

**SISTEM PENUNJANG KEPUTUSAN CERDAS UNTUK PENCARIAN JALUR OPTIMUM RANTAI PASOK BIOENERGI BERBASIS KELAPA SAWIT DENGAN MENGGUNAKAN METODE OPTIMASI KOLONI SEMUT**

***INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEMS FOR SEARCHING THE OPTIMUM PALM OIL BASED BIO-ENERGY SUPPLY CHAIN BY USING ANT COLONY OPTIMIZATION METHOD***

**Ditdit N. Utama<sup>1)\*</sup>, Taufik Djatna<sup>2)</sup>, Erliza Hambali<sup>2)</sup>, Marimin<sup>2)</sup>, Dadan Kusdiana<sup>3)</sup>**

<sup>1)</sup>Jurusan Sistem Informasi Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Jakarta  
Jl. Ir. H. Juanda No. 95, Ciputat Jakarta Selatan  
Email: ditditn@hotmail.com

<sup>2)</sup>Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor

<sup>3)</sup>Kementrian Sumber Daya Energi dan Mineral, Direktorat Konservasi Energi dan Energi Terbarukan  
Jakarta

***ABSTRACT***

*Main backgrounds of developing model of intelligent decision support systems, for searching the most optimum supply path in palm oil based bio-energy supply chain management, are importance of supply chain management concept implementation in doing business activities that involve more than one companies; importance of palm oil based bio-energy management availability; and difficulty of management and searching of the most optimum path of perishable product supply chain. The objectives of this paper were the explanation of setting optimum value and searching the most optimum path of palm oil based bio-energy supply chain. The method used in this paper was combination of Balance Score Card (BSC), Supply Chain Operation Reference (SCOR), and ant colony optimization (SCO) methods. On the other hand, this paper explained the model suggestion of the most optimum path and comparison of developed model with the common model (shortest path). In conclusion, the developed model gave more optimum result than shortest path method. Furthermore, the model could show the optimum value that was generated from supply chain perspectives. It was better than shortest path method. Whereas, the shortest path method showed only the shortest path that involved only one variable, distance. Finally, the paper suggested that combination of the fuzzy and ant colony optimization method research was needed to do.*

*Keywords: palm oil based bio-energy, intelligent decision support system, optimum path, supply chain management, ant colony optimization*

***ABSTRAK***

Pentingnya penerapan konsep manajemen rantai pasok pada aktivitas bisnis yang melibatkan lebih dari satu jenis perusahaan, pentingnya keberadaan pengelolaan bioenergi berbasis kelapa sawit, serta sulitnya penanganan dan penentuan jalur teroptimum dalam sebuah jaringan rantai pasok produk yang bersifat perishable, menjadi latar belakang utama dikembangkannya model sistem penunjang keputusan cerdas untuk pencarian jalur teroptimum pada manajemen rantai pasok bioenergi berbasis kelapa sawit. Tujuan dari paper ini adalah untuk menjelaskan penentuan nilai optimum serta pencarian jalur optimum dari rantai pasok bioenergi berbasis kelapa sawit. Penggunaan metode *Balance Score Card (BSC)* serta *Supply Chain Operations Reference (SCOR)* yang dikombinasikan dengan metode optimisasi koloni semut (*ant colony optimization*) adalah merupakan metode-metode yang digunakan di dalam pengembangan model ini. Selain itu, paper ini menjelaskan pilihan model mengenai jalur teroptimum yang harus dipilih, serta perbandingan antara metode optimisasi koloni semut dengan metode yang banyak digunakan, yaitu metode *shortest path*. Kesimpulan mengatakan bahwa model yang dikembangkan mampu menunjukkan nilai optimum yang diproses dari beberapa perspektif rantai pasok. Model ini lebih baik jika dibandingkan dengan metode *shortest path*. Di mana, metode *shortest path* hanya menunjukkan jalur terpendek yang melibatkan hanya satu variabel, yaitu jarak. Kombinasi metode *fuzzy* dengan metode optimisasi koloni semut adalah merupakan saran penelitian berikutnya.

Kata kunci: bioenergi berbasis kelapa sawit, sistem penunjang keputusan cerdas, manajemen rantai pasok, jalur optimum, optimisasi koloni semut

## PENDAHULUAN

Bioenergi dapat didefinisikan sebagai energi yang diperoleh/dibangkitkan/berasal dari biomassa. Sedangkan biomassa itu sendiri adalah bahan-bahan organik berumur relatif muda dan berasal dari tumbuhan/hewan, produk dan limbah industri budidaya (pertanian, perkebunan, kehutanan, peternakan, perikanan) (Soerawidjaja, 2011). Selain itu biomassa dapat diartikan sebagai bahan-bahan asal biologis, yang tertanam dalam formasi geologi, dan ditransformasikan ke fosil, seperti tanaman energi, limbah pertanian, kehutanan dan produk samping, pupuk kandang atau *biomassa* mikroba (FAO-UN, 2010). Sejalan dengan harga minyak berbasis fosil dunia yang terus meningkat di beberapa tahun terakhir ini, serta terus berkurangnya cadangan minyak fosil dunia, memungkinkan permintaan akan energi terbarukan terus meningkat. Energi terbarukan menjadi sebuah energi yang sangat potensial untuk menggantikan energi fosil (Tan *et al.*, 2007).

Permasalahan keamanan energi, harga minyak bumi yang tinggi, menurunnya cadangan minyak bumi, serta perubahan iklim global di masa yang akan datang, memungkinkan bioenergi mampu menggantikan peran dari bahan bakar berbasis fosil ini (Khanna *et al.*, 2010). Keberlangsungan dan ketersediaan energi sangatlah penting untuk mendukung semua aktivitas di dunia. Lebih lanjut dari itu semua, keberlangsungan (*sustainability*) merupakan prinsip kunci dari manajemen sumber daya alam (Richardson dan Verwijst, 2005). Prinsip tersebut menjadi lebih penting, karena energi berbasis fosil akan hilang dalam beberapa waktu ke depan. Kondisi ini berfungsi untuk merubah fungsi bioenergi menjadi fungsi komersial.

Di sisi lain, Indonesia sangat kaya akan sumberdaya bahan baku kelapa sawit, di mana kelapa sawit adalah salah satu bahan baku bioenergi yang potensial. Departemen Industri Indonesia mengatakan bahwa Indonesia telah memproduksi kurang lebih 18,8 Juta Ton CPO dan 1,93 Juta Ton PKO per tahunnya (IDI, 2009). Data tersebut berarti bahwa Indonesia memenuhi lebih dari 45% kebutuhan dunia akan CPO dan memenuhi lebih dari 40% kebutuhan dunia akan PKO.

Indonesia dapat memproduksi CPO sebagai produksi primer sebesar US\$ 7,6 Milyar. Selain itu, semua bagian dari kelapa sawit dapat menjadi potensi bahan baku bioenergi, seperti tandan buah segarnya, cangkangnya, limbah cairnya, atau produk olahan selanjutnya dari tandan buah segar, seperti CPO dan PKO. Karena kelapa sawit merupakan produk *perishable*, maka manajemen rantai pasok sangat dibutuhkan SBRC-BAU (2009).

Manajemen Rantai Pasok adalah salah satu isu dari berbagai jenis permasalahan di dunia manajemen teknologi energi. Rantai Pasok dapat didefinisikan sebagai jaringan organisasi, aliran, dan

proses, dimana di dalamnya terlibat sejumlah perusahaan, seperti supplier, pabrik, distributor dan retailer, yang bekerja sama sepanjang rantai nilai untuk mendapatkan bahan baku, mengkonversi bahan baku menjadi barang jadi, serta mengirim barang jadi ke pelanggan akhir (Ivanov dan Sokolov, 2010). Esensi dari Manajemen Rantai Pasok adalah koordinasi produksi, inventori, lokasi dan transportasi antara pelaku di dalam rantai pasok untuk mendapatkan paduan tanggung jawab dan efisiensi terbaik pada pasar yang mereka lakukan (Hugos, 2006). Di dalam pengertian lain, Manajemen Rantai Pasok dapat didefinisikan sebagai kegiatan manajemen untuk mengelola seluruh rantai aliran bahan baku, proses pabrik, pembuatan produk, dan distribusi barang jadi ke pelanggan akhir (Potocan, 2009). Di dalam Rantai Pasok, khususnya pasokan bioenergi, ada lebih dari satu perusahaan yang terlibat. Ini merupakan salah satu alasan, mengapa manajemen rantai pasok menjadi sebuah bidang kajian penelitian yang sangat menarik.

