

## LOGIKA FUZZY SWARM INTELLIGENCE BEE COLONY UNTUK MEMINIMALISASI KEMACETAN TRANSPORTASI

Widyastuti Andriyani<sup>1</sup>, Retantyo Wardoyo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>STMIK "Akakom", Yogyakarta

<sup>2</sup>Fakultas MIPA, Universitas Gadjah Mada Yogyakarta

Masuk: 28 Oktober 2012, revisi masuk : 11 Januari 2013, diterima: 3 Februari 2013

### ABSTRACT

*This paper uses the concept of fuzzy logics to integrate with bee systems to solve inexact model problems. As an example, in this paper the integration will be used to minimise the congestion of transportation problems. Bee systems face many problems for decision making when seeking for the best solution, some of them: to determine the next solution components to be added to partial solution, to determine which partial solutions should be left or not, and to determine the same partial solutions without recruiting friends from the same nest. The majority of these selection models is based on the assumption that the decision makers have the ability of processing perfect information, and are always acting rationally and exactly. However, in certain conditions, information is not exact, but is still realistic.*

**Keywords:** bee systems, inexact models, fuzzy logics, transportation problems

### INTISARI

Makalah ini memanfaatkan konsep logika fuzzy untuk diintegrasikan dengan sistem lebah untuk menyelesaikan permasalahan model tidak eksak. Sebagai contoh, dalam makalah ini akan digunakan untuk meminimalisasi kemacetan masalah transportasi. Sistem lebah menghadapi banyak masalah dalam pengambilan keputusan ketika mencari solusi terbaik beberapa diantaranya: menentukan komponen solusi berikutnya yang akan ditambahkan ke solusi parsial, memutuskan solusi parsial yang harus ditinggalkan atau tidak, dan menentukan solusi parsial yang sama tanpa merekrut teman-teman sesarang. Mayoritas model pilihan ini didasarkan pada asumsi bahwa pembuat keputusan memiliki kemampuan pemrosesan informasi yang sempurna dan selalu bertindak secara rasional dan eksak. Namun dalam hal-hal tertentu, informasi tidak bersifat eksak tetapi tetap realistik.

**Kata kunci:** sistem lebah, model tidak eksak, logika fuzzy, masalah transportasi

### PENDAHULUAN

Sejumlah besar model teknik tradisional dan algoritma yang digunakan untuk memecahkan masalah yang kompleks didasarkan pada kontrol dan sentralisasi. Berbagai sistem alami (koloni-koloni serangga sosial) menunjukkan bahwa organisme individu yang sangat sederhana dapat membuat sistem yang mampu melakukan tugas-tugas yang sangat kompleks dengan interaksi yang dinamis satu sama lain.

Perilaku kawan lebah dicirikan dengan otonomi dan pendistribusian fungsi serta *self-organizing*. Dalam beberapa tahun

terakhir, para peneliti mulai mempelajari perilaku serangga sosial dalam upaya untuk menggunakan konsep-konsep *Swarm Intelligence* (Inteligensi Kelompok/Kawanan) telah dikembangkan pada berbagai Sistem Kecerdasan Buatan.

Salah satu penerapan *Swarm Intelligence* adalah *Bee Colony Optimization* (BCO) Metaheuristik sebagai Sistem Lebah yang bermanfaat dalam memecahkan masalah kombinatorial yang dicirikan dengan ketidakpastian, misalkan masalah transportasi, khususnya pencocokan berbagai kendaraan dengan lokasi tempat tujuan penumpang. Untuk

---

<sup>1</sup>widya@akakom.ac.id

model sistem lebah yang melibatkan informasi maupun aturan yang tidak eksak, konsep logika fuzzy diintegrasikan dengan sistem lebah tersebut.

