

# **PENYELESAIAN MINIMUM *SPANNING TREE* DENGAN ALGORITMA BERBASIS *SOFT COMPUTING* DAN APLIKASINYA PADA MASALAH LOGISTIK**

## **A SURVEY ON SOLUTION OF MINIMUM *SPANNING TREE* USING *SOFT COMPUTING*-BASED ALGORITHM AND ITS APPLICATIONS ON LOGISTIC PROBLEMS**

**Shinta Tri Kismanti<sup>1</sup>, Imam Mukhlash<sup>2</sup>**

Jurusan Teknik, Fakultas Teknik<sup>1</sup>  
Universitas Borneo Tarakan

Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam<sup>2</sup>  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Email : kismanti88@gmail.com<sup>1</sup>, imammukhlash@gmail.com<sup>2</sup>

### **ABSTRAK**

Masalah optimasi jaringan adalah pencarian nilai terkecil pada suatu keadaan jaringan. Salah satu masalah optimasi jaringan adalah *minimum spanning tree* (MST). Masalah MST bertujuan untuk menghubungkan seluruh simpul dalam jaringan sehingga total panjang cabang tersebut dapat diminimumkan. Dalam paper ini, akan ditelaah mengenai penelitian peningkatan solusi paa MST dengan pendekatan *soft computing* dan aplikasinya pada *system logistic*. Secara umum solusi penyelesaian MST dapat dilakukan dengan metode eksak dan metode heuristik

**Kata kunci : Heuristik, logistik, MST, *Soft Computing***

### **ABSTRACT**

*Network optimization problem is finding the least value at a network condition. One of network optimization problem is minimum spanning tree (MST). MST problem aims to connect all nodes in the network so that total of branches length can be minimized. In this paper, we discussed about the review of research enhancement of solution of MST using soft computing-approach, and its application on logistic system. In general, the solution of MST can be done exact method and heuristic method.*

**Keywords : Heuristic, logistics, MST, *Soft Computing***

### **PENDAHULUAN**

Masalah optimasi jaringan adalah pencarian nilai terkecil (minimal) pada suatu keadaan jaringan. Salah satu masalah optimasi jaringan adalah *minimum spanning tree* (MST), yaitu suatu keadaan dimana semua *node* dalam graf terhubung, namun tidak boleh terdapat *loop* didalamnya dan dihitung bobot *tree* yang terkecil. Masalah MST bertujuan untuk menghubungkan seluruh simpul dalam jaringan sehingga total

panjang cabang tersebut dapat diminimumkan. Jaringan yang dihasilkan menghubungkan semua titik dalam jaringan tersebut pada total jarak minimum.

Permasalahan *Minimum spanning tree* sederhana mungkin bisa diselesaikan dengan melakukan perhitungan manual. Namun untuk kasus *spanning tree* yang besar dan kompleks, perhitungan manual akan sulit dilakukan karena akan memakan waktu yang lama. Oleh sebab

itu dibutuhkan satu program aplikasi komputer yang dapat melakukan perhitungan nilai *minimum spanning tree* dengan cepat dan akurat. Banyak permasalahan optimasi yang dapat diselesaikan menggunakan MST, antara lain pencarian jarak terpendek, biaya termurah, dan lain-lain. Permasalahan optimasi jaringan ini merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi logistik.

Logistik merupakan suatu system dalam sebuah jaringan rantai pasok yang terdiri dari pemasok manufaktur, pusat distribusi, dan lokasi pelanggan (Yao&Hsu, 2009; Prakash&Desh mukh, 2011). Logistik sering didefinisikan sebagai seni membawa jumlah yang tepat ke tempat yang tepat dan biasanya mengacu untuk masalah rantai pasok (Tilanus, 1997). Logistik memiliki peran penting dalam arus pendistribusian barang dari produsen hingga sampai ke konsumen. Banyak faktor yang mempengaruhi efisiensi sistem logistik, dan salah satu permasalahan yang paling penting adalah lokasi penyimpanan dan pusat pendistribusian sehingga dapat meminimalkan biaya atau memaksimalkan keuntungan dan memenuhi permintaan pelanggan dalam rantai pasok. Penyusunan skenario kasus penempatan lokasi penyimpanan diantara pemasok dengan pelanggan dalam memenuhi penyediaan produk atau selaku pusat distribusi dapat dilakukan dengan berbagai langkah, antara lain menggunakan *two-stage* ataupun *multi-stage* (Tragantalerngsak, dkk (1997); Syarif, dkk (2002); Gen, dkk (2006); Yao&Hsu, 2009).

Tidak hanya sistem logistik dalam pendistribusian barang ke pelanggan saja, tetapi permasalahan logistik juga muncul dalam kegiatan lain, misalnya bantuan bencana. Kegiatan logistik melibatkan pengiriman komoditi ke pusat distribusi di daerah bencana dan mengevakuasi para korban ke pusat pengobatan. Untuk menyelesaikan masalah ini disajikan suatu *meta-heuristik* dari *ant colony optimization* (ACO) (Yi&Kumar, 2007).

Pada paper ini akan dilakukan survei beberapa paper yang kemudian akan direview. *Point* penting dari *review* ini mengenai perkembangan pendekatan minimum spanning tree dalam system logistic dengan berbagai macam algoritma, mulai dari algoritma klasik, *soft computing* dan *hybrid*. Domain aplikasi yang dibahas dititik beratkan kepada penyelesaian permasalahan logistik.