Tulisan ini pengidentifikasian model Sistem Penunjang Keputusan Cerdas (SPKC) untuk pencarian jalur teroptimum di dalam Manajemen Rantai Pasok Bioenergi berbasis kelapa sawit dilakukan. Pada umumnya, jalur optimum yang dimaksud adalah jalur terpendek (berbasis jarak). Sedangkan di dalam paper ini, dengan menggunakan metode *Ant Colony Optimization* (ACO) (Dorigo dan Stutzle, 2004) ditunjukkan bahwa pencarian jalur optimum yang dimaksud tidak saja berdasarkan jarak terpendek, namun juga dapat melibatkan berbagai variabel pengukuran kinerja lainnya. Karena alasan itulah, metode utama tersebut (ACO) dikombinasikan dengan perhitungan beberapa variabel kinerja seperti variabel dasar, perspektif SCOR, variabel *added value* dan biaya transportasi, untuk mendapatkan perhitungan kinerja rantai pasok teroptimum.

SPKC merupakan SPK yang dirancang dan dibangun dengan melibatkan beberapa teknik dan metode pemodelan di dalam pengembangannya. SPK cerdas adalah SPK yang perancangan dan pengembangannya menggunakan satu atau lebih teknik berbasis kecerdasan buatan, seperti: *Artificial Neural Networks*, *Evolutionary Computing*, *Fuzzy-System*, *Case-Based Reasoning*, dan *Agent-Based System* (Lim dan Jain, 2010).

Penelitian di bidang Sistem Penunjang Keputusan Cerdas telah banyak dilakukan oleh para peneliti, di antaranya: Yingzhuo dan Liupeng (2010) melakukan penelitian di bidang visualisasi SPKC; Yin dan Li (2010) melakukan pengembangan SPKC untuk memonitor jembatan; Yang (2010) melakukan pengembangan SPKC untuk bidang *water dispatching*; Weihong dan Jinkai (2010) membuat SPKC berbasis JADE di bidang *maritime search and rescue*; Wang (2010) melakukan penelitian pada SPKC berbasis teknologi data *warehouse*; Sianaki *et*

al. (2010) mengimplementasikan SPKC di bidang energi; Qiang dan Liu (2010) melakukan penelitian dengan menggunakan *multi agent* sebagai metode untuk mengembangkan SPKC; atau di bidang keamanan pangan, (Omran *et al.*, 2010) mencoba mengimplementasikan SPKC.

Masih di tahun yang sama, penelitian SPKC telah banyak dibahas, yaitu: (Noor *et al.*, 2010) melakukan penelitian di bidang pencarian rute turis tercepat; (Li dan Yu, 2010) melakukan penelitian di bidang *Railway Rescue Command System*; (Li *et al.*, 2010) menerapkan SPKC untuk *Comprehensive Utilization* pada bidang *Tailings* dan *Waste Rocks*; atau (Jiang *et al.*, 2010) menerapkan SPKC untuk bidang *quality control*.

Selain itu, Gu (2010) melakukan penelitian di bidang *multilayer distributed intelligent decision support system* untuk *regional economy*; Ding (2010) menggunakan SPKC untuk bidang keamanan; dan Bykov *et al.* (2010) menggunakan *multi-agent resource* di dalam pemodelan SPKC; atau Bo-Ping dan Xianhong (2010) meneliti di bidang *programming* untuk SPKC; serta Badr (2010) telah melakukan penelitian di bidang perancangan arsitektur SPKC berbasis *agent*.

Posisi penelitian ini di antara penelitian-penelitian lain, dapat dilihat dari kombinasi berbagai macam aspek, di antaranya adalah: aspek obyek penelitian, aspek metodologi, dan aspek komoditas yang dikaji. Di dalam aspek obyek penelitian, aspek rantai pasok adalah rantai pasok khusus untuk *perishable product*. Di dalam aspek metodologi, dilakukan kombinasi dua jenis metode, metode khusus untuk kasus *searching*, *patching*, *distribution*, *data processing*, dan *computational intelligence*, yang dikombinasikan dengan metode perhitungan kinerja rantai pasok lainnya. Untuk aspek komoditas, dipilih komoditas yang sangat populer yaitu kelapa sawit.

Hasil penelitian ini sangat berkontribusi besar pada manajemen rantai pasok bioenergi berbasis kelapa sawit secara umum, yang memiliki karakteristik khusus seperti musiman, kamba, dan mudah rusak. Karena, pemilihan jalur teroptimum dari sebuah jalur rantai pasok, akan sangat berimbas besar pada biaya, waktu, kualitas manajemen, dan produk itu sendiri. Variabel yang digunakan di dalam penentuan jalur teroptimum tidak hanya berdasarkan jalur terpendek dan biaya transportasi, yang dapat langsung berimbas pada biaya dan waktu, juga berdasarkan pada: kualitas produk; kualitas finansial elemen rantai pasok; manajemen sumber daya manusia; kualitas mesin; metode pengelolaan limbah, yang akan berdampak positif pada lingkungan sekitarnya; termasuk variabel nilai tambah, sebagai representasi keseimbangan keuntungan di dalam sebuah rantai pasok.

## METODE PENELITIAN

### Kerangka Penelitian

Landasan pikir utama penelitian ini adalah pembuatan model cerdas untuk menentukan jalur teroptimum di dalam sebuah rantai pasok. Tahapan pertama yang dilakukan di dalam penelitian ini adalah bagaimana gambaran rantai pasok yang akan menjadi objek kajian itu bisa dipahami, dengan melakukan penentuan *partner* bisnis yang terlibat di dalam rantai pasok, serta mencoba untuk menggambarkan jaringan rantai pasok tersebut.

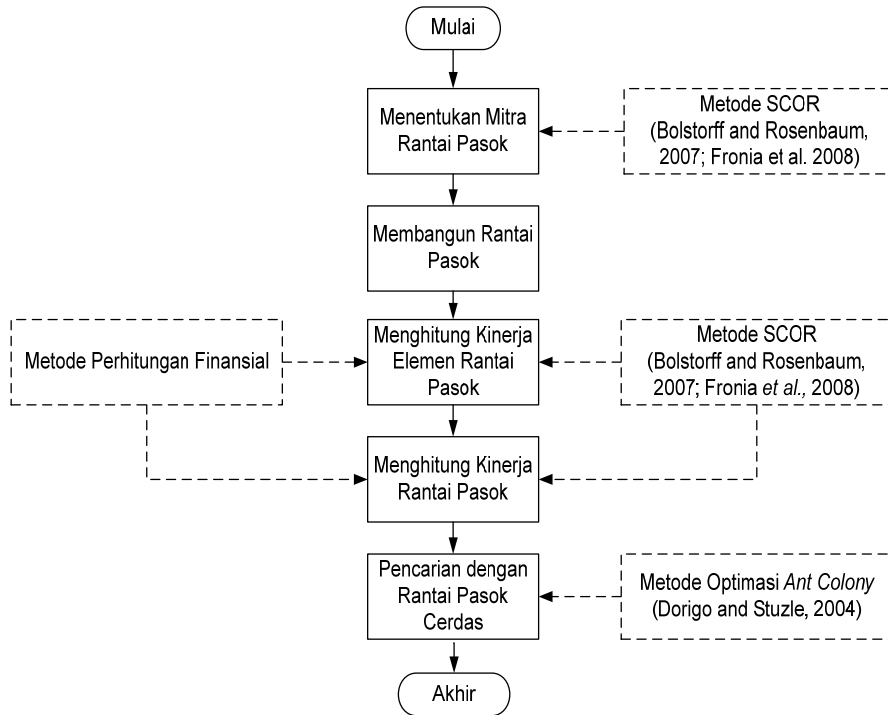
Selanjutnya perhitungan kinerja elemen rantai pasok dan kinerja rantai pasok itu sendiri dilakukan, berdasarkan jalur yang mungkin dilalui, dari hulu ke hilir. Kemudian dengan mengembangkan model, pencarian rantai pasok teroptimum dapat dilakukan pada tahap berikutnya (Gambar 1).