Beberapa penelitian telah dilakukan sebelumnya diantaranya Lucic (2001) dan Teodorovic (2009) merupakan orang-orang pertama yang menggunakan prinsip-prinsip dasar kecerdasan lebah kolektif dalam memecahkan masalah optimalisasi kombinatorial. Mereka memperkenalkan *Bee System* (BS) (Sistem Lebah) dan mengujinya dalam kasus *Traveling Salesman Problem*. *Bee Colony Optimization Metaheuristic* (BCO Metaheuristic) yang telah diusulkan dalam paper ini, merepresentasikan pengembangan lanjutan dan generalisasi dari *Bee System*. Karakteristik dasar dari Metaheuristic BCO akan digambarkan kemudian. Koloni lebah artifisial kami sebagian berperilaku sama dengan koloni lebah alamiah, dan sebagian berperilaku berbeda. *Fuzzy Bee System* (FBS) (Zadeh, 2012) (Teodorović, 2000) yang mampu memecahkan masalah optimalisasi kombinatorial yang dicirikan dengan ketidakpastian, juga dibahas dalam paper ini. Dalam FBS, para agen lebah menggunakan penalaran perkiraan dan aturan logika fuzzy (Zadeh, 2012) (tidak jelas) dalam komunikasi dan tindakan mereka.

Konsep dasar *Fuzzy Set Theory* (Zadeh, 2012), variabel linguistik, penalaran perkiraan, dan komputasi dengan kata-kata yang diperkenalkan oleh Zadeh memiliki pemahaman yang lebih mengenai faktor ketidakpastian, ketidaktepatan, dan observasi yang diungkapkan secara linguistik

## METODE

Dalam *Bee Colony Optimization Metaheuristic* (BCO) (D.Teodorovic, 2009), agen lebah yang kita sebut lebah artifisial berkolaborasi untuk memecahkan masalah optimalisasi kombinatorial yang sulit. Semua lebah artifisial ditempatkan dalam sarang pada awal proses pencarian. Selama proses pencarian, lebah artifisial berkomunikasi

*secara langsung*. Setiap lebah artifisial membuat serangkaian gerakan yang terbatas, dan dengan cara ini secara bertahap menciptakan solusi untuk masalah yang ada. Lebah menambahkan komponen-komponen solusi pada solusi parsial yang ada, sampai mereka menciptakan satu atau lebih solusi yang visibel. Proses pencarian terdiri dari *iterasi-iterasi*. Iterasi pertama selesai ketika lebah untuk pertama kalinya menciptakan satu atau lebih solusi yang visibel. Solusi terbaik yang ditemukan selama iterasi pertama disimpan, dan kemudian iterasi kedua dimulai. Dalam iterasi kedua, lebah secara bertahap membangun lagi solusi dari masalah, dan lain-lain. Terdapat satu atau lebih solusi parsial (sumber makanan) pada akhir setiap iterasi. Pembuat keputusan (analyst-decision maker) mengatur jumlah total iterasi.

Ketika terbang, lebah-lebah artifisial kami melakukan *forward pass* atau *backward pass*. Ketika melakukan *forward pass*, lebah menciptakan berbagai solusi parsial. Mereka melakukan hal ini dengan menggunakan kombinasi eksplorasi individual dan pengalaman kolektif dari masa lalu.

Setelah itu, mereka melakukan *backward pass*, yaitu lebah kembali ke sarang. Dalam sarang, semua lebah berpartisipasi dalam proses *pengambilan keputusan*. Kami berasumsi bahwa setiap lebah dapat memperoleh informasi tentang kualitas solusi yang dihasilkan oleh semua lebah lainnya. Dengan cara ini, lebah *bertukar* informasi tentang kualitas solusi parsial yang dibuat. Lebah membandingkan semua solusi parsial yang dihasilkan. Berdasarkan kualitas solusi parsial yang dihasilkan, setiap lebah memutuskan apakah akan meninggalkan solusi parsial yang dibuat dan kembali menjadi pengikut yang tidak komit, melanjutkan memperluas solusi parsial yang sama tanpa merekrut teman-teman sesarangnya, atau menari dan dengan demikian merekrut teman-teman sesarangnya sebelum kembali ke solusi parsial yang dibuat. Dengan bergantung pada kualitas solusi parsial yang dihasilkan, tiap lebah memiliki tingkat *kesetiaan* tertentu pada jalur yang menuju

pada solusi parsial yang ditemukan sebelumnya. Selama *forward pass* kedua, lebah memperluas solusi parsial yang dibuat sebelumnya, dan setelah itu melakukan *backward pass* dan kembali ke sarang. Dalam sarang, lebah kembali berpartisipasi dalam proses pengambilan keputusan, melakukan *forward pass* ketiga, dan lain-lain. Iterasi berakhir ketika satu solusi atau lebih yang visibel tercipta.