## **Minimum Spanning Tree (MST)**

### **Definisi Graf**

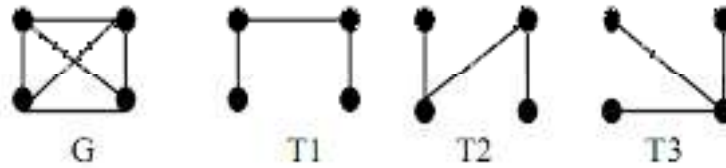
*Minimum spanning tree* merupakan salah satu kajian dalam teori graf. Secara matematis, graf  $G$  didefinisikan sebagai pasangan himpunan  $(V, E)$  ditulis dengan notasi  $G = (V, E)$  yang dalam hal ini  $V$  adalah himpunan tak kosong dari simpul-simpul dan  $E$  adalah himpunan yang menghubungkan sepasang simpul (Munir, 2012).

Graf merupakan salah satu cabang ilmu dalam matematika yang mempunyai aplikasi yang cukup luas dalam kehidupan nyata. Diantaranya adalah penggunaan graf dalam melakukan *perutean*. *Perutean* yaitu kegiatan membuat *rute* dengan tujuan tertentu. Dengan penggunaan graf akan didapatkan lintasan dengan keunggulan-keunggulan tertentu misalnya : (1) lintasan dengan biaya paling murah, (2) lintasan dengan waktu tempuh paling cepat, (3) lintasan dengan jarak paling pendek, (4) lintasan dengan tingkat efisiensi paling tinggi.

Pada bidang yang lebih luas, jika dianalogikan lintasan yang di buat dengan alur kerja yang harus di lakukan , maka akan didapatkan efisiensi kerja dan hasil yang optimal.

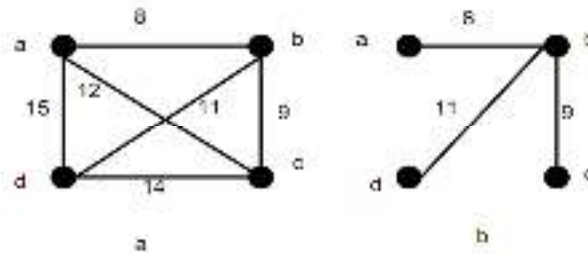
### **Pohon Rentang Minimum (*Minimum spanning tree*)**

Pohon rentang merupakan suatu subgraf dari suatu *graph* dimana setiap simpul pada pohon rentang sama dengan semua simpul pada *graph*. Gambar 1 adalah *graph* lengkap dan tiga buah pohon rentangnya.



Gambar 1. *Graph* Lengkap G dengan pohon rentangnya T1, T2, T3

Pohon Rentang (*Spanning Tree*) pada suatu graf adalah subgraf minimal yang menghubungkan semua simpul pada graf. Apabila graf tersebut adalah graf berbobot (*Weighted Graph*), kemudian dari pohon rentang yang dimiliki oleh graf didefinisikan sebagai penjumlahan dari bobot-bobot seluruh cabang pada pohon rentang maka akan diperoleh pohon rentang yang memiliki bobot. Pohon rentang yang memiliki bobot terkecil pada suatu *graph* berbobot disebut Pohon rentang Minimum (*Minimum Spanning Tree*) (Munir, 2012).



Gambar 2. (a) *Graph* berbobot , (b) pohon rentang minimumnya.

Dalam masalah optimasi jaringan dibutuhkan pencarian nilai terkecil (minimal) pada suatu keadaan jaringan. Salah satu masalah optimasi jaringan adalah *Minimum spanning tree* (MST), yaitu suatu keadaan dimana semua *node* dalam graf terhubung, namun tidak boleh terdapat *loop* didalamnya dan dihitung bobot *tree* yang terkecil. Salah satu aplikasi MST adalah pembuatan jaringan komunikasi yang akan menghubungkan semua stasiun yang ada pada suatu kota. Permasalahannya adalah mencari jarak terpendek antara stasiun-stasiun tersebut sehingga menghemat biaya pembangunan jaringan tersebut.

Terdapat beberapa penelitian yang telah dilakukan mengenai aplikasi *minimum spanning tree* dalam bidang logistik dan transportasi diantaranya (Syarif, Yun, and Gen (2002). penggunaan pendekatan ini lebih efisien untuk menyelesaikan masalah desain rantai pasok. Solusi optimal untuk masalah biaya transportasi dapat diselesaikan dengan menggunakan pendekatan *Spanning Tree* (Jo, dkk

(2007); Keshtelli, dkk (2010); Zaverdehi, dkk (2011), serta optimasi pemilihan rute transit (Chen, dkk (2008). MST adalah masalah optimasi kombinatorial yang terkenal dengan aplikasi dibidang yang berbeda seperti desain jaringan dan pengelompokan (Bazlamacci&Hindi, 2001). Untuk menyelesaikan permasalahan ini berbagai algoritma telah dikembangkan.

### Penyelesaian MST dengan Klasik

Secara umum penyelesaian masalah *minimum spanning tree* dapat dilakukan dengan menggunakan metode eksak dan metode *heuristik*. Metode eksak menggunakan perhitungan matematis biasa untuk menyelesaikan masalah MST seperti algoritma Prim (Prim, 1957) dan Kruskal (Kruskal, 1956). Algoritma prim dan algoritma kruskal merupakan dua cara yang paling umum digunakan untuk membentuk *minimum spanning tree*. Kedua algoritma ini terbukti mampu menghasilkan *minimum spanning tree*.

