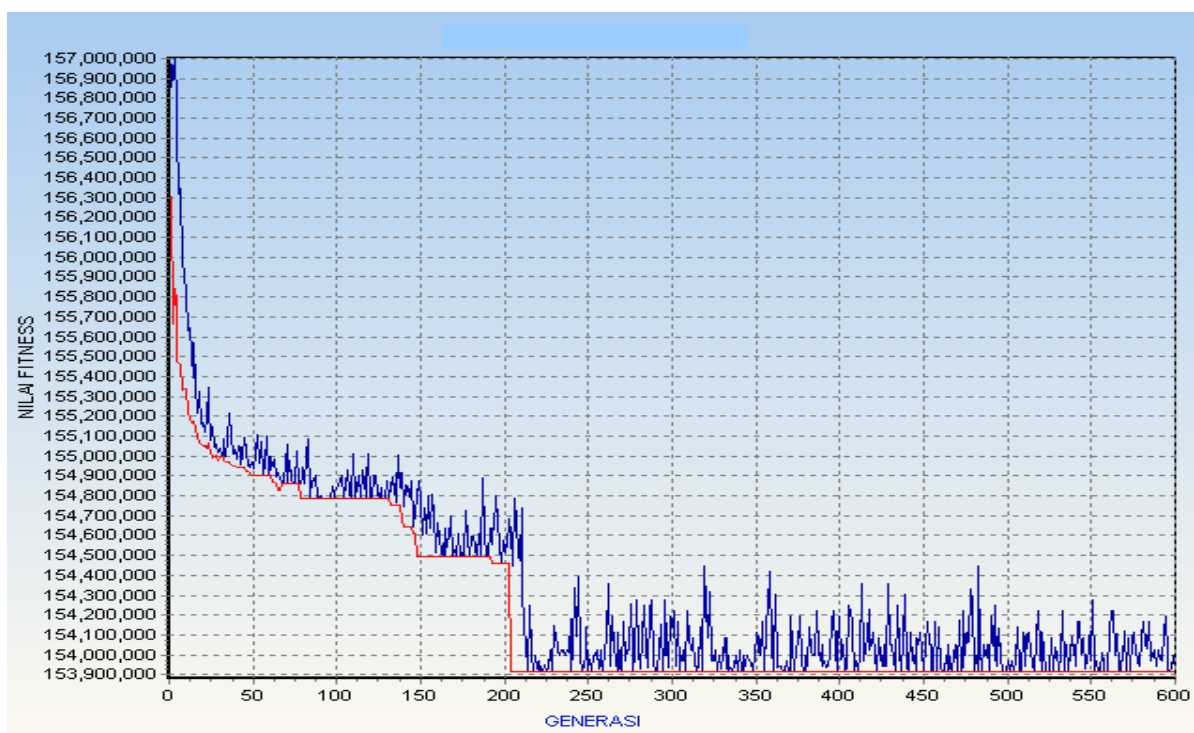
pada bulan ke-1 sampai bulan ke-12, gen H1, H2, H3, ..., H12 yang merepresentasikan Jumlah Tenaga Kerja yang direkrut pada bulan ke-1 sampai bulan ke-12, gen F1, F2, F3, ..., F12 yang merepresentasikan Jumlah Tenaga Kerja yang di PHK pada bulan ke-1 sampai bulan ke-12, gen L1, L2, L3, ..., L12 yang merepresentasikan Jumlah Produksi Lembur pada bulan ke-1 sampai bulan ke-12, dan gen B1, B2, B3, ..., B12 yang merepresentasikan Jumlah Produksi Borongan pada bulan ke-1 sampai bulan ke-12.