### Tata Laksana Penelitian

Selain melakukan observasi, survey dan studi literatur, di dalam membuat pemetaan jaringan rantai pasok yang digunakan di dalam kajian penelitian ini, metode *Supply Chain Operations Reference* (SCOR) (Bolstorff dan Rosenbaum, 2007; Fronia *et al.* 2008) pun digunakan. Observasi dan survey dilakukan di Provinsi Riau, khususnya di Kawasan Industri Dumai (KID), Dinas Perkebunan, serta para petani dan pengumpul Kelapa Sawit.

Metode SCOR (untuk perspektif Perencanaan, Pengadaan, Proses, Pengiriman dan Kirim Balik) ini pun digunakan di dalam perhitungan kinerja elemen rantai pasok dan kinerja rantai pasok itu sendiri, selain metode perhitungan finansial (untuk menghitung NPV, BC ratio dan IRR), sedangkan metode utama yang digunakan di dalam pembuatan model pencarian rantai pasok cerdas adalah metode ACO (Dorigo dan Stutzle, 2004) dan metode Orientasi Objek (Booch *et al.*, 2007) untuk memodelkan serta mendokumentasikan model sistem penunjang keputusan cerdas.

ACO adalah *meta-heuristic* di mana koloni semut tiruan bekerjasama di dalam penyelesaian masalah pencarian makanan untuk permasalahan optimasi diskrit yang sangat rumit. Kerjasama disini menjadi komponen kunci untuk perancangan algoritma ACO, pilihannya adalah menempatkan sumber daya komputasional untuk menentukan agen-agen sederhana (dalam hal ini semut tiruan) yang berkomunikasi secara tidak langsung dengan difasilitasi oleh lingkungan. Solusi terbaik adalah munculnya properti dari interaksi para agen (Dorigo dan Stutzle, 2004).



Gambar 1. Kerangka pemikiran konseptual penelitian

Ada banyak alasan, mengapa banyak penelitian menggunakan metode ACO dibandingkan dengan metode lain untuk beberapa kasus. Misalnya, pada kasus pencarian (*searching case*), ACO lebih memiliki kinerja yang lebih efektif dibandingkan dengan *Genetic Algorithm* (Tao *et al.*, 2007). Selain itu, Naeini *et al.* (2009) membandingkan antara ACO dan GA pada kasus optimasi strategi mitigasi. Mereka menyimpulkan bahwa ACO lebih kuat dan efisien dibandingkan dengan GA. Lebih lanjut, masih di dalam kasus pencarian, ACO memiliki solusi yang lebih baik jika dibandingkan dengan algoritma *Simulated Annealing* (SA) (Ismail dan Loh, 2009).

Metode perancangan berorientasi objek dapat membantu untuk memahami dekomposisi objek. Dengan metode ini, para pengembang *software* dapat membuat *software* yang mudah untuk ditulis dengan menggunakan notasi yang sama secara lebih ekonomis (Booch *et al.*, 2007). Pengembangan *software* dengan model objek, menekankan pada prinsip-prinsip: abstraksi, enkapsulasi, modularitas, berjenjang, *typing*, konkurasi dan ketepatan, yang kesemua elemen tersebut dibawa secara bersama secara sinergi.

## PENGEMBANGAN SISTEM PENUNJANG KEPUTUSAN CERDAS

### Kerangka Model

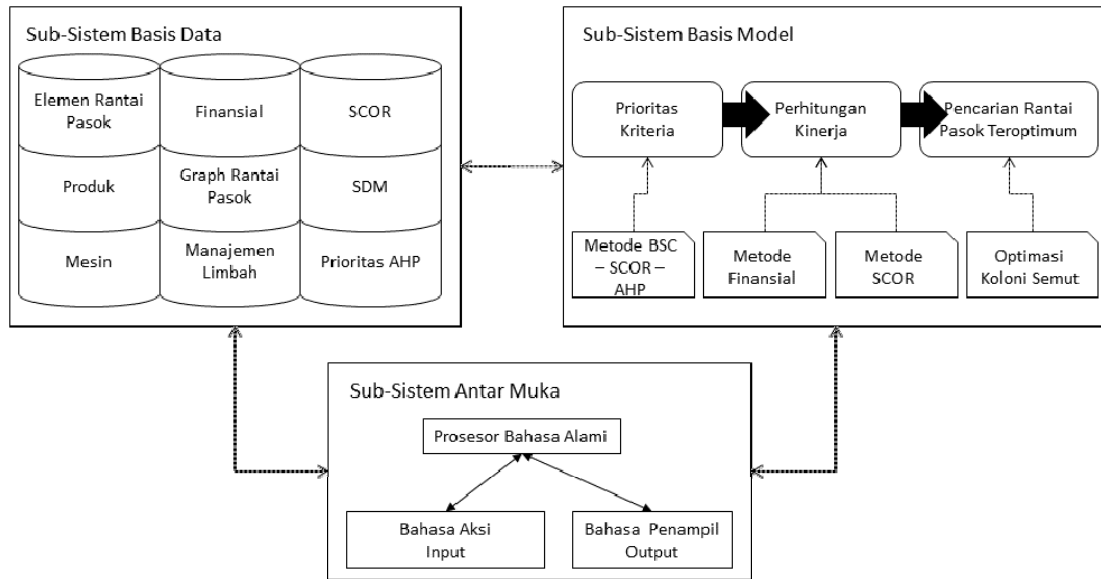
Sistem Penunjang Keputusan Cerdas terdiri dari tiga sub-sistem, yaitu: basis data, basis model,

dan antar muka (Gambar 2). Sembilan kelompok jenis data yang digunakan di dalam sistem ini adalah data mengenai: elemen rantai pasok, finansial, SCOR, produk, graph rantai pasok, SDM, mesin, manajemen limbah dan prioritas AHP.

Model-model yang digunakan di dalam sistem ini adalah prioritas kriteria, perhitungan kinerja rantai pasok dan pencarian rantai pasok teroptimum. Metode yang terlibat di dalam model ini adalah metode BSC-SCOR-AHP, Finansial, SCOR, dan Optimasi Koloni Semut. Model utama dari sistem ini ada pada model pencarian rantai pasok teroptimum, di mana metode optimasi koloni semut menjadi metodenya.

### Pengembangan Model

Algoritma dasar yang digunakan adalah algoritma berbasis jarak. *Class Jarak* digunakan sebagai dasar algoritma pencarian. Tetapi, model yang dikembangkan menggunakan kriteria-kriteria lain yang lebih kompleks. Model ini tidak hanya menggunakan *class Jarak* sebagai item perhitungan dan pencarian, tetapi juga menggunakan item lain, seperti: Kinerja Rantai Pasok yang berhubungan dengan Kinerja Nilai Tambah, Kinerja Biaya Transportasi dan Kinerja Elemen Rantai Pasok. Kinerja Elemen Rantai Pasok berhubungan dengan 6 item yang lain: Kinerja Mesin, Kinerja Finansial, Kinerja SCOR, Kinerja SDM, Kualitas Produk dan Kinerja Manajemen Limbah.