Seperti halnya Pemrograman Dinamis, BCO juga memecahkan masalah optimalisasi kombinatorial secara bertahap. Setiap tahapan yang didefinisikan mencakup satu variable optimalisasi. Kami melambangkan seperangkat /satu set tahap pra-seleksi yang terbatas dengan  $ST = \{st1, st2, \dots, stm\}$ , dimana  $m$  adalah jumlah tahapan.  $B$  menunjukkan jumlah lebah yang akan berpartisipasi dalam proses pencarian, dan  $I$  menunjukkan jumlah total iterasi. Rangkaian solusi parsial pada tahap  $stj$  ditunjukkan dengan  $Sj$  ( $j = 1, 2, \dots, m$ ).

Berikut adalah *pseudo-kode* dari *Bee Colony Optimization*:

(1). *Initialization* (Inialisasi). Menentukan jumlah lebah  $B$ , dan jumlah iterasi  $I$ . Memilih rangkaian tahapan  $ST = (st1, st2, stm)$ . Menemukan solusi  $x$  yang fisibel. Solusi ini adalah *solusi awal terbaik*. (2) Set (loop)  $i:=1$  hingga  $i:=I$  mengulang langkah-langkah berikut: (3) Set (loop)  $j:=1$  hingga  $j:=m$  mengulangi langkah-langkah berikut: *Forward pass*: Membiarkan lebah terbang dari sarangnya dan memilih solusi parsial  $B$  dari rangkaian solusi parsial  $Sj$  pada tahap  $stj$ . *Backward pass*: mengirim semua lebah kembali ke sarangnya. Memungkinkan lebah untuk bertukar informasi tentang kualitas solusi parsial yang dibuat dan untuk memutuskan apakah akan meninggalkan solusi parsial yang dibuat dan kembali menjadi pengikut yang tidak komit, terus memperluas solusi parsial yang sama tanpa merekrut teman-teman sesarangnya, atau menari dan dengan demikian merekrut teman-teman sesarangnya sebelum kembali ke solusi parsial yang dibuat. (4) Set  $j := j + 1$ . (4) Apabila solusi terbaik  $x_i$  diperoleh selama iterasi ke- $i$  lebih baik daripada

solusi terbaik yang sudah dikenal, memperbarui solusi terbaik yang dikenal ( $x:=x_i$ ). (5) Set  $i := i + 1$ .

Di sisi lain, *forward* dan *backward pass* bisa dilakukan sampai beberapa kondisi berhenti lainnya terpenuhi. Kondisi berhenti mungkin bisa merupakan, sebagai contoh, jumlah total *forward/backward pass* maksimum, atau jumlah total *forward/backward pass* maksimum antara peningkatan nilai fungsi dua tujuan.

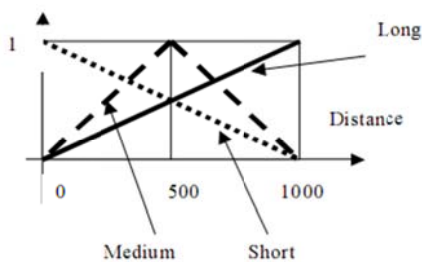
Dalam BCO Metaheuristic yang diusulkan, berbagai sub-model yang menggambarkan perilaku dan/atau "penalaran" lebah dapat dikembangkan dan diuji. Dengan kata lain, berbagai algoritma BCO dapat dikembangkan. Model ini harus menjelaskan cara-cara dimana lebah memutuskan untuk meninggalkan solusi parsial yang dibuat, untuk terus memperluas solusi parsial yang sama tanpa merekrut teman-teman sesarangnya, atau untuk menari dan dengan demikian merekrut teman-teman sesarangnya sebelum kembali ke solusi parsial yang dibuat.