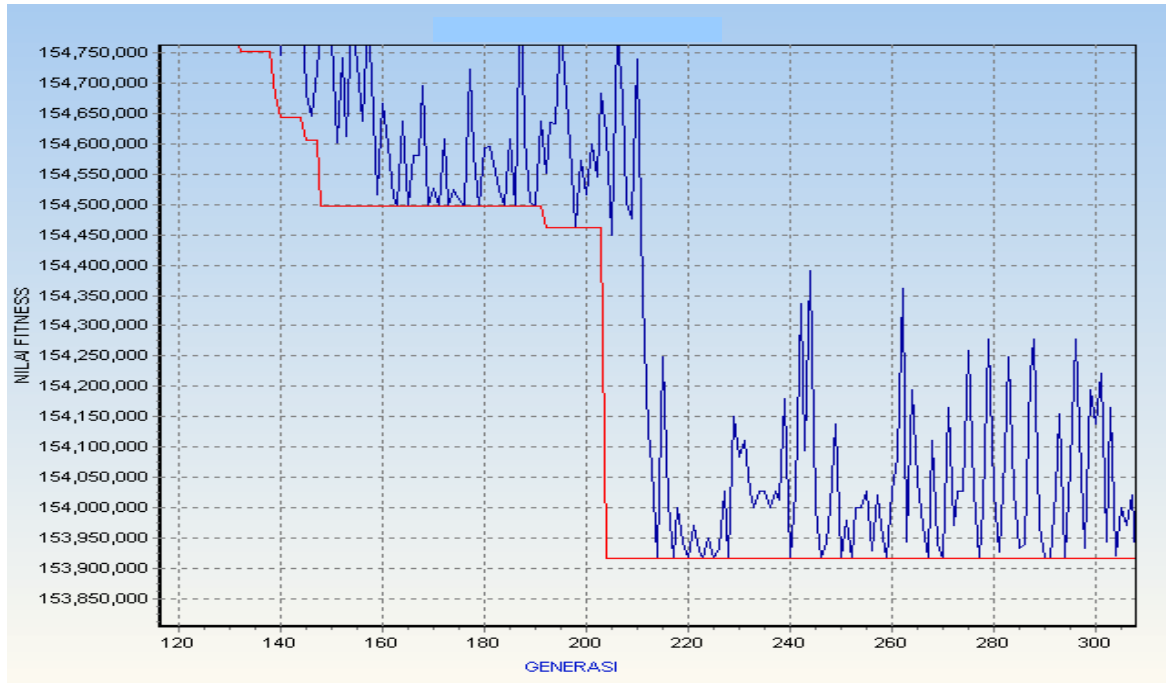
Gambar 6. Representasi kromosom dari variabel keputusan fungsi linier perencanaan agregat

Hasil eksekusi Model Perencanaan Agregat disajikan dalam 2 buah grafik. Gambar 7 menunjukkan grafik nilai *fitness* rata-rata dan nilai *fitness* minimum dari generasi pertama sampai generasi maksimum, sedangkan Gambar 8 menunjukkan grafik nilai *fitness* minimum dari generasi ke-120 sampai generasi ke-300.

Nilai *fitness* minimum konvergen sejak generasi ke-204 sampai generasi ke-600. Keadaan tersebut terjadi karena meskipun proses penyilangan dan mutasi dilakukan sepanjang generasi tersebut, namun proses tersebut tidak lagi dapat memunculkan kromosom-kromosom yang lebih baik, sehingga dapat disimpulkan bahwa solusi optimal telah tercapai pada nilai TCTK= 153915400.



Gambar 7. Grafik nilai *fitness* rata-rata dan nilai *fitness* minimum dari tiap generasi



Gambar 8. Grafik nilai *fitness* minimum dari generasi ke-120 sampai ke-300

Model Material Requirements Planning I

Model *Material Requirements Planning I* digunakan untuk menghitung prediksi kebutuhan material kemasan setiap jenis produk sayuran setiap bulan selama satu tahun ke depan. Tujuannya adalah membantu divisi pengemasan untuk merencanakan kebutuhan kemasan setiap jenis produk pada bulan-bulan berikutnya dengan lebih baik, sehingga material kemasan selalu tersedia dalam jumlah yang tepat saat dibutuhkan.

Data yang digunakan sebagai masukan untuk model ini adalah hasil prediksi permintaan setiap jenis produk yang diambil dari basis data, biaya yang dibutuhkan masing-masing produk, unit pembelian, dan berat per unit pembelian.

Output Model Material Requirements Planning I selanjutnya disimpan ke *database* dan digunakan sebagai *input* untuk Model *Material Requirements Planning II*.

Model Material Requirements Planning II

Model *Material Requirements Planning II* digunakan untuk menghitung kebutuhan material kemasan dari seluruh jenis produk sayuran setiap bulan selama satu tahun ke depan serta biaya yang dibutuhkan untuk membeli material kemasan.