Gambar 2. Kerangka model sistem penunjang keputusan cerdas

Jalur rantai pasok didefinisikan dengan menggunakan formula berbasis jarak. Formula berbasis jarak (di dalam KM) adalah sebuah rumus matematika yang menggunakan variabel jarak sebagai basis perhitungan.

$$KJ_C = J_C \times \left(1 - \left[\frac{\sum KVN_{C-1}}{\sum JV_{C-1}}\right]\right) \times (1 - \tau) \dots\dots\dots(1)$$

Atau dapat ditulis juga dengan menggunakan persamaan umum untuk minimalisasi fungsi tujuan:

$$f(J_C, KVN_{C-1}, JV_{C-1}, \tau) = J_C \times \left(1 - \left[\frac{\sum KVN_{C-1}}{\sum JV_{C-1}}\right]\right) \times (1 - \tau)$$

Di mana:

- $KJ_C$  = Kinerja Jalur Sekarang,  $KJ_C = \text{BilanganReal}$
- $J_C$  = Jarak Sekarang, sebagai dasar perhitungan,  $J_C = \text{BilanganReal}$
- $KVN_{C-1}$  = Kinerja Variabel Node Sebelumnya,  $0,00 \leq KVN_{C-1} \leq 1,00$
- $JV_{C-1}$  = Jumlah Variabel Sebelumnya,  $JV_{C-1} \geq 1,00$
- $\tau$  = Jumlah Pheromone,  $0,00 \leq \tau \leq 1,00$

Sedangkan pheromones ( $\tau$ ) dapat dijabarkan dengan menggunakan rumus yang tertera pada persamaan (2) (Dorigo dan Stutzle, 2004).

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

Di mana:

- $\tau_{ij}$  = Pheromones antara node i dan j
- $\tau_0$  = Pheromones awal
- $t$  = Node
- $\rho$  = Parameter, random antara 0 dan 1
- $\varepsilon$  = Penguapan

Ada tiga variabel yang digunakan di dalam perhitungan ini, yang digunakan untuk menghitung

kinerja jalur sekarang ( $KJ_C$ ), yaitu variabel jarak, kinerja elemen rantai pasok sebelumnya dan jumlah pheromones. Sedangkan untuk menghitung Kinerja Variabel Node Sebelumnya ( $KVN_{C-1}$ ), ada tiga variabel lain yang dihitung: Kinerja elemen rantai pasok sebelumnya ( $KERP_{C-1}$ ); kinerja nilai tambah elemen sebelumnya ( $KNT_{C-1}$ ); serta kinerja biaya transportasi sebelumnya ( $KBT_{C-1}$ ).

$$\sum KVN_{C-1} = KERP_{C-1} + KNT_{C-1} + KBT_{C-1} \dots\dots\dots(3)$$

**Kinerja Elemen Rantai Pasok**

Kinerja elemen rantai pasok ( $KERP_C$ ) tergantung 6 variabel kinerja lain: SCOR ( $KSCOR$ ), Finansial ( $KF$ ), mesin ( $KM$ ), sumber daya manusia ( $KSDM$ ), produk ( $KP$ ) dan manajemen limbah ( $KML$ ).

$$KERP_C = KSCOR + KF + KM + KSDM + KP + KML \dots\dots\dots(4)$$

Kinerja finansial yang digunakan di dalam persamaan (4) dibagi menjadi 3 kategori; rendah (0,50), sedang (0,70) dan tinggi (1,00), yang ditentukan berdasarkan nilai NPV, IRR, dan BC. Kinerja mesin / Performance of Machine ( $KM$ ) tergantung Nilai Mesin ( $NM$ ), dengan rumus pada persamaan (5).

$$KM = (NM_0) - [(NM_0)X(T_S - T_0)X(PN)] \dots\dots\dots(5)$$

Di mana:

- $NM_0$  = Nilai Mesin Awal
- $T_S$  = Tahun Sekarang
- $T_0$  = Tahun Awal
- $PN$  = Penurunan Nilai

Kinerja SCOR adalah variabel yang dihasilkan berdasarkan perhitungan nilai berbasis BSC – SCOR yang dijelaskan pada persamaan (6).

$$KSCOR = \frac{KP_P + KP_{PN} + KP_{PR} + KP_{PK} + KP_{KK}}{5} \dots\dots\dots (6)$$

Di mana:

- $KP_P$  = Kinerja Perspektif Perencanaan
- $KP_{PN}$  = Kinerja Perspektif Pengadaan
- $KP_{PR}$  = Kinerja Perspektif Proses
- $KP_{PK}$  = Kinerja Perspektif Pengiriman
- $KP_{KK}$  = Kinerja Perspektif Kirim Kembali

**Kinerja Perspektif Perencanaan**

Kombinasi BSC – SCOR memungkinkan semua variabel SCOR dipetakan berdasarkan perspektif BSC. Oleh karena itu, variabel Perencanaan ini harus ditinjau dari 5 jenis perspektif BSC. Pertama adalah variabel perencanaan ditinjau dari perspektif BSC Finansial, di mana dapat dirumuskan seperti pada persamaan (7).

Jika variabel perencanaan ini ditinjau dari perspektif pelanggan, maka nilai kinerja perencanaannya dapat dilihat pada persamaan (8).

$$PoPL_F = \left[ \frac{\left( \frac{CoG_\tau}{CoG_\gamma} \right) + \left( \frac{CoC_\tau}{CoC_\gamma} \right) + \left( \frac{AVP_\gamma}{AVP_\tau} \right) + \left( \frac{RPC_\tau}{RPC_\gamma} \right) + \left( \frac{C2C_\tau}{C2C_\gamma} \right) + \left( \frac{ID_\tau}{ID_\gamma} \right)}{6} \right] X FP_{AHP} \dots\dots\dots (7)$$

Di mana:

- $PoPL_F$  = Kinerja Perencanaan Perspektif Keuangan
- $FP_{AHP}$  = Prioritas Perspektif Finansial pada AHP
- $CoG_\tau$  = Target Biaya Barang Terjual (Rupiah / Ton)
- $CoG_\gamma$  = Realisasi Biaya Barang Terjual (Rupiah / Ton)
- $CoC_\tau$  = Target Total Biaya Pengiriman (Rupiah / Ton)
- $CoC_\gamma$  = Realisasi Total Biaya Pengiriman (Rupiah /Ton)
- $AVP_\tau$  = Target Produktivitas Penambahan Nilai
- $AVP_\gamma$  = Realisasi Produktivitas Penambahan Nilai
- $RPC_\tau$  = Target Biaya Proses Pengembalian (Rupiah / Satu Kali Pengembalian)
- $RPC_\gamma$  = Realisasi Biaya Proses Pengembalian (Rupiah / Satu Kali Pengembalian)
- $C2C_\tau$  = Target Waktu Putar Modal (Hari)
- $C2C_\gamma$  = Realisasi Waktu Putar Modal (Hari)
- $ID_\tau$  = Target Waktu Inventori (Hari)
- $ID_\gamma$  = Realisasi Waktu Inventori (Hari)

$$PoPL_C = \left[ \frac{\left( \frac{DP_\gamma}{DP_\tau} \right) + \left( \frac{FR_\gamma}{FR_\tau} \right) + \left( \frac{POF_\gamma}{POF_\tau} \right) + \left( \frac{LT_\tau}{LT_\gamma} \right) + \left( \frac{RT_\tau}{RT_\gamma} \right)}{5} \right] X CP_{AHP} \dots\dots\dots (8)$$

Untuk rumus matematika kinerja pengiriman (DP), dapat dijabarkan seperti pada persamaan (9).

$$DP = \frac{(100KG - TG / 100KG) + (100KG - DG / 100KG)}{2} \dots\dots\dots (9)$$

Hubungan antara Kinerja Pengiriman, Status Barang Diterima (RS) dan Pemenuhan Order Sempurna dapat dijelaskan pada *rule base* berikut:

```

IF (DP == 1) AND (RS == 1) THEN
    POF = 1,00
ELSE IF (RS == 0) THEN
    POF = DP.
    
```

Di mana:

- $PoPL_C$  = Kinerja Perencanaan Perspektif Pelanggan
- $CP_{AHP}$  = Prioritas Perspektif Pelanggan pada AHP
- $DP_\tau$  = Target Kinerja Pengiriman
- $DP_\gamma$  = Realisasi Kinerja Pengiriman
- $FR_\tau$  = Target Rata-Rata Pemenuhan
- $FR_\gamma$  = Realisasi Rata-Rata Pemenuhan
- $POF_\tau$  = Target Pemenuhan Order Sempurna.
- $POF_\gamma$  = Realisasi Pemenuhan Order Sempurna
- $LT_\tau$  = Target Waktu Tunggu Pemenuhan Order (Hari)