Selain mengusulkan BCO sebagai metaheuristic baru, dalam paper ini kami juga mengusulkan Algoritma BCO yang kami sebut *Fuzzy Bee System* (FBS). Dalam kasus FBS, agen (lebah artifisial) menggunakan penalaran perkiraan dan aturan logika fuzzy dalam komunikasi dan tindakan mereka. Dengan cara ini, maka FBS mampu memecahkan masalah kombinatorial deterministik, serta masalah kombinatorial yang ditandai dengan ketidakpastian.

Lebah menghadapi banyak masalah pengambilan keputusan ketika mencari solusi terbaik. Berikut ini adalah dilema pilihan lebah: (a). Apa komponen solusi berikutnya yang akan ditambahkan ke solusi parsial, (b). Haruskah solusi parsial ditinggalkan atau tidak, (c). Haruskah solusi parsial yang sama diperluas tanpa merekrut teman-teman sesarang.

Mayoritas model pilihan ini didasarkan pada konsep-konsep modeling utilitas acak. Pendekatan ini sangat rasional. Mereka didasarkan pada asumsi bahwa pembuat keputusan memiliki kemampuan pemrosesan

informasi yang sempurna dan selalu bertindak secara rasional (berusaha memaksimalkan utilitas). Dalam rangka menawarkan pendekatan modeling alternatif, para peneliti mulai menggunakan teori yang kurang normatif. Konsep dasar *Fuzzy Set Theory*, variabel linguistik, penalaran perkiraan, dan komputasi dengan kata-kata yang diperkenalkan oleh (Zadeh,2012), (Teodorović,2000), memiliki pemahaman yang lebih mengenai ketidakpastian, ketidaktepatan, dan observasi yang diungkapkan secara linguistik. Mengikuti gagasan ini, dalam model pilihan kami, kami mulai dari asumsi bahwa kuantitas yang dirasakan oleh lebah adalah "kabur (fuzzy)". Lebah artifisial menggunakan penalaran perkiraan dan aturan logika (Zadeh,2012), (Teodorović,2000), dalam komunikasi dan tindakan mereka. Selama tahapan *j* lebah terbang dari sarang dan memilih solusi parsial *B* dari rangkaian solusi parsial *Si* pada tahap *stj* (*forward pass*). Ketika menambahkan komponen solusi ke solusi parsial yang ada selama *forward pass*, lebah tertentu memandang komponen solusi yang spesifik sebagai "kurang menarik", "menarik", atau "sangat menarik". Diasumsikan bahwa lebah artifisial dapat merasakan sifat/kualitas tertentu seperti "*dekat*", "*sedang*" atau "*jauh*" (Gambar 1), "*murah*", "*sedang*", atau "*mahal*", dll.



Gambar 1: Fungsi-fungsi fuzzy linguistik jarak

**PEMBAHASAN**

Algoritma pada penalaran perkiraan untuk menghitung daya tarik komponen solusi terdiri dari aturan dari tipe berikut:

Jika kualitas komponen solusi SANGAT BAIK Maka komponen solusi yang dipertimbangkan SANGAT MENARIK

Keuntungan menggunakan algoritma penalaran perkiraan untuk menghitung daya tarik komponen solusi adalah bahwa dimungkinkan untuk menghitung daya tarik komponen solusi bahkan jika beberapa data input hanya bersifat diketahui secara *kira-kira*. Kami menggunakan lambang *f<sub>i</sub>* untuk nilai daya tarik komponen solusi *i*. Probabilitas *p<sub>i</sub>* untuk komponen solusi *i* yang akan ditambahkan ke solusi parsial sama dengan rasio *f<sub>i</sub>* terhadap jumlah seluruh nilai daya tarik komponen solusi yang dipertimbangkan (Persamaan 1).