Informasi yang dihasilkan dari model ini berguna bagi divisi pengemasan dan divisi pengadaan, agar divisi pengemasan dapat mengajukan rencana pembelian bahan baku kemasan kepada divisi pengadaan dengan waktu yang lebih singkat dan informasi yang lebih terperinci, sehingga material kemasan selalu tersedia dalam jumlah yang tepat saat dibutuhkan dan dapat membantu kelancaran proses produksi.

Data masukan yang dibutuhkan dalam model ini adalah hasil prediksi kebutuhan material kemasan

dari setiap produk selama satu tahun ke depan. Data-data tersebut kemudian diintegrasikan, sehingga total kebutuhan setiap jenis material kemasan selama satu tahun dapat diketahui. Data masukan lainnya adalah daftar seluruh material kemasan yang digunakan oleh divisi pengemasan, satuan material kemasan, dan harga per satuan material kemasan.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa total biaya yang dibutuhkan untuk membeli seluruh material kemasan sepanjang tahun 2008 adalah sebesar Rp. 474.787.973,- dengan rata-rata bulanan sebesar Rp. 39.565.664,-. Besarnya biaya material kemasan berbanding lurus dengan jumlah permintaan produk. Semakin tinggi permintaan suatu produk, maka material kemasan yang dibutuhkan semakin banyak.

Model Manajemen Inventory Kemasan

Model *Manajemen Inventory Kemasan* berfungsi untuk mengelola persediaan material kemasan selama satu tahun ke depan agar tidak terjadi *outstock* persediaan yang dapat mengganggu kelancaran proses produksi. Model ini juga bertujuan membantu manajer divisi pengemasan dalam menentukan kebijakan-kebijakan yang terkait dengan pengadaan dan pembelian material kemasan, seperti jumlah pembelian optimal dalam setiap *order* untuk meminimumkan biaya pemesanan dan biaya penyimpanan, jumlah pembelian dalam satu tahun, rentang waktu pembelian antara satu order dengan order berikutnya, dan perkiraan biaya yang dibutuhkan untuk pengadaan material kemasan tersebut.

Data masukan yang digunakan dalam model ini adalah prediksi kebutuhan material kemasan dari seluruh produk, yang merupakan keluaran dari Model *Material Requirements Planning II*, serta data

biaya pemesanan dan penyimpanan dari setiap *item* material kemasan.

Dari hasil perhitungan Model Manajemen *Inventory* Kemasan diperoleh hasil sebagai berikut: Biaya pemesanan dan penyimpanan seluruh material kemasan sepanjang tahun 2008 adalah sebesar Rp. 1.274.173,-, biaya *inventory*-nya sebesar Rp. 2.548.346,-, dan total biaya *inventory*-nya (termasuk biaya pembelian) sebesar Rp. 477.336.319,-.

Model Rute Pengiriman

Model Rute Pengiriman digunakan untuk menentukan rute pengiriman terpendek bagi truk-truk distribusi yang mengantarkan produk sayuran ke konsumen. Tujuannya adalah meminimumkan biaya pemakaian bahan bakar solar dan meminimumkan waktu pengiriman.

Persoalan penentuan rute pengiriman terpendek merupakan persoalan *Traveling Salesman Problem* (TSP) yang bersifat *NP-Hard* (*Non-deterministic Poynomial*), artinya waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan persoalan ini akan semakin meningkat secara eksponensial seiring dengan bertambahnya jumlah elemen dalam persoalan tersebut (Bagchi, 1999).

Persoalan penentuan rute pengiriman terpendek di optimasi menggunakan Algoritme Genetika. Fungsi *fitness* dalam Algoritme Genetika adalah total jarak tempuh rute pengiriman dalam Model Rute Pengiriman adalah sebagai berikut:

$$TJRK = \left(\sum_{i=1}^{n-1} JRK(\text{Lokasi } X_i, \text{Lokasi } X_{i+1}) \right) + JRK(\text{Lokasi } X_1, \text{Lokasi } X_n)$$

Dengan syarat:

(Lokasi $X_i \neq$ Lokasi X_{i+1}) dan (Lokasi $X_1 \neq$ Lokasi X_n)

Dimana:

- TJRK = Total Jarak Tempuh
- n = Jumlah lokasi pengiriman
- X = Himpunan bilangan dengan kombinasi $n!$

i = Bilangan ke- i pada himpunan X

Lokasi X_i = Menunjukkan Lokasi ke- X

Misalnya:

Jika $X = \{2,3,1\}$ dan $i=2$ maka Lokasi X_i = Lokasi 3
 $JRK(\text{Lokasi } X_i, \text{Lokasi } X_{i+1})$ = Jarak antara Lokasi X_i dengan Lokasi X_{i+1}

Representasi kromosom yang digunakan dalam Model Rute Pengiriman adalah *path representation chromosome*, dimana setiap gen dalam kromosom memiliki sebuah nilai yang merepresentasikan sebuah lokasi pengiriman (Goldberg, 1989). Setiap gen dalam kromosom dilarang memiliki nilai yang sama. Berikut ini adalah contoh representasi kromosom untuk persoalan TSP dengan 10 lokasi pengiriman.

Pada contoh Gambar 9, kromosom tersebut merepresentasikan rute pengiriman dengan urutan pengiriman: Lokasi 5-Lokasi 3-Lokasi 10-Lokasi 7-Lokasi 4-Lokasi 1-Lokasi 9-Lokasi 6-Lokasi 8-

Lokasi 2. Panjang kromosom tergantung kepada banyaknya jumlah lokasi pengiriman. Pada contoh di atas, terdapat 10 lokasi pengiriman, sehingga panjang kromosomnya terdiri dari 10 gen.

5	3	10	7	4	1	9	6	8	2
---	---	----	---	---	---	---	---	---	---

Gambar 9. Representasi Kromosom untuk Menyelesaikan Persoalan TSP pada Model Rute Pengiriman

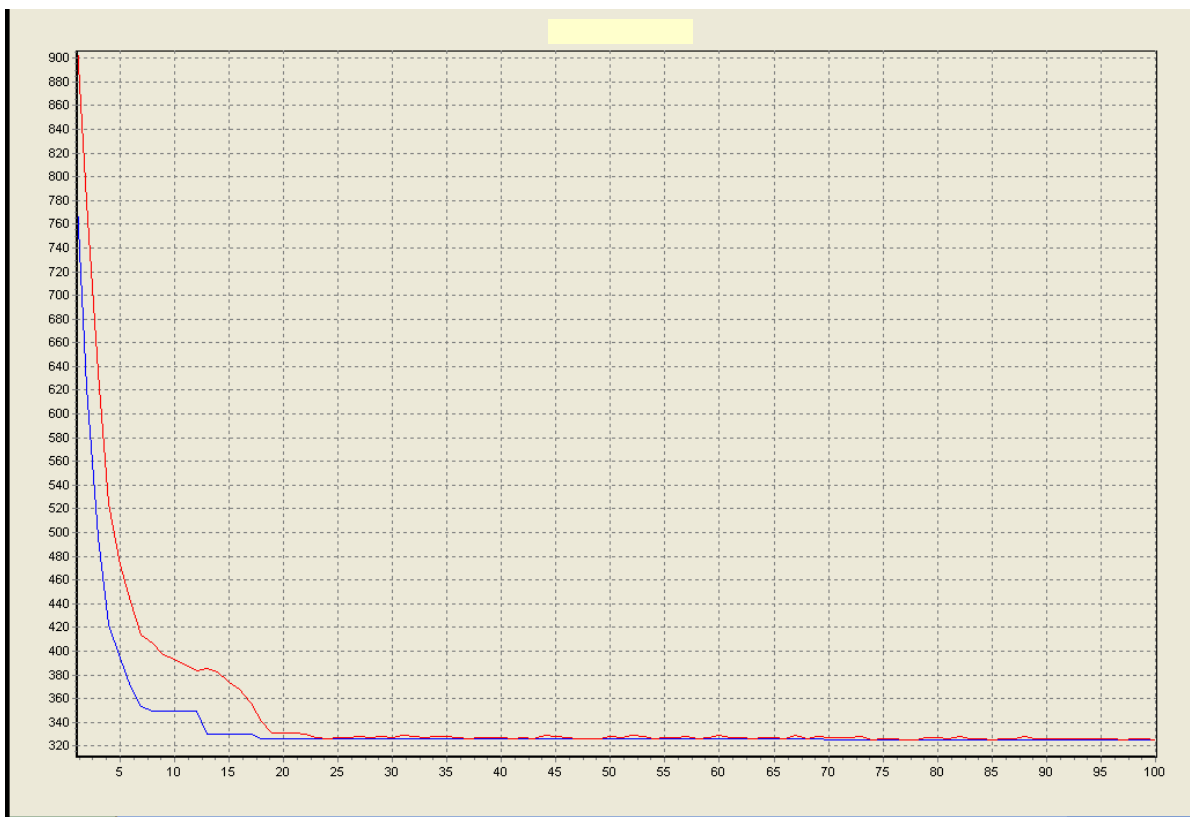
Hasil eksekusi Model Rute Pengiriman disajikan dalam 2 buah grafik. Gambar 10 menunjukkan grafik nilai *fitness* rata-rata dan nilai *fitness* minimum dari generasi pertama sampai generasi maksimum dengan metode *Edge Recombination Crossover* (ERX), sedangkan Gambar 11 menunjukkan grafik nilai *fitness* rata-rata dan nilai *fitness* minimum dari generasi pertama sampai generasi maksimum dengan metode *Partially Match Crossover* (PMX).