- $LT_{\gamma}$  = Realisasi Waktu Tunggu Pemenuhan Order (Hari)
- $RT_{\tau}$  = Target Waktu Respon (Hari)
- $RT_{\gamma}$  = Realisasi Waktu Respon (Hari)
- $RS$  = Status Terima Barang Dikirim
- $TG$  = Total Selisih Jumlah Barang Diorder Dengan Diterima (KG)
- $DG$  = Selisih Hari Diterima Dengan Ditargetkan (KG)

Selanjutnya, adalah rumusan perhitungan kinerja perencanaan untuk perspektif BSC Proses Bisnis (BP). Rumus matematika perhitungan kinerja perencanaan untuk perspektif Proses Bisnis dapat dilihat pada persamaan (10).

$$PoPL_{BP} = \left[ \frac{(PF_{\tau}/PF_{\gamma}) + (SF_{\tau}/SF_{\gamma})}{2} \right] \times BPP_{AHP} \dots\dots\dots (10)$$

Di mana:

- $PoPL_{BP}$  = Kinerja Perencanaan Perspektif Proses Bisnis
- $BPP_{AHP}$  = Prioritas Perspektif Proses Bisnis pada AHP
- $PF_{\tau}$  = Target Fleksibilitas Produksi (KG)
- $PF_{\gamma}$  = Realisasi Fleksibilitas Produksi (KG)
- $SF_{\tau}$  = Target Waktu Awal sampai Akhir (Hari)
- $SF_{\gamma}$  = Realisasi Waktu Awal sampai Akhir (Hari)

Selanjutnya, masih di dalam perhitungan kinerja Perencanaan. Kinerja Perencanaan jika dilihat dari perspektif BSC Tumbuh dan Belajar (LG) dapat dijelaskan seperti pada persamaan (11).

$$PoPL_{LG} = \left[ \frac{AT_{\gamma}}{AT_{\tau}} \right] \times LGP_{AHP} \dots\dots\dots (11)$$

Untuk variabel Pengembalian Aset (AT) didapat dari perbandingan antara Total Kas Masuk dengan Total Modal Tetap. Seperti yang dirumuskan pada persamaan (12).

$$AT = \frac{\sum CI}{\sum FC} \dots\dots\dots (12)$$

Di mana:

- $PoPL_{LG}$  = Kinerja Perencanaan Perspektif Tumbuh dan Belajar
- $LGP_{AHP}$  = Prioritas Perspektif Tumbuh dan Belajar pada AHP
- $AT_{\tau}$  = Target Pengembalian Aset (Rupiah)
- $AT_{\gamma}$  = Realisasi Pengembalian Aset (Rupiah)
- $\sum CI$  = Total Kas Masuk (Rupiah)
- $\sum FC$  = Total Modal Tetap (Rupiah)

Akhirnya, nilai kinerja SCOR variabel Perencanaan ( $PoPL_{SCOR}$ ), dapat dijelaskan pada rumusan matematika pada persamaan (14).

$$PoPL_{SCOR} = \frac{PoPL_F + PoPL_G + PoPL_{BP} + PoPL_{LG}}{4} \times PoPL_{AHP} \dots\dots\dots (14)$$

**Kinerja Perspektif Pengadaan**

Untuk variabel SCOR pengadaan, perspektif BSC yang digunakan hanya dua: perspektif finansial dan pelanggan. Perspektif BSC finansial pada pengadaan hampir sama dengan pada perencanaan, namun hanya ada 4 variabel yang digunakan. Kinerja pengadaan untuk perspektif finansial tersebut dapat dirumuskan seperti pada persamaan (15).

$$PoSC_F = \left[ \frac{(CoP_{\tau}/CoP_{\gamma}) + (RPCS_{\tau}/RPCS_{\gamma}) + (C2C_{\tau}/C2C_{\gamma}) + (ID_{\tau}/ID_{\gamma})}{4} \right] \times FP_{AHP} \dots\dots\dots (15)$$

Di mana:

- $PoSC_F$  = Kinerja Pengadaan Perspektif Keuangan
- $FP_{AHP}$  = Prioritas Perspektif Finansial pada AHP
- $CoP_{\tau}$  = Target Biaya Barang Dibeli (Rupiah)
- $CoP_{\gamma}$  = Realisasi Biaya Barang Dibeli (Rupiah)
- $RPCS_{\tau}$  = Target Biaya Proses Pengembalian ke Supplier (Rupiah)
- $RPCS_{\gamma}$  = Realisasi Biaya Proses Pengembalian ke Supplier (Rupiah)
- $C2C_{\tau}$  = Target Waktu Putar Modal (Hari)
- $C2C_{\gamma}$  = Realisasi Waktu Putar Modal (Hari)
- $ID_{\tau}$  = Target Waktu Inventori (Hari)
- $ID_{\gamma}$  = Realisasi Waktu Inventori (Hari)

Begitu juga perspektif BSC pelanggan untuk variabel SCOR pengadaan, dapat menggunakan rumus yang sama. Hanya dilihat dari sisi pengadaan barang. Rumus umum kinerja pengadaan untuk persepektif pelanggan ( $PoSC_C$ ) adalah seperti pada persamaan (16).

$$PoSC_C = \left[ \frac{(DP_{\tau}/DP_{\gamma}) + (FR_{\tau}/FR_{\gamma}) + (POF_{\tau}/POF_{\gamma}) + (LT_{\tau}/LT_{\gamma}) + (RT_{\tau}/RT_{\gamma})}{5} \right] \times CP_{AHP} \dots\dots\dots (16)$$

Sehingga, nilai kinerja variabel SCOR variabel pengadaan ini dapat dirumuskan pada persamaan (17).

$$PoSC_{SCOR} = \frac{PoSC_F + PoSC_C}{2} \times PoSC_{AHP} \dots\dots\dots (17)$$

**Kinerja Perspektif Proses**

Penentuan kinerja variabel SCOR Transformasi, seperti halnya variabel Perencanaan, ditentukan berdasarkan empat perspektif BSC yang ada. Pada perspektif BSC keuangan / finansial, hanya empat variabel yang dipergunakan dengan rumus umum seperti pada persamaan (18).

$$PoPR_F = \left[ \frac{(CoPR_\tau / CoPR_\gamma) + (AVP_\gamma / AVP_\tau) + (FPC_\tau / FPC_\gamma) + (ID_\tau / ID_\gamma)}{4} \right] \times FP_{AHP} \dots\dots\dots (18)$$

Begitu juga perspektif BSC pelanggan untuk variabel SCOR Transformasi, dapat menggunakan rumus yang sama. Hanya dilihat dari sisi proses produksi saja, sehingga variabel yang digunakan pun hanya empat variabel. Selanjutnya, masih untuk variabel SCOR Transformasi, adalah rumusan perhitungan kinerja Transformasi untuk perspektif BSC Proses Bisnis (BP). Rumus matematika untuk perhitungan kinerja transformasi untuk perspektif Proses Bisnis dapat dilihat pada persamaan (19).

$$PoPR_{BP} = \left[ \frac{(PF_\tau / PF_\gamma) + (PT_\tau / PT_\gamma)}{2} \right] \times BPP_{AHP} \dots\dots\dots (19)$$

Di mana:

- $PoPR_{BP}$  = Kinerja Transformasi Perspektif Proses Bisnis
- $BPP_{AHP}$  = Prioritas Perspektif Proses Bisnis pada AHP
- $PF_\tau$  = Target Fleksibilitas Produksi (KG)
- $PF_\gamma$  = Realisasi Fleksibilitas Produksi (KG)
- $PT_\tau$  = Target Waktu Produksi (Hari)
- $PT_\gamma$  = Realisasi Waktu Produksi (Hari)

Selanjutnya, perspektif BSC Tumbuh dan Belajar (LG) dapat dijelaskan seperti pada persamaan (20).

$$PoPR_{LG} = \left[ \frac{AT_\gamma}{AT_\tau} \right] \times LGP_{AHP} \dots\dots\dots (20)$$