## 1. Algoritma Prim

Misalkan  $T$  adalah *spanning tree* yang sisi-sisinya diambil dari graf  $G$ . Algoritma Prim membentuk *minimum spanning tree* langkah per langkah. Pada setiap langkah diambil sisi  $e$  dari graf  $G$  yang mempunyai bobot minimum dan bersisian dengan simpul-simpul di dalam  $T$  tetapi  $e$  tidak membentuk sirkuit di dalam  $T$ .

Algoritma Prim :

- 1) Ambil sisi dari graf  $G$  yang berbobot minimum, masukkan ke dalam  $T$ .
- 2) Pilih sisi  $e$  yang mempunyai bobot minimum dan bersisian dengan simpul di  $T$ , tetapi  $e$  tidak membentuk sirkuit di  $T$ . Masukkan  $e$  ke dalam  $T$ .
- 3) Ulangi langkah 2 sebanyak  $n - 2$  kali. [32]

Jumlah langkah seluruhnya di dalam algoritma Prim adalah  $1 + (n - 2) = n - 1$ , yaitu sebanyak jumlah sisi di dalam *spanning tree* dengan  $n$  buah simpul. Algoritma Prim dapat menyelesaikan permasalahan *Minimum Spanning Tree* (MST) secara cepat, terutama pada graf yang cukup besar dibandingkan dengan cara manual. Kompleksitas waktu pada algoritma Prim adalah  $O(n^2)$  (Yan&Wu, 1997).

## 2. Algoritma Kruskal

Algoritma ini pertama kali muncul pada tahun 1956 dalam sebuah tulisan yang ditulis oleh Joseph Kruskal. Algoritma Kruskal adalah sebuah algoritma dalam teori graf yang mencari sebuah *minimum spanning tree* untuk sebuah graf berbobot yang terhubung. Pada algoritma Kruskal, sisi-sisi di dalam graf diurut terlebih dahulu berdasarkan bobotnya dari kecil ke besar. Sisi yang dimasukkan ke dalam himpunan  $T$  adalah sisi graf  $G$  sedemikian sehingga  $T$  adalah *tree*. Pada keadaan awal, sisi-sisi sudah diurut berdasarkan bobot membentuk *forest*, masing-masing *tree* di *forest* hanya berupa satu buah simpul. *Forest* tersebut dinamakan *spanning forest*. Sisi-sisi dari graf  $G$

ditambahkan ke  $T$  jika ia tidak membentuk siklus di  $T$ . Kompleksitas waktu pada algoritma Kruskal adalah  $O(e \log e + n^2)$  dimana  $e$  adalah jumlah busur (Yan&Wu, 1997).

Algoritma Kruskal

(Asumsikan sisi-sisi dari graf sudah diurutkan menaik berdasarkan bobotnya)

- 1)  $T$  masih kosong
- 2) Pilih sisi  $e$  dengan bobot minimum yang tidak membentuk sirkuit di  $T$ . Masukkan  $e$  ke dalam  $T$ .
- 3) Ulangi langkah 2 sebanyak  $n - 1$  kali (Munir, 2012).

Perbedaan prinsip antara algoritma Prim dan Kruskal adalah jika pada algoritma Prim sisi yang dimasukkan ke dalam  $T$  harus bersisian dengan sebuah simpul di  $T$ , maka pada algoritma Kruskal sisi yang dipilih tidak perlu bersisian dengan sebuah simpul di  $T$  asalkan penambahan sisi tersebut tidak membentuk sirkuit.

## **Soft Computing Algorithm**

Masalah minimum spanning tree diselesaikan secara heuristik apabila permasalahan *minimum spanning tree* harus memenuhi kendala yang telah ditentukan, karena secara umum algoritma eksak akan gagal dalam menentukan nilai optimal pada permasalahan (Chen,dkk (2008)). Oleh karena itu, dapat diselesaikan dengan metode heuristik yang menggunakan kecerdasan buatan untuk menentukan rute terpendek pada MST, diantaranya metode yang dapat digunakan adalah *Genetic Algorithm* (GA), *Ant Colony Optimization* (ACO), dan lain-lain.

### 1. *Genetic Algorithm* (GA)

Algoritma genetika adalah teknik optimasi dan pencarian yang berdasarkan pada prinsip gen dan seleksi alam. Algoritma genetika memberikan susunan populasi dari banyak individu untuk mengembangkan aturan seleksi yang spesifik untuk sebuah pernyataan memaksimalkan "fitness" (Sivanandam,2008). Pada

algoritma ini, teknik pencarian dilakukan sekaligus atas sejumlah solusi yang mungkin dikenal dengan istilah populasi. Individu yang terdapat dalam satu populasi disebut dengan kromosom. Kromosom ini merupakan suatu solusi yang masih berbentuk simbol. Populasi awal dibangun secara acak, sedangkan populasi berikutnya merupakan evolusi kromosom-kromosom melalui iterasi yang disebut dengan generasi. Pada setiap generasi, kromosom akan melalui proses evaluasi dengan menggunakan nilai *fitness*.