Metode ERX dan PMX merupakan proses pindah silang yang terdapat dalam GA. Proses pindah silang sama halnya dengan proses seleksi yaitu mengambil nilai acak sederhana. Pindah silang merupakan komponen paling penting dalam GA pada proses genetik (Gen dan Cheng 1997).

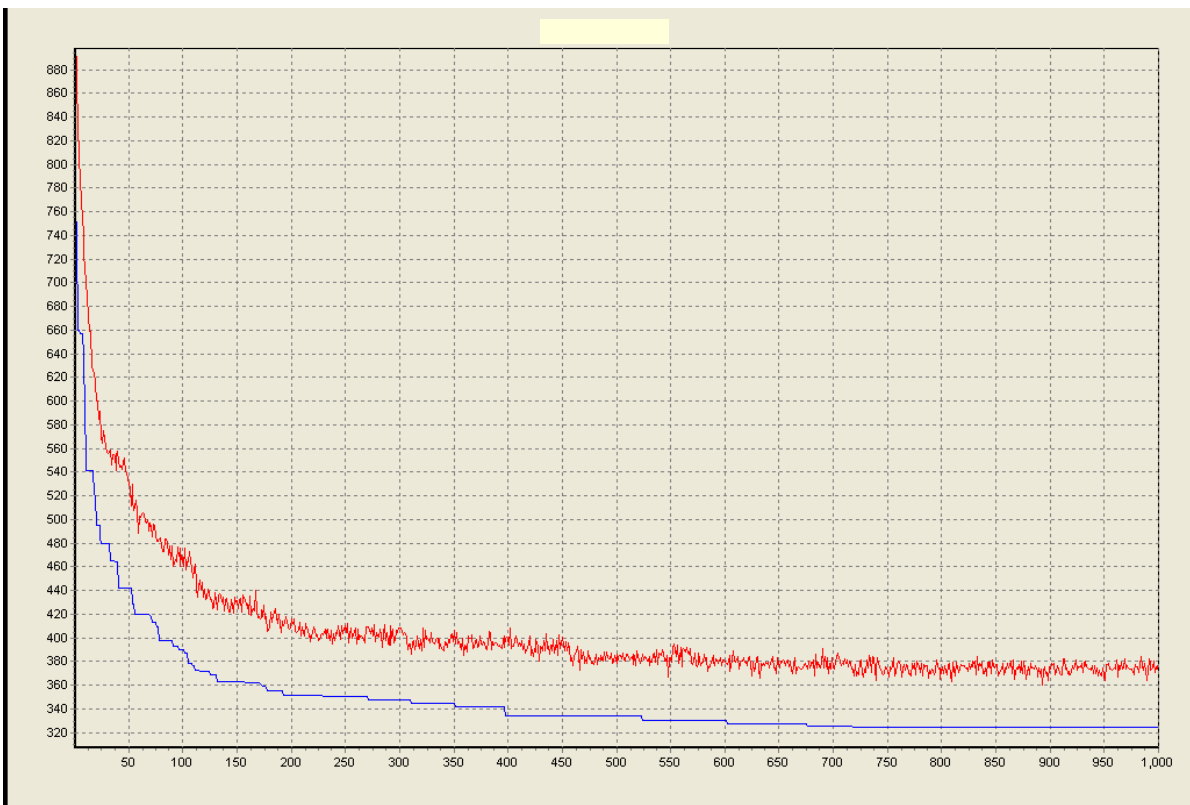
Berdasarkan verifikasi yang dilakukan terhadap metode penyilangan ERX dan PMX dengan parameter Algoritma Genetik yang sama, yaitu ukuran populasi=96, jumlah kromosom induk=32, dan peluang mutasi=5%, maka diperoleh hasil sebagai berikut:

- Dengan jumlah generasi maksimum=100, metode penyilangan ERX mampu mencapai solusi optimum pada generasi ke 70 yaitu sebesar 325 km. Total waktu yang dibutuhkan untuk eksekusi Algoritma Genetik adalah 25 detik dengan kecepatan evaluasi nilai *fitness* per kromosom sebesar 0,0026042 detik.
- Dengan jumlah generasi maksimum=1000, metode penyilangan PMX mampu mencapai solusi optimum pada generasi ke 718 yaitu sebesar 325 km. Total waktu yang dibutuhkan untuk eksekusi Algoritma Genetik adalah 2 menit 10 detik dengan kecepatan evaluasi nilai *fitness* per kromosom sebesar 0,0013542 detik.

Metode PMX memiliki dua titik potong secara *random* yang akan ditukar dengan induk lainnya. Pertukaran antar induk akan menghasilkan keturunan yang mempertahankan urutan dan posisi sel induk (Michalewicz, 1996). Sehingga terbukti kecepatan metode PMX lebih cepat 1,9 kali dibandingkan metode ERX. Akan tetapi, jumlah generasi yang dibutuhkan PMX untuk menemukan solusi optimum jauh lebih besar, sehingga total waktu yang dibutuhkan lebih lama dibandingkan dengan metode ERX. Oleh sebab itu dapat disimpulkan bahwa metode penyilangan ERX lebih efisien dalam menemukan solusi optimal dibandingkan dengan metode PMX.



Gambar 10. Grafik nilai *fitness* rata-rata dan minimum dari tiap generasi dengan Metode ERX



Gambar 11. Grafik nilai *fitness* rata-rata dan minimum dari tiap generasi dengan Metode PMX

Metode PMX memiliki dua titik potong secara *random* yang akan ditukar dengan induk lainnya. Pertukaran antar induk akan menghasilkan keturunan yang mempertahankan urutan dan posisi

sel induk (Michalewicz, 1996). Sehingga terbukti kecepatan metode PMX lebih cepat 1,9 kali dibandingkan metode ERX. Akan tetapi, jumlah generasi yang dibutuhkan PMX untuk menemukan

solusi optimum jauh lebih besar, sehingga total waktu yang dibutuhkan lebih lama dibandingkan dengan metode ERX. Oleh sebab itu dapat disimpulkan bahwa metode penyilangan ERX lebih efisien dalam menemukan solusi optimal dibandingkan dengan metode PMX.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

IDSS_SCM dapat membantu pengguna untuk mengelola rantai pasokan pada agroindustri hortikultura selama rentang waktu satu tahun ke depan. Penerapan algoritma genetika dalam IDSS_SCM membantu sistem untuk menghasilkan informasi yang berkualitas dalam waktu yang relatif singkat.

Hasil optimasi dengan Algoritma Genetika menunjukkan bahwa biaya perencanaan yang optimal untuk perencanaan agregat (TCTK) adalah sebesar 153.915.400. Sedangkan untuk optimasi jarak tempuh, algoritma genetika dengan operasi ERX (Edge Recombination Crossover) menghasilkan jarak tempuh minimal sebesar 325 km. Hasil ini menunjukkan bahwa algoritma genetika dapat menyelesaikan masalah optimasi yang tergolong sulit dengan baik dan efisien.

Berdasarkan verifikasi maka diketahui bahwa metode penyilangan kromosom yang lebih efisien untuk menyelesaikan persoalan *Traveling Salesman Problem* pada model rute pengiriman adalah *Edge Recombination Crossover* (ERX).