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_j f_j} \dots\dots\dots 1$$

Untuk memilih komponen solusi berikutnya yang akan ditambahkan ke solusi parsial, lebah artifisial menggunakan pilihan proporsional yang dikenal sebagai "pilihan roda rolet". (Bagian dari rolet sebanding dengan probabilitas *p<sub>i</sub>*). Selain "pilihan roda rolet," beberapa cara seleksi lain dapat digunakan.

Untuk menggambarkan proses mekanisme perbandingan solusi parsial lebah, diperkenalkan konsep *partial solution badness* (keburukan solusi parsial). Kami mendefinisikan keburukan solusi parsial seperti persamaan berikut:

$$L_k = \frac{L^{(k)} - L_{min}}{L_{max} - L_{min}} \dots\dots\dots 2$$

dimana:

- $L_k$  - keburukan solusi parsial yang ditemukan oleh lebah ke-*k*
- $L^{(k)}$  - nilai fungsi objektif solusi parsial yang ditemukan oleh lebah ke-*k*
- $L_{min}$  - nilai fungsi objektif solusi parsial terbaik yang ditemukan dari awal proses pencarian.
- $L_{max}$  - nilai fungsi objektif solusi parsial terburuk yang ditemukan dari awal proses pencarian.

Algoritma penalaran perkiraan untuk menentukan keburukan solusi parsial terdiri dari aturan dari tipe berikut:

Jika solusi parsial yang ditemukan BURUK Maka loyalitas RENDAH

Lebah menggunakan *penalaran perkiraan*, dan membandingkan solusi parsial temuan mereka dengan solusi parsial terbaik dan terburuk yang ditemukan dari *awal* proses pencarian. Dengan cara ini, "fakta-fakta sejarah" yang ditemukan *oleh semua anggota* koloni lebah memiliki pengaruh signifikan terhadap arah pencarian di masa depan.

Karena lebah sesungguhnya adalah serangga sosial, maka dalam paper ini diasumsikan bahwa probabilitas  $p^*$  suatu peristiwa dimana lebah akan terus terbang di sepanjang jalur yang sama tanpa merekrut teman-teman sesarangnya sangat rendah ( $p^* \ll 1$ ). Lebah terbang ke lantai dansa, dan mulai menari dengan probabilitas yang sama dengan  $(1-p^*)$ . Komunikasi antar lebah individu semacam ini memberikan kontribusi terhadap pembentukan "kecerdasan kolektif" koloni lebah. Dalam kasus ketika, lebah memutuskan untuk tidak terbang di sepanjang jalur yang sama, maka lebah akan pergi ke arena dansa dan akan mengikuti lebah yang lain.

Setiap solusi parsial (jalur parsial) yang sedang ditawarkan di arena dansa memiliki dua sifat utama: (a) nilai fungsi objektif, dan (b) jumlah lebah yang menawarkan solusi parsial (jalur parsial). Jumlah terakhir merupakan indikator yang baik dari pengetahuan kolektif lebah. Hal ini menunjukkan bagaimana koloni lebah merasakan solusi parsial yang spesifik.

Algoritma penalaran perkiraan untuk menentukan daya tarik solusi parsial yang "diiklankan" terdiri dari aturan dari tipe berikut:

Jika panjang jalur yang diiklankan PENDEK dan jumlah lebah yang

mengiklankan jalur tersebut KECIL

Maka daya tarik solusi parsial yang diiklankan MEDIUM

Daya tarik jalur dihitung dengan cara ini dapat mengambil nilai dari interval  $[0,1]$ . Semakin tinggi nilai yang dihitung, maka jalur yang ditawarkan akan semakin menarik. Lebah akan lebih atau kurang setia pada jalur "lama". Pada saat yang sama, jalur yang ditawarkan akan kurang atau lebih menarik bagi lebah. Mari kita tandai jalur-jalur dengan  $p_i$ , dan  $p_j$ . Kami menggunakan lambing  $n_{ij}$  untuk jumlah lebah yang akan meninggalkan jalur  $p_i$ , dan bergabung dengan teman-teman sesarangnya yang akan terbang di sepanjang jalur  $p_j$ .