Nilai *fitness* dari suatu kromosom akan menunjukkan kualitas kromosom dalam populasi tersebut. Generasi baru yang dikenal dengan istilah anak (*offsprings*) terbentuk dari gabungan 2 kromosom generasi sekarang yang bertindak sebagai induk (*parent*) dengan menggunakan operator penyilangan (*crossover*). Selain operator penyilangan, suatu kromosom dapat juga dimodifikasi dengan menggunakan operator mutasi. Populasi generasi yang baru dibentuk dengan cara menyeleksi nilai *fitness* dari kromosom induk dan nilai *fitness* dari kromosom anak, serta menolak kromosom-kromosom yang lainnya sehingga ukuran populasi (jumlah kromosom dalam suatu populasi) konstan (Kusumadewi&Purnomo, 2005).

## 2. *Ant Colony Optimization* (ACO)

Pada awal tahun 1990, sebuah algoritma bernama *Ant system* dicetuskan sebagai pendekatan heuristik baru untuk pencarian solusi dari kombinasi masalah optimasi (Dorigo&Caro,1990) Algoritma ini dikembangkan berdasarkan hasil pengamatan tingkah laku semut dalam mencari makanan. Semut-semut secara berkelompok mencari jalur terpendek dari sarang ke sumber makanan ataupun sebaliknya.

Pada saat semut-semut berjalan, mereka menyimpan suatu *pheromone* di sepanjang jalan yang dilaluinya. *Pheromone* adalah zat

kimia yang berasal dari kelenjar endokrin dan digunakan oleh makhluk hidup untuk mengenali sesama jenis, individu lain, kelompok, dan untuk membantu proses reproduksi. Berbeda dengan hormon, *pheromone* menyebar keluar tubuh dan hanya dapat mempengaruhi dan dikenali oleh individu lain yang sejenis (satu spesies). Semut-semut dapat mencium *pheromone* yang ditinggalkan untuk menentukan langkah selanjutnya, mereka akan memilih *pheromone* dengan konsentrasi kuat. Jalur dengan *pheromone* konsentrasi kuat menandakan telah dilalui oleh banyak semut, yang akhirnya merupakan rute terpendek (Zha,2007).

Adapun langkah-langkah yang dilakukan oleh ACO untuk menyelesaikan masalah *Minimum spanning tree*, yaitu (1) Inisialisasi harga parameter-parameter algoritma dan Inisialisasi kota pertama setiap semut, (2) Pengisian kota pertama kedalam tabu *list*, (3) Penyusunan rute kunjungan setiap semut ke setiap kota, (4) Perhitungan panjang rute setiap semut, pencarian rute terpendek dan perhitungan perubahan harga intensitas jejak kaki semut antar *node*, (5) Perhitungan harga intensitas jejak kaki semut antar node untuk siklus berikutnya dan reset harga intensitas jejak kaki semut antar *node*, dan (6) Pengosongan tabu *list* (Kusumadewi&Purnomo, 2005).

Langkah-langkah Algoritma Genetika pada *Minimum Spanning Tree* yaitu, (1) Pengkodean kromosom (*Encoding*), (2) Perhitungan bobot (*Decoding*), (3) Rekombinasi atau persilangan (*CrossOver*), dan (4) Mutasi. Pada Algoritma Genetika, penyelesaian permasalahan *Minimum Spanning Tree* hampir sama dengan penyelesaian pada masalah optimasi lainnya. Perbedaannya hanyalah pada proses pengkodean kromosom (*encoding*), perhitungan bobot (*decoding*) dan rekombinasi

atau persilangan (*crossover*). Selain itu pada kasus *Minimum Spanning Tree*, ditambahkan satu langkah lagi yaitu proses modifikasi derajat untuk pengecekan adanya sirkuit atau tidak.

### 3. *Particle Swarm Optimization* (PSO)

Teknik solusi dalam masalah optimisasi dapat menggunakan kecerdasan buatan. Salah satu teknik solusi masalah optimisasi dalam kecerdasan buatan menggunakan teknik PSO. PSO merupakan salah satu teknik optimisasi dan termasuk jenis teknik komputasi evolusi. Algoritma PSO pertama kali dikenalkan oleh Kennedy dan Eberhart. PSO terinspirasi dari perilaku gerakan kawanan hewan seperti ikan, hewan herbivora, dan burung, yang kemudian tiap objek hewan disederhanakan menjadi sebuah partikel (Goldbarg, dkk (2006)). Metode ini memiliki *robust* yang bagus untuk memecahkan persoalan yang mempunyai karakteristik nonlinear dan *nondifferentiability*, *multiple optima*, dimensi besar melalui adaptasi yang diturunkan dari teori *psychology*-sosial.

*Particle Swarm Optimization* (PSO) mempunyai kesamaan dengan *genetic algorithm* yang mana dimulai dengan suatu populasi yang random dalam bentuk matriks (Kennedy&Eberhart, 1995). Namun PSO tidak memiliki operator evolusi yaitu *crossover* dan mutasi seperti yang ada pada *genetic algorithm* (Tuegeh, dkk (2009)). Kelebihan utama algoritma PSO adalah mempunyai konsep sederhana, mudah diimplementasikan dan efisien dalam perhitungan (Venter&Sobieski, 2003).

### 4. Fuzzy

Logika fuzzy merupakan alat yang ampuh dan berguna untuk melakukan penalaran dalam pengambilan keputusan, yang melibatkan masalah ketidakpastian dan ketidakjelasan. Konsep modern mengenai ketidakpastian ini diperkenalkan oleh Zadeh (1965). Hal ini terdiri dari tiga proses utama, yaitu *fuzzification*, *rule base*

*reasoning*, dan *defuzzification* (Lau, dkk (2009)).