Di mana:

- $PoPR_{LG}$  = Kinerja Transformasi Perspektif Tumbuh dan Belajar
- $LGP_{AHP}$  = Prioritas Perspektif Tumbuh dan Belajar pada AHP
- $AT_\tau$  = Target Pengembalian Aset
- $AT_\gamma$  = Realisasi Pengembalian Aset

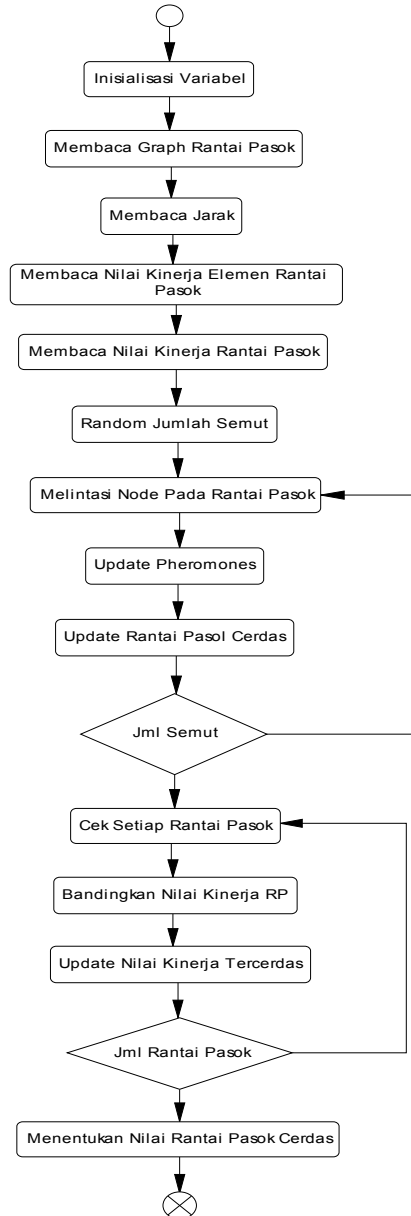
Akhirnya, untuk mendapatkan nilai kinerja SCOR variabel Transformasi ( $PoPR_{SCOR}$ ) dapat menggunakan persamaan (21).

$$PoPR_{SCOR} = \frac{PoPR_F + PoPR_C + PoPR_{BP} + PoPR_{LG}}{4} \times PoPR_{AHP} \dots\dots (21)$$

**Kinerja Perspektif Pengiriman dan Kirim Balik**

Secara umum, perhitungan kinerja perspektif pengiriman dan kirim balik pun hampir sama dengan perspektif-perspektif lainnya, di mana dua perspektif saja yang dihitung, yaitu: perspektif finansial dan perspektif pelanggan.

Algoritma penentuan jalur teroptimum di dalam sebuah rantai pasok, dengan menggunakan metode optimasi koloni semut, dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram aktivitas model berbasis algoritma optimasi koloni semut

Sedangkan gambaran model dijelaskan pada Gambar 4. Model terdiri dari lima class utama: class AntGraph, class Ant, class AntColony, class Dispar, dan class Vertex. Class AntGraph berhubungan dengan Class Kinerja Rantai Pasok. Model ini disebut dengan model berbasis jarak diperlihatkan adanya relasi antara class Jarak dan class AntGraph.





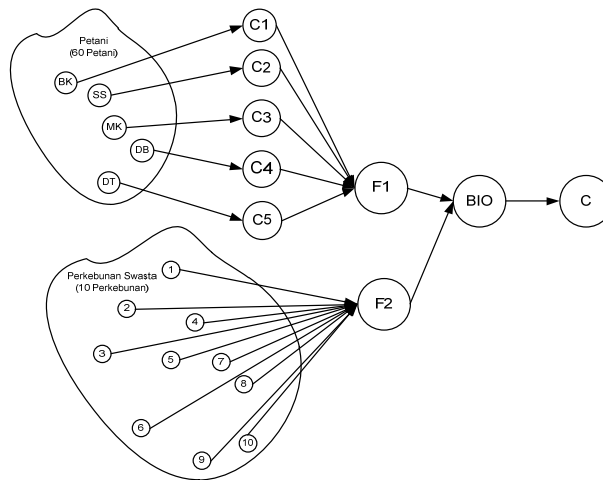
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Jalur Rantai Pasok**

Jaringan rantai pasok di dalam kasus ini disajikan pada Gambar 5. Metode *spanning tree* digunakan untuk membangun pohon (*tree*). Sumber data pada bagian ini didapat dari observasi dan survey di provinsi Riau, khususnya Kawasan Industri Dumai (KID), serta hasil komputasi.

Salah satu jenis data input, dapat terlihat pada Tabel 1. Data ini digunakan untuk perhitungan kinerja perspektif perencanaan untuk dimensi keuangan ( $PoPL_F$ , ada pada persamaan 7), di mana data yang digunakan adalah berupa:  $FP_{AHP}, CoG_t, CoG_g, CoC_t, CoC_g, AVP_t, AVP_g, RPC_t, RPC_g, C2C_t, C2C_g, ID_t, ID_g$ , dan  $ID_g$ .

Nilai kinerja masing-masing elemen yang didapat dari observasi lapangan dan komputasi adalah nilai kinerja untuk variabel-variabel: SCOR, Finansial, Mesin, Sumber Daya Manusia, Manajemen Limbah, Kualitas Produk, Biaya Transportasi dan Nilai Tambah. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 2. Evaluasi kinerja dapat dijelaskan dengan menggunakan hasil dari eksekusi model (Tabel 3).



Gambar 5. Pohon rantai pasok bioenergi

Di mana:

- C = Pengguna Akhir
- F1 – F2 = Pabrik PKS
- BK, SS, MK, DB, DT = Daerah Petani
- BIO = Produser Bioenergi
- C1 – C5 = Pengumpul
- 1 – 10 = Perkebunan Swasta

Tabel 1. Data *input* kinerja perspektif perencanaan variabel keuangan

	$FP_{AHP}$	$CoG_t$	$CoG_g$	$CoC_t$	$CoC_g$	$AVP_t$	$AVP_g$	$RPC_t$	$RPC_g$	$C2C_t$	$C2C_g$	$ID_t$	$ID_g$	$PoPL_F$
C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
BIO	0,40	20813	86927	26346	38317	1,62	0,62	35040	8175	6,00	5,00	1,00	3,00	0,48
F1	0,40	92368	69873	63722	34894	2,56	2,82	44528	27831	6,00	6,00	2,00	2,00	0,52
F2	0,40	21596	69012	93742	84037	2,63	0,53	23859	23872	6,00	1,00	6,00	6,00	0,64
C1	0,40	77521	65625	48402	51965	2,46	0,25	41271	31439	4,00	2,00	2,00	5,00	0,40
C2	0,40	35584	40223	98507	18258	2,61	1,94	31004	23721	2,00	3,00	1,00	3,00	0,62
C3	0,40	33806	10947	23998	65117	2,55	1,00	17425	24529	4,00	4,00	4,00	3,00	0,46
C4	0,40	90600	47848	46988	97166	0,16	2,64	47691	47662	5,00	5,00	3,00	4,00	1,46
C5	0,40	16702	23561	79228	62691	2,62	2,17	31482	48371	4,00	2,00	5,00	4,00	0,45
BK	0,40	45269	19723	53664	72489	2,26	1,77	47588	6582	3,00	3,00	2,00	4,00	0,84
SS	0,40	46276	89397	42933	55292	0,90	1,45	46740	34343	3,00	5,00	3,00	4,00	0,37
MK	0,40	91325	17004	22915	90683	2,42	1,46	35493	48213	1,00	3,00	4,00	3,00	0,58
DB	0,40	80180	16166	36863	19653	0,48	0,36	37523	30675	6,00	1,00	4,00	1,00	1,25
DT	0,40	30508	45292	51912	92210	2,31	0,74	13558	12583	3,00	4,00	1,00	1,00	0,29
1	0,40	67170	36050	68743	99401	2,87	2,28	33451	12368	3,00	3,00	5,00	2,00	0,64
2	0,40	24513	29177	32178	66717	2,32	2,36	9487	11202	3,00	2,00	6,00	5,00	0,39
3	0,40	73934	31967	61896	33948	0,32	2,81	47991	12037	5,00	1,00	5,00	3,00	1,57
4	0,40	15771	48085	74688	60212	1,13	1,13	32516	48389	2,00	2,00	6,00	3,00	0,42
5	0,40	49189	94111	41889	51697	2,65	0,85	38485	25570	4,00	5,00	2,00	5,00	0,29
6	0,40	83048	43882	98886	63929	2,15	0,06	27580	48977	1,00	1,00	2,00	1,00	0,47
7	0,40	33649	38644	11797	29367	0,48	2,56	33347	16754	1,00	4,00	2,00	4,00	0,62
8	0,40	55963	53999	50524	79194	0,19	1,15	19580	9942	2,00	1,00	5,00	6,00	0,84
9	0,40	39904	58800	13130	24790	2,62	1,36	17745	33236	3,00	5,00	6,00	6,00	0,26
10	0,40	27753	84934	21361	90869	0,40	1,25	37338	44714	3,00	1,00	1,00	1,00	0,57