Algoritma penalaran perkiraan untuk menghitung jumlah lebah yang beralih terdiri dari aturan dari tipe berikut:

Jika loyalitas lebah terhadap jalur  $p_i$ , RENDAH dan daya tarik jalur  $p_j$  TINGGI Maka jumlah lebah yang beralih dari jalur  $p_i$  ke jalur  $p_j$  TINGGI

Dengan cara ini, jumlah lebah yang terbang di sepanjang jalur yang spesifik diubah sebelum dimulainya *forward pass* baru. Dengan menggunakan pengetahuan kolektif dan dengan berbagi informasi, lebah berkonsentrasi pada jalur pencarian yang lebih menjanjikan, dan perlahan-lahan meninggalkan jalur yang kurang menjanjikan.

Studi Kasus: Masalah pencocokan berbagi kendaraan dengan lokasi tempat tujuan penumpang

Jaringan jalan perkotaan di banyak negara sangatlah padat, sehingga waktu perjalanan meningkat, jumlah berhenti meningkat, penundaan yang diharapkan, biaya perjalanan lebih besar, ketidaknyamanan bagi pengemudi dan penumpang, polusi udara, tingkat kebisingan dan jumlah kecelakaan lalu lintas juga meningkat.

Memperluas kapasitas jaringan lalu lintas dengan membangun lebih banyak jalan akan sangat mahal serta merusak lingkungan. Penggunaan prasarana yang tersedia dengan lebih efisien sangat penting untuk *me-maintain* kebutuhan perjalanan yang terus tumbuh.

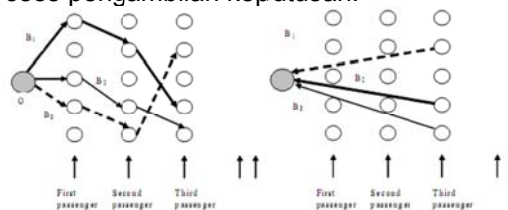
*Ridesharing* (berbagi kendaraan) adalah salah satu teknik *Travel Demand Management* ('TDM) (Managemen Kebutuhan Perjalanan) yang mengasumsikan partisipasi dari dua orang atau lebih yang berbagi kendaraan bersama saat bepergian dari satu tempat ke beberapa tempat tujuan. Semua pengemudi yang berpartisipasi dalam pencocokan berbagi kendaraan dengan lokasi tempat tujuan penumpang menyerahkan kepada operator, informasi mengenai perjalanan yang direncanakan untuk minggu depan sbb: (a) Kapasitas kendaraan (2, 3, atau 4 orang), (b) Hari dalam seminggu seseorang siap untuk berpartisipasi dalam *ride-sharing*, (c) Awal perjalanan untuk setiap hari dalam seminggu, (d) Tujuan perjalanan untuk setiap hari dalam seminggu, (e) Waktu keberangkatan dan / atau kedatangan yang diinginkan untuk setiap hari dalam seminggu.

Masalah pencocokan berbagi kendaraan dengan lokasi tempat tujuan penumpang yang menjadi pemikiran dalam paper ini dapat didefinisikan sbb: Membuat *routing* dan penjadwalan kendaraan dan penumpang selama seminggu dengan "cara terbaik". Berikut adalah fungsi tujuan potensial: (a) Meminimalkan total jarak yang ditempuh oleh semua peserta, (b) Meminimalkan total delay (penundaan), (c) Membuat pemanfaatan kendaraan yang relatif seimbang. Kita berurusan dengan masalah optimalisasi kombinatorial deterministik dalam kasus ketika waktu keberangkatan dan / atau kedatangan yang diinginkan adalah tetap/fix (Misalnya "Saya ingin dijemput pukul 8:00 pagi tepat). Di sisi lain, dalam banyak situasi kehidupan yang nyata waktu keberangkatan dan / atau kedatangan yang diinginkan tidak jelas (*fuzzy*) (Saya ingin dijemput pada saat jam makan siang). Dalam hal ini, masalah pencocokan berbagi kendaraan dengan lokasi tempat tujuan penumpang harus diperlakukan sebagai masalah optimalisasi kombinatorial yang ditandai dengan ketidakpastian.