### Penyelesaian *Minimum Spanning Tree* berbasis *Soft Computing*

Permasalahan *spanning tree* yang sederhana mungkin dapat diselesaikan dengan melakukan perhitungan manual. Permasalahan yang sulit untuk diselesaikan dengan menggunakan metode eksak merupakan salah satu dari permasalahan *NP-hard*. Dalam menyelesaikan permasalahan ini dapat menghabiskan waktu yang lama karena waktu yang dibutuhkan untuk mencari solusi permasalahan akan bergerak secara eksponensial dengan semakin rumitnya permasalahan (Chen, dkk(2006); Goldbarg, dkk(2006); Gao&Lu, 2005; Gen&Syarif, 2003; Prakash&Deshmukh, 2011; Reimann&Laumanns, 2006).

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan, banyak bermunculan pendekatan, metode, dan teknik untuk mengatasi permasalahan *spanning tree*. Permasalahan yang sering muncul adalah bagaimana membuat sebuah *minimum spanning tree* (MST) untuk mengatasi beberapa permasalahan pada perancangan jaringan transportasi. Ada beberapa penyelesaian yang dapat digunakan antara lain *Genetic Algorithm*, *Ant Colony Optimization*, *Particle Swarm Optimization*, dan lain-lain.

### *Genetic Algorithm* (GA)

Algoritma genetika merupakan suatu metoda pencarian yang didasarkan pada mekanisme dari seleksi dan genetika natural (Gen, dkk (1999)). Proses pencarian yang heuristik dan acak sehingga penekanan pemilihan operator yang digunakan sangat menentukan keberhasilan algoritma genetika dalam menemukan solusi optimum suatu masalah yang diberikan. Algoritma genetika aplikasi yang sangat populer untuk menyelesaikan beberapa masalah optimisasi jaringan *NP-hard*, antara lain untuk menyelesaikan *degree-constrained minimum spanning tree*

*problem* (Narula,1980), *multi-criteria minimum spanning tree problem* (Zhou,dkk (2003)), masalah jaringan konfigurasi dalam sistem distribusi (Delbem,dkk (2005) dan masalah jaringan dalam komunikasi (Li&Bouchebaba, 2000; Zhou&Gen, 2003), masalah biaya transportasi (Gottlieb&Paulmann, 1998), dan sebagainya.

Penyelesaian masalah *spanning tree* berbasis algoritma genetika diaplikasikan dalam menyelesaikan masalah penentuan lokasi optimal dari hub dan rute transportasi optimal untuk meminimalkan total biaya yang dikeluarkan di seluruh sistem (Zhou,dkk (2003); Yao&Hsu, 2009; Wang&Hsu, 2010). Pengembangan *spanning tree* berbasis algoritma genetika dengan menggunakan representasi pengkodean untuk memecahkan model NP ini. Penyajian percobaan secara numerik menunjukkan algoritma yang digunakan mampu mendukung keputusan logistik dalam rantai pasok *close-loop* (Poli,dkk (2007)) secara efisien dan akurat. Selain itu GA digunakan untuk mengevaluasi permasalahan *capacitated minimum spanning tree* (CMST) problem (Ruiz,dkk 2015)).

### **Ant Colony Optimization (ACO)**

*Ant Colony Optimization* merupakan pendekatan *meta-heuristik* untuk menyelesaikan masalah optimasi kombinatorial (Gutjahr,dkk (2000)) dan pertama kali digunakan pada *traveling salesman problem* (TSP) dan sukses dalam pengaplikasiannya (Frank&WittRuntime, 2006). ACO juga berhasil digunakan pada masalah lainnya, seperti *vehicle routing problem*, *quadratic assignment problem*, *scheduling problem*, dan sebagainya (Yi&Kumar, 2007). Deskripsi secara detail mengenai teori ACO dan pengaplikasiannya telah banyak diulas dalam beberapa paper (Dorigo&Blum, 2005; Dorigo&Stutzle, 2002)).

ACO dianggap sebagai solusi terbaik untuk menyelesaikan

permasalahan optimasi kombinatorial (Shyu,dkk (2003); Frank&WittRuntime, 2006), salah satunya yaitu masalah *minimum spanning tree*. Algoritma ACO digunakan untuk mengevaluasi beberapa permasalahan diantaranya *capacitated minimum spanning tree* (CMST) problem (Reinmann&Laumanns,2006).

Masalah menghubungkan suatu himpunan titik dengan mengetahui permintaan ketitik tersebut melalui jaringan biaya *minimum tree*, keterbatasan kapasitas pada semua jalur dikenal sebagai masalah *capacitated minimum spanning tree* (CMST). Dalam masalah pendistribusian, ACO digunakan untuk merancang suatu jaringan dengan mengkonstruksi *minimum spanning tree*, menghubungkan titik-titik didalam jaringan (Yi&Kumar, 2007).

### **Particle Swarm Optimization (PSO)**

SPO dapat digunakan dalam berbagai aplikasi (Poli,dkk (2007); Poli,2008). Diantaranya penyajian PSO untuk *bi-objective degree-constrained minimum spanning tree problem* (Goldbarg,dkk (2006)). *Degree-constrained minimum spanning tree* (DCMST) adalah perluasan dari MST dimana jumlah derajat dari setiap simpul dibatasi. DCMST mencari jumlah minimal bobot *edge* yang menghubungkan setiap simpul dalam suatu graf tak berarah dengan syarat tidak ada simpul yang derajatnya melebihi batasan derajat yang ditentukan. Meskipun mereka fokus pada dua tujuan, algoritma dapat dengan mudah untuk menangani tujuan yang lebih.