Tabel 2. Nilai kinerja

	SCOR	Biaya Transportasi	Nilai Tambah	Finansial	Mesin	SDM	Manajemen Limbah	Produk
C	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	0,0	0,0	0,00
Bio	0,43	1,00	0,79	0,50	0,5	0,5	1,0	0,70
F1	0,62	1,00	0,45	0,70	0,5	0,5	1,0	0,50
F2	1,45	1,00	0,94	0,50	0,5	0,5	1,0	0,70
C1	0,85	1,00	0,67	0,70	0,5	1,0	0,0	0,50
C2	0,67	1,00	0,26	0,70	0,5	0,7	0,0	0,50
C3	0,64	1,00	0,64	0,70	0,5	0,5	0,0	0,00
C4	0,80	1,00	0,15	0,70	0,5	0,5	0,0	0,10
C5	0,47	1,00	0,38	0,70	1,0	0,5	0,0	0,10
BK	0,45	1,00	0,71	0,50	1,0	0,7	0,0	0,10
SS	3,87	1,00	0,55	0,70	0,5	1,0	0,0	0,10
MK	0,38	1,00	0,33	0,70	0,5	0,5	0,0	0,10
DB	0,65	1,00	0,73	0,70	0,5	1,0	0,0	0,10
DT	0,49	1,00	0,50	0,50	0,5	1,0	0,0	0,10
1	0,72	1,00	0,33	0,70	1,0	0,5	0,0	0,10
2	0,91	1,00	0,65	0,70	0,5	0,5	0,0	0,10
3	3,63	1,00	0,34	0,70	1,0	0,5	0,0	0,10
4	0,57	1,00	1,00	0,70	0,50	0,7	0,0	0,10
5	0,52	1,00	0,24	0,50	0,50	0,5	0,0	0,10
6	0,67	1,00	0,61	0,70	1,00	0,5	0,0	0,10
7	0,68	1,00	0,58	0,70	0,50	0,5	0,0	0,10
8	0,76	1,00	0,68	0,70	0,50	0,5	0,0	0,10
9	0,53	1,00	0,11	0,50	0,50	0,5	0,0	0,10
10	0,54	1,00	0,68	0,70	1,00	0,5	0,0	0,10

Tabel 3. Hasil eksekusi model

$\Sigma Ph.$	$\Sigma Ev.$	Jalur Pilihan KS	Kinerja Rantai Pasok*	Jalur Pilihan SP
0,893	0,143	C – Bio – F1 – C5 – DT	82,22	C – Bio – F2 – 1
0,572	0,292	C – Bio – F1 – C5 – DT	54,88	C – Bio – F2 – 1
0,812	0,130	C – Bio – F1 – C5 – DT	77,75	C – Bio – F2 – 1
0,296	0,792	C – Bio – F2 – 1	65,61	C – Bio – F2 – 1
0,790	0,430	C – Bio – F2 – 1	69,08	C – Bio – F2 – 1
0,717	0,432	C – Bio – F2 – 1	79,29	C – Bio – F2 – 1
0,276	0,529	C – Bio – F2 – 1	69,61	C – Bio – F2 – 1
0,223	0,868	C – Bio – F2 – 1	66,11	C – Bio – F2 – 1
0,264	0,927	C – Bio – F2 – 1	65,23	C – Bio – F2 – 1
0,183	0,771	C – Bio – F2 – 1	65,43	C – Bio – F2 – 1

Keterangan : \* Dari persamaan (1) = Hasil eksekusi model (Tabel 3) menunjukkan bahwa dari 10 percobaan eksekusi didapat dua jenis jalur teroptimum yang didapat (jalur C – Bio – F1 – C5 – DT dan jalur C – Bio – F2 – 1). Kinerja tertinggi yang didapat ada pada jalur C – Bio – F1 – C5 – DT, yaitu sebesar 82,22, sehingga jalur yang disarankan model adalah jalur C – Bio – F1 – C5 – DT. Jalur yang disarankan oleh sistem berbeda dengan jalur yang dihasilkan oleh metode *shostest path*, yaitu C – Bio – F2 – 1, karena metode *shortest path* adalah metode yang dapat mencari jalur terpendek saja.

**Kompleksitas Algoritma**

Algoritma yang digunakan untuk penentuan jalur rantai pasok, memiliki tipe nilai kompleksitas waktu berupa kompleksitas jenis *quadratic*, di mana kompleksitas dinyatakan dengan  $T(n) \in O(n^2)$ , artinya bahwa algoritma memiliki nilai  $n^2$  kompleksitas waktu. Di dalam kasus ini, nilai n adalah nilai agen semut tiruan yang digunakan (n = 2.000), dengan nilai kompleksitas algoritma sebesar  $4 \times 10^6$ . Sedangkan untuk algoritma pencarian nilai kinerja optimum rantai pasok, memiliki nilai kompleksitas jenis *fractional power*. Kompleksitas jenis ini memiliki notasi  $O(n^c)$ , di mana  $0 < c < 1$ , dengan nilai kompleksitas algoritma sebesar 483.99. Nilai n adalah jumlah elemen pada rantai pasok.

**KESIMPULAN DAN SARAN**

**Kesimpulan**

Sistem Penunjang keputusan Cerdas untuk menentukan jalur teroptimum dari rantai pasok bioenergi berbasis kelapa sawit telah dimodelkan. Penentuan indikator optimum, dihasilkan berdasarkan perhitungan kinerja beberapa perspektif dan variabel yang digunakan: SCOR, Nilai Tambah, Biaya Transportasi, mesin, finansial, produk dan manajemen limbah. Penelitian juga menunjukkan kinerja pencarian model berbasis optimasi koloni semut. Hasil eksekusi model (Tabel 3), terlihat bahwa model yang dikembangkan mampu menunjukkan nilai teroptimum yang diproses dari berbagai macam perspektif rantai pasok. Sedangkan,

metode *shortest path* hanya mampu menunjukkan hasil penentuan jalur terpendek saja.

Nilai kinerja teroptimum yang didapat dari hasil perhitungan yang terdapat di dalam model yang dikembangkan adalah 82,22. Sedangkan jalur teroptimum yang terpilih adalah jalur C – Bio – F1 – C5 – DT. Berbeda jika metode yang digunakan adalah metode *shortest path*, jalur terpendek yang dihasilkan oleh metode *shortest path* adalah C – Bio – F2 – 1. Selain itu metode *shortest path* tidak mampu menunjukkan data kinerja, karena metode *shortest path* hanya menggunakan sebuah variabel yaitu variabel jarak. Model yang dikembangkan memiliki dua jenis nilai kompleksitas algoritma: *quadratic* dan *fractional power*. Masing-masing nilai kompleksitas algoritmanya adalah  $4 \times 10^6$  dan 483,99.