Saran

Untuk penelitian lebih lanjut disarankan untuk menggunakan algoritma genetika dengan tujuan jamak (*multi-objective genetic algorithms*) untuk optimasi jaringan rantai pasok.

DAFTAR PUSTAKA

- Apaiiah R.K. dan E.M.T. Hendrix. 2004. Design of a supply chain network for pea-based novel protein foods, *Journal of Food Engineering* (available online at <http://www.sciencedirect.com>).
- Bagchi dan P. Tapan. 1999. *Multiobjective Scheduling By Genetic Algorithms*. United States of America: Kluwer Academic Publishers.
- Brycesson K.P. dan C.S. Smith. 2008. Abstraction and Modelling of Agri-food Chains as Complex Decision Making Systems, paper prepared for presentation at the 110th EAEE Seminar on 'System Dynamics and Innovation in Food Networks' Innsbruck-Igls, Austria.
- Chopra S. dan P. Meindl. 2004. *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. United States of America: Pearson Prentice Hall, Inc.
- De Jong K.A. 2006. *Evolutionary Computation: A Unified Approach*. MIT Press, Cambridge.
- Dhar V. dan R. Stein. 1997. *Intelligence Decision Support Methods: The Science of Knowledge Work*. United States of America: Pearson Prentice Hall, Inc.
- Gen M. dan R. Cheng. 1997. *Genetic Algorithm and Engineering Design*. John Wiley & Sons, Inc.
- Goldberg D.E. 1989. *Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning*. Addison-Wesley, Reading, MA.
- Haupt R.L. dan S.E. Haupt. 2004. *Practical Genetic Algorithms*. New Jersey : John Willey.
- Heizer J. dan R. Barry. 2004. *Principles of Operations Management (fifth edition)*. United States of America: Pearson Education, Inc.
- Levy D.S., P. Kaminsky, dan S.L. Edith. 2000. *Designing and Managing the Supply Chain*. Singapore: Mc. Graw Hills Book Co.
- Mardle S. dan S. Pascoe. 2000. Use of evolutionary methods for bioeconomic optimization models: an application to fisheries. *Journal Agricultural System* 66 : 33-49.
- Marimin. 2004. Teknik dan Aplikasi Pengambilan Keputusan Kriteria Majemuk. Grasindo, Jakarta.
- Matthews K.B., K. Buchan, A.R. Sibbald, dan S. Craw. 2005. Combining deliberative and computer-based methods for multi-objective land-use planning, *Journal of Agricultural Systems* (available online at <http://www.sciencedirect.com>).
- Mayer D.G., J.A. Belward, dan K. Burrage. 2001. Robust parameter settings of evolutionary algorithms for the optimisation of agricultural systems models, *Journal of Agricultural Systems* 69 : 199-213.
- Michalewicz Z. 1996. *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*. United States of America: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Owais S.S.J., P. Kromer, dan V. Snasel. 2005. *Query Optimization by Genetic Algorithm*. [ftp.informatik.rwth-aachen.de /Publications/CEUR-WS/Vol-129/paper16.pdf](ftp.informatik.rwth-aachen.de/Publications/CEUR-WS/Vol-129/paper16.pdf) [3 Juli 2008].
- Russel R.S. dan B.W.Taylor 2006. *Operations Management*. United States of America: John Wiley & Sons, Inc.
- Sarker R. dan T. Ray. 2009. An improved evolutionary algorithm for solving multi-objective crop planning models. *Computers and Electronics in Agriculture* 68 : 191-199.
- Shapiro J.F. 2001. *Modeling the Supply Chain*. Duxbury, USA.
- Stewart T.J, R. Janssen, dan M. van Herwijnen. 2004. A genetic algorithm approach to multiobjective land use planning, *Journal of Computers and Operations Research* 31 : 2293-2313.

Taylor III B.W. 2007. Introduction to Management Science, 9th Edition, Pearson Education.
Turban E. dan J.R. Meredith. 1991. *Fundamentals of Management Science-5th ed.* IRWIN Homewood IL, Boston.

Zhang C, Y. Tang, Y. Zhao, dan H.Zhineng. 2009. An fuzzy multi-objective model on paddy circular economy System. *World Journal of Modelling and Simulation*, 5 (4) : 295-301.