### **Hybrid**

Penggunaan *hybrid genetic algorithm* (istilah untuk *spanning tree* berbasis algoritma genetika) untuk kesulitan dalam menyelesaikan masalah desain jaringan dalam bidang teknik industri dan jaringan komunikasi komputer,

seperti *degree-constrained minimum spanning tree problems*, *capacitated minimum spanning tree problems*, *fixed charge transportation problems*, dan *bicriteria transportation problem* dan sebagainya (Gen,dkk (2005); Syarif&Gen, 2003; Reimann&Laumanns, 2004; Gen,dkk (1998); Gen,dkk (1999)). Pendekatan *hybrid spanning tree-based genetic algorithm* (hst-GA) digunakan untuk mendapatkan hasil terbaik dari desain produksi/distribusi dalam sistem logistik *multy-stage* dan transportasi (Gen&Syarif, 2003; Syarif&Gen, 2003; Lee,dkk (2009); Chen,dkk (2006)).

### **Fuzzy**

Pendekatan program matematika *fuzzy* telah dikembangkan untuk menangani berbagai masalah seperti masalah jaringan rantai pasok (Bligen, 2010). Adapun masalah *minimum spanning tree* yang berhubungan dengan *fuzzy*, diantaranya masalah MST dengan *fuzzy edge weights* sebagai *chance-constrained programming* berbasis pada *necessity measure* (Itoh&Ishii, 1996). Kemudian ada tiga pendekatan berbasis pada keseluruhan eksistensi *ranking index* untuk *ranking fuzzy edge weights* pada *spanning tree* (Chang&Lee, 1999; Almeida,dkk (2005)), yang membahas masalah MST dengan parameter *fuzzy* dan algoritma yang tepat serta algoritma genetik khusus berbasis pada teori himpunan *fuzzy* dan teori probabilitas. Aplikasi teori probabilitas untuk karakteristik pengoptimalisasian sisi pada graf dimana spesifikasi *edge costs* sebagai *interval fuzzy* (Janiak&Kasperski, 2008).

Selanjutnya masalah yang berbasis pada teori kredibilitas (Zhou,dkk (2015); Gao&Lu,2005) yaitu masalah *fuzzy quadratic MST*, dan dirumuskan sebagai nilai model yang diinginkan, *chance-constrained programming* dan *dependent-chance programming* sesuai dengan kriteria keputusan yang berbeda. Lebih

lanjut membahas tentang masalah MST, berdasarkan *uncertainty theory* dikondisikan masalah *uncertain minimum spanning tree* (UMST) dimana *edge weights* diasumsikan sebagai *uncertain variables*, dan menggunakan tiga tipe UMST, penamaan, *uncertain expected minimum spanning tree* (expected UMST), *the uncertain  $\alpha$ -minimum spanning tree* ( $\alpha$ -UMST), dan *uncertain distribution minimum spanning tree* (Peng&Li, 2007), selain itu adapun yang membahas mengenai masalah *inverse minimum spanning tree problem* (Zhanga,dkk (1999)), dan memperkenalkan masalah *uncertain quadratic minimum spanning tree problem* (Zhou,dkk (2015)).

### **KESIMPULAN**

Algoritma eksak secara konsisten dapat menghasilkan kualitas solusi yang lebih baik jika dibandingkan dengan algoritma heuristik meskipun lebih memakan waktu yang lebih lama. Namun, kesederhanaan algoritma heuristik dalam penggunaannya, membuat algoritma tersebut tetap menjadi algoritma populer untuk digunakan dalam penyelesaian masalah.

Algoritma heuristik yang populer dan banyak digunakan untuk masalah *minimum spanning tree* diantaranya GA, ACO, dan lainnya. Setiap algoritma memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing jika dibandingkan satu dengan yang lainnya. Akan tetapi secara keseluruhan algoritma-algoritma tersebut memiliki penyelesaian yang sebanding, karena dapat menyelesaikan dengan cepat dan cakupan masalah yang luas.

Dari hasil survei, algoritma yang paling banyak digunakan untuk menyelesaikan permasalahan MST yaitu algoritma genetik dan *fuzzy*.

### **DAFTAR PUSTAKA**

T.A. Almeida, A. Yamakami, and M.T. Takahashi, An evolutionary approach to solve minimum