#### Saran

Metode dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan variabel kajian lain seperti risiko dan faktor keseimbangan profit. Selain itu, kombinasi beberapa metode yang digunakan untuk pemodelan sistem penunjang keputusan cerdas pun dapat dikaji lebih lanjut, seperti: kombinasi antara metode Optimasi Koloni Semut dengan metode Optimasi Koloni Semut *Fuzzy*, karena pendekatan metode Optimasi Koloni Semut merupakan pendekatan numerikal; kombinasi antara metode Optimasi Koloni Semut dengan Algoritma Genetik; atau dilanjutkan ke penelitian penentuan kluster industri berbasis rantai pasok.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Badr N. 2010. An Agent-Based Architecture For Intelligent Decision Support System. Di dalam *Proceedings of 10th International Intelligent Systems Design and Applications (ISDA)*. Buenos Aires, Argentina, 29 November 2010.
- Bo-Ping Z dan Xianhong S. 2010. The Application of an Improved Gene Expression Programming in Intelligent Decision Support System. Di dalam *Proceedings of Int Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA)*. Changsha, Cina, 13-14 March 2010.
- Bolstorff P dan Rosenbaum R. 2007. Supply Chain Excellence - A Handbook for Dramatic Improvement Using the SCOR Model. New York: Amacom.
- Booch G, Maksimchuk RA, Engle MW, Young BJ, Conallen J, Houston KA. 2007. Object-Oriented Analysis and Design with Applications. New York: Pearson Education, Inc.
- Bykov EA, Aksyonov KA, Popov A, Kai W, Sufrygina EM, Smolij EF, Aksyonova O, Skvortsov AA. 2010. BPsim. DSS - Intelligent Decision Support System Based on Multi-agent Resource Conversion Processes: Development and Application Experience. Di dalam *Proceedings of Second International Computational Intelligence, Modelling and Simulation (CIMSIM)*. Denpasar, Bali, 28-30 September 2010.
- Ding F. 2010. Research on The Intelligent Decision-Making Support System of Securities. Di dalam *Proceedings of IEEE 17th International Industrial Engineering and Engineering Management (IE&EM)*. Xiamen, China, 21 -23 October 2010.
- Dorigo M dan Stutzle T. 2004. Ant Colony Optimization. Massachusetts: The MIT Press.
- FAO-UN. 2010. Bioenergy and Food Security, Bioenergy and Food Security. Rome, Italy: FAO.
- Fronia P, Wriggers FS, Nyhuis P. 2008. A Framework for Supply Chain Design. Di dalam *Proceedings of International Conference on Engineering Optimization*. Rio de Janeiro, Brazil, 1-5 June 2008.
- Gu X. 2010. The Application of Multilayer Distributed Intelligent Decision Support System to Regional Economy. Di dalam *Proceedings of 2nd International Computer Engineering and Technology (ICCET)*. Atlanta, 15-17 December 2010.
- Hugos M. 2006. Essentials of Supply Chain Management. Chicago: John Wiley and Sons, Inc.
- IDI. 2009. Roadmap Industri Pengolahan CPO, Direktorat Jenderal Industri Agro dan Kimia, Departemen Perindustrian, Jakarta.
- Ismail Z dan Loh SL. 2009. Ant Colony Optimization for Solving Solid Waste Collection Scheduling Problem. *Journal of Mathematics and Statistics* 5 (3): 199–205.
- Ivanov D dan Sokolov B. 2010. Adaptive Supply Chain Management. London: Springer.
- Jiang X, Sun X, Wang S, Zhang X. 2010. An Intelligent Decision Support System For Process Quality Control. Di dalam *Proceedings of IEEE International Automation and Logistics (ICAL)*. Hongkong and Macau, 16-20 August 2010.
- Khanna M, Scheffran J, Zilberman D. 2010. Handbook of Bioenergy Economics and Policy. London: Springer.
- Li K, Zhang S, Liu B. 2010. Research on the Intelligent Decision Support System for Comprehensive Utilization of Tailings and Waste Rocks. Di dalam *Proceeding of Second WRI Global Congress Intelligent Systems (GCIS)*. Wuhan, Hubei, China, 16-17 December 2010.
- Li X dan Yu K. 2010. The Research of Intelligent Decision Support System Based on Case-Based Reasoning In The Railway Rescue

- Command System. Di dalam *Proceedings of International Intelligent Control and Information Processing (ICICIP)*. Dalian, China, 12-15 August 2010.
- Lim CP dan Jain LC. 2010. *Advances in Intelligent Decision Making*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Naeini SMM, Kuczera G, Cui L. 2009 Comparison of Genetic Algorithm and Ant Colony Optimization Methods for Optimization of Short-Term Drought Mitigation Strategy. Di dalam *Proceedings of Symposium JS.4 at the Joint IAHS and IAH Convention*. Hyderabad, India, 11-12 September 2009.
- Noor NMM, Ahm IAL, Ali NH, Ismail F. 2010. Intelligent Decision Support System for Tourism Destination Choice: A Preliminary Study. Di dalam *Proceedings of International Information Technology (ITSim)*. Kuala Lumpur, Malaysia, 15-17 June 2010.
- Omran A, Khorshid M, Saleh M. 2010. Intelligent Decision Support System for the Egyptian Food Security. Di dalam *Proceedings of 10th International Intelligent Systems Design and Applications (ISDA)*. Cairo, 29 November – 1 December 2010.
- Potocan V. 2009. Organizational Viewpoint of the Relationships in Supply Chains. *The Journal of American Academy of Business* 14 (2): 181 – 187.
- Qiang S dan Liu L. 2010. The Implement of Blackboard-Based Multi-agent Intelligent Decision Support System. Di dalam *Proceedings of Second International Computer Engineering and Applications (ICCEA)*. Haikou, China.
- Richardson J dan Verwijst T. 2005. Sustainable Bioenergy Production Systems: Environmental, Operational and Social Implications. *Biomass and Bioenergy*. London: Elsevier.
- SBRC-BAU.2009. Studi Kebijakan Pengembangan Industri Hilir Kelapa Sawit di Propinsi Riau, Institut Pertanian Bogor.
- Sianaki OA, Hussain O, Dillon T, Tabesh AR. 2010 Intelligent Decision Support System for Including Consumers' Preferences in Residential Energy Consumption in Smart Grid. Di dalam *Proceedings of Second International Computational Intelligence, Modelling and Simulation (CIMSIM)*. Denpasar, Bali, 28-30 September 2010.
- Soerawidjaja TH. 2011. Identifikasi Permasalahan, Strategi Solusi dan Percepatan Implementasi Program Bioenergi. Ikatan Ahli Bioenergi Indonesia (IKABI).
- Tan KT, Lee KT, Mohamed AR, Bhatia S. 2007. Palm Oil: Addressing Issues and Towards Sustainable Development, Renewable and Sustainable Energy Reviews. London: Elsevier.
- Tao W, Jin H, Liu L. 2007. Object Segmentation Using Ant Colony Optimization Algorithm and Fuzzy Entropy. *Science Direct* (28): 788 – 796.
- Wang F. 2010. Application Research of an Intelligent Decision Support System Based on Data Warehousing Technology. Di dalam *Proceeding of International E-Business and E-Government (ICEE)*. Guanzhou, China, 7-9 May 2010.
- Weihong Y dan Jinkai X. 2010. Intelligent Decision Support System of Maritime Search and Rescue Based on JADE. Di dalam *Proceedings of International E-Product E-Service and E-Entertainment (ICEEE)*. Henan, China, 7-9 November 2010
- Yang Y. 2010. Water Dispatching Intelligent Decision Support System. Di dalam *Proceedings of International E-Product E-Service and E-Entertainment (ICEEE)*. Henan, China, 7-9 November 2010.
- Yin Z dan Li Y. 2010. Intelligent Decision Support System for Bridge Monitoring. Di dalam *Proceedings of International Machine Vision and Human-Machine Interface (MVHI)*. Louyang, China, 24-25 April 2010.
- Yingzhuo X dan Liupeng W. 2010. Research of Visualization Intelligent Decision Support System for Drilling Risk Control. Di dalam *Proceeding of Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*. Xuzhou, China, 26-28 May 2010.