- spanning tree problem with fuzzy parameters, in Proc. Int. Conf. Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation, (2005), 203-208.
- F. Altiparmak, M. Gen, L. Lin, and T. Paksoy, A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks, *Computers & Industrial Engineering*, 51 (2006), 196-215.
- C.F. Bazlamaççi, and K.S. Hindi, Minimum-weight spanning tree algorithms a survey and empirical study, *Computers and Operations Research*, 28 (2001), 767-785.
- B. Bilgen, Application of fuzzy mathematical programming approach to the production allocation and distribution supply chain network problem, *Expert Systems with Applications*, 37 (2010), 4488-4495.
- P.T. Chang, and E.S. Lee, Fuzzy decision networks and deconvolution, *Comput Math Appl*, 37 (1999), 53- 63.
- A. Chen, G. Yang, and Z. Wu, Hybrid discrete particle swarm optimization algorithm for capacitated vehicle routing problem. Chen et al. / *J Zhejiang Univ SCIENCE A*, 7(4) (2006), 607-614.
- W. Chen, Y. Li and W. Ding, Optimizing the Route Selection of Transit Based on Genetic Algorithm. *IEEE*. (2008), 974-968.
- A.C.B. Delbem, A. Carvalho, and N.G. Bretas, Main Chain Representation for Evolutionary Algorithms Applied to Distribution System Reconfiguration, *IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS*, 20/1 (2005), 425-436.
- M. Dorigo and Di Caro G., Ant Colony Optimization : A New Meta-Heuristik. *IIEC Transaction on Evolutionary Computation*, (1990), 1470-1477.
- M. Dorigo and C. Blum, Ant colony optimization theory: A survey, *Theoretical Computer Science*, 344 (2005), 243-278.
- M. Dorigo and T. Stutzle. The ant colony optimization metaheuristic: Algorithms, applications and advances. In: Glover, F., Kochenberger, G. (Eds.), *Handbook of Metaheuristics*. Kluwer Academic Publishers. 2002.
- E.F.G. Goldberg, G.R. de Souza, and M.C. Goldberg. Particle Swarm Optimization for the Bi-objective Degree-constrained Minimum Spanning Tree. *IEEE Congress on Evolutionary Computation*, (2006), 420427.
- J. Gao and M. Lu, Fuzzy quadratic minimum spanning tree problem. *Applied Mathematics and Computation*, 164 (2005), 773-788.
- M. Gen, K. Ida, and Y. Li, Bicriteria Transportation Problem by Hybrid Genetic Algorithm. *Computers ind. Engng*, 35 (1998), 363-366.
- M. Gen, K. Ida, and Y. Li, Solving Bicriteria Transportation Problem by Hybrid Genetic Algorithm. *Computers ind. Engng*, 35 (1999) 363-366.
- M. Gen, Y. Li, & K. Ida, Solving Multi-Objective Transportation Problem by Spanning Tree-Based Genetic Algorithm. *IEICE Trans Fundamentals*, E82 (1999), 2802-2810.
- M. Gen and A. Syarif, Multi-stage Supply Chain Network by Hybrid Genetic Algorithms. J.L. Verdegay (ed.), *Fuzzy Sets Based Heuristics for Optimization*, (2003), 181-196.
- M. Gen, A. Kumar, and J.R. Kim, Recent Network Design Techniques using Evolutionary Algorithm. *Science Direct Production Economic*, 98 (2005), 251-261.
- M. Gen, F. Altiparmak, and L. Lin, A Genetic Algorithm for Two-

- Stage Transportation Problem using Priority-based Encoding, Springer-Verlag 2006, OR Spectrum, 28 (2006), 337-354.
- J. Gottlieb, and L. Paulmann, Genetic algorithms for the fixed charge transportation problem, In Proceedings of IEEE international conference on evolutionary computation, (1998), 330-335.
- W.J. Gutjahr, A Graph-based Ant System and its convergence, Future Generation Computer Systems, 16 (2000), 873-888.
- T. Itoh and H. Ishii, An approach based on necessity measure to the fuzzy spanning tree problems, J. Oper. Res. Soc. Jpn.-Keiei Kagaku, 39 (1996), 247-257.
- A. Janiak and A. Kasperski, The minimum spanning tree problem with fuzzy costs, Fuzzy Optim. Decis Making, 7 (2008), 105-118.
- J.B. Jo, Y. Li, and M. Gen, Nonlinear Fixed Charge Transportation Problem by Spanning Tree-based Genetic Algorithm, Science Direct Computer & Industrial Engineering, 53 (2007), 290-298.
- J. Kennedy and R. C. Eberhart, Particle swarm optimization. In Proceedings of the IEEE international conference on neural networks IV, (1995), 1942-1948.
- M.H. Keshtelli, S.M.A. Zavardehi, and R.T. Moghaddam, Addressing a Nonlinear Fixed-charge Transportation Problem using a Spanning Tree-based Genetic Algorithm. Science Direct Computer & Industrial Engineering, 59 (2010), 259-271.
- J.B. Kruskal, On the shortest spanning subtree of a graph and the travelling salesman problem. Pric. AMS, 7 (1956), 48-50.
- S. Kusumadewi, and H. Purnomo, Penyelesaian Masalah Optimasi dengan Teknik – Teknik Heuristik. Edisi Pertama, Graha Ilmu, Yogyakarta, (2005).
- H.C.W. Lau, T.M. Chan, W.T. Tsui, F.T.S. Chan, G.T.S. Ho, and K.L. Choy, A fuzzy guided multiobjective evolutionary algorithm model for solving transportation problem. Expert Systems with Applications, 36 (2009), 8255-8268.
- J. E. Lee, M. Gen, & K. G. Rhee, Network model and optimization of reverse logistics by hybrid genetic algorithm. Computers & Industrial Engineering, 56 (2009), 951-964.
- Y. Li, and Y. Bouchebaba, A New Genetic Algorithm for the Optimal Communication Spanning Tree Problem. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, (2000), 162-173.
- R. Munir, Matematika Diskrit, Penerbit Informatika, Bandung, 2012.
- S.C. Narula, Degree-constrained minimum spanning tree. Comput Oper Res, 7 (1980), 239-249.
- N.F. Frank and C. WittRuntime, Analysis of a Simple Ant Colony Optimization Algorithm. T. Asano (Ed.) : ISAAC 2006, LNCS 4288, (2006), 618-627.
- J. Peng, and S. Li, Spanning tree problem of uncertain network, in Proc. 3rd Int. Conf. Computer Design and Applications, Xi'an, China, 2011.
- R. Poli, K. Kennedy, and T. Blackwell, Particle swarm optimization. Springer Science + Business Media, Swarm Intell 1 (2007), 33-57.
- R. Poli, Analysis of the Publications on the Applications of Particle Swarm Optimisation. Journal of Artificial Evolution and Applications. Volume 2008, Article ID 685175, 10 pages, 2008.

- A. Prakash, and S.G. Deshmukh, A multi-criteria customer allocation problem in supply chain environment: An artificial immune system with fuzzy logic controller based approach. *Expert Systems with Applications*, 38 (2011), 3199–3208.
- R. C. Prim, Shortest connection networks and some generalizations. *Bell Systems Techn. J.*, 36 (1957), 1389-1401.
- M., Reimann and M. Laumanns, A hybrid ACO algorithm for the Capacitated Minimum Spanning Tree Problem. Institute for Operations Research, Swiss Federal Institute of Technology Zurich. 2004.
- M. Reimann, and M. Laumanns, Savings based ant colony optimization for the capacitated minimum spanning tree problem. *Computers & Operations Research*, 33 (2006), 1794–1822.
- E. Ruiz, M. A. Sambola, E. Fernández, and M.G.C. Resende, A biased random-key genetic algorithm for the capacitated minimum spanning tree problem. *Computers & Operations Research*, 57 (2015), 95–108.
- S. Sivanandam, Introduction to Genetic Algorithm. New York : Springer Science + Business Media. 2008.
- S.J. Shyu, P.Y. Yin, B.M.T. Lin, & M. Haouari, Ant-Tree: an ant colony optimization approach to the generalized minimum spanning tree problem. *J.Expt.Theor.Artif.Intell*, 15 (2003), 103–112.
- H. Stadtler, Supply chain management and advanced planning–basics, overview and challenges. *European Journal of Operational Research*, 163 (2005), 575–588.
- A. Syarif, Y. Yun, and M. Gen, Study on Multy-Stage Logistic Chain Network : a Spanning Tree-based Genetic Algorithm Approach. *Science Direct Computer & Industrial Engineering*, 43 (2002), 209-314.
- A. Syarif, and M. Gen, Solving Exclusionary Side Constrained Transportation Proble by using a Hybrid Spanning Tree-based Genetic Algorithm. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 14 (2003), 389-399.
- M. Tuegeh, A. Soeprijanto, and H. P. Mauridhi, Optimal Generator Scheduling Based on Particle Swarm Optimization. Seminar Nasional Informatika 2009 (semnasIF 2009). ISSN: 1979-2328.
- B. Tilanus, Introduction to information system in logistics and transportation. Elsevier, London. 1997.
- S. Tragantalerngsak, J. Holt, M. Ronnqvist, Lagrangian heuristics for the two-echelon, single-source, capacitate location problem. *Eur J Oper Res* 102 (1997), 611–625.
- G. Venter, J. S. Sobieski, Particle Swarm Optimization. *AIAA JOURNAL*, 41/8, (2003), 1583-1589.
- H.F. Wang and H.W.Hsu, A Closed-loop Logistic Model with a Spanning Tree based Genetic Algorithm. *Science Direct Computer & Operations Research*, 37 (2010) 376-289.
- Yan Wei-min and Wu Wei-min, *Data Structure*, Beijing: Tsinghua Publishing House, 1997.
- M.J. Yao and H.W. Hsu, A new spanning tree-based genetic algorithm for the design of multi-stage supply chain network with nonlinear transportation costs, Springer Science, 2009.
- W.C. Yeh, A Hibrid Heuristic Algorithm for the Multi Stage Suplly Chain Network

- Problem. *Int J adv Manuf Technol*, 26 (2005), 675-685.
- W. Yi, and A. Kumar, Ant Colony Optimization for Disaster Relief Operations, *Transportation Research Part E*, 43 (2007), 660-672.
- S.A. Zaverdehi, M.H. Kesthehi, and R.T. Moghaddam, Solving Capacitated Fixed-charge Transportation Problem by Artificial Immune and Genetic Algorithm with a Prufer Number Representation. *Expert System with Applications*, 38 (2011), 10462-10474.
- Zha, Xuan F., *Artificial Intelligence and Integrated Intelligent Information Systems Emerging Technologies and Applications*, Idea Grup Publishing. London, 2007.
- J. Zhanga, J. Zhou, and S. Zhong, Models for inverse minimum spanning tree problem with fuzzy edge weights. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 27 (2014), 2691-2702. [60]
- G. Zhou and M. Gen, Genetic Algorithm Approach on Multi-criteria Minimum Spanning Tree Problem. *European Journal of Operational Research*, 114 (1999), 141-152.
- G. Zhou, H. Min, and M. Gen, A Genetic Algorithm Approach to the bi-criteria Allocation of Customers to warehouses. *Int J Production Economics*, 86 (2003), 35-45.
- G. Zhou and M. Gen, A Genetic Algorithm Approach on tree-like Telecommunication Network Design Problem. *Journal of the Operational Research Society*, 54 (2003), 248-254.
- J. Zhou, L. Chen, and K. Wang, Path Optimality Conditions for Minimum Spanning Tree Problem with Uncertain Edge Weights, *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 23/1 (2015), 49-71.