Memecahkan Masalah pencocokan berbagi kendaraan dengan lokasi tempat tujuan penumpang dengan *Fuzzy Bee System*

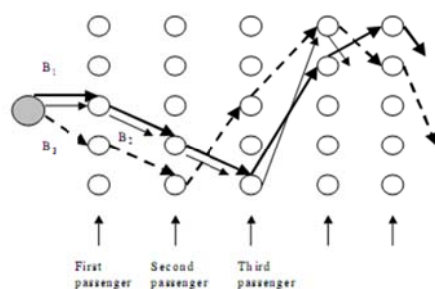
Setiap penumpang yang berpartisipasi dalam *ridesharing* ditandai dengan sebuah *node* (simpul) (Gambar 2). Penumpang pertama dalam mobil (driver) menunjukkan tahap pertama, penumpang kedua yang hendak bergabung dalam *ridesharing* menunjukkan tahap kedua, dll.

Selama *forward pass* lebah akan mengunjungi sejumlah *node* tertentu, menciptakan solusi parsial, dan setelah itu kembali ke sarang (*node O*). Dalam sarang lebah akan berpartisipasi dalam proses pengambilan keputusan.



Gambar 2: First forward pass dan First Backward Pass

Lebah membandingkan semua solusi parsial yang dihasilkan. Berdasarkan kualitas solusi parsial yang dihasilkan, setiap lebah akan memutuskan apakah akan meninggalkan jalur yang dihasilkan dan kembali menjadi pengikut yang tidak komit, melanjutkan terbang di sepanjang jalur yang ditemukan tanpa merekrut teman-teman sesarangnya, atau menari dan dengan demikian merekrut teman-teman sesarangnya sebelum kembali ke jalur yang ditemukan. Dengan bergantung pada kualitas solusi parsial yang dihasilkan, tiap lebah memiliki tingkat loyalitas tertentu terhadap jalur yang sebelumnya ditemukan. Misalnya, lebah B1, B2, dan B3 berpartisipasi dalam proses pengambilan keputusan. Setelah membandingkan semua solusi parsial yang dihasilkan, lebah B1 memutuskan untuk meninggalkan jalur yang sudah dihasilkan, dan bergabung dengan lebah B2.



Gambar 3. Second Forward Pass

Lebah  $B_1$ , dan  $B_2$  terbang bersama di sepanjang jalur yang dihasilkan oleh lebah  $B_2$ . Ketika mereka mencapai ujung jalur, mereka bebas untuk membuat keputusan individual mengenai *node* berikutnya yang hendak disinggahi. Lebah  $B_3$  akan terus terbang di sepanjang jalur ditemukan tanpa merekrut teman-teman sesarangnya (Gambar 3). Dengan cara ini, lebah kembali melakukan *forward pass*.

Selama *forward pass* kedua, lebah akan mengunjungi beberapa *node* lagi, memperluas solusi parsial yang dibuat sebelumnya, dan setelah itu kembali melakukan *backward pass* dan kembali ke sarang (*node* O). Dalam sarang, lebah akan berpartisipasi lagi dalam proses pengambilan keputusan, membuat keputusan, melakukan *forward pass* ketiga, dll. Iterasi berakhir ketika lebah telah mengunjungi semua *node*. Saat memilih *node* berikutnya yang akan dikunjungi selama *forward pass*, lebah merasakan apakah *node* tertentu "kurang menarik", "menarik", atau "sangat menarik", tergantung pada kedekatan ruang dan kedekatan waktu antara dua permintaan penumpang. Kami menyebut kedekatan ini "jarak derivasi", "jarak destinasi", dan "jarak waktu kedatangan". Diasumsikan bahwa lebah artifisial dapat merasakan jarak tertentu antar *node* apakah "dekat", "sedang" atau "jauh".

Algoritma penalaran perkiraan untuk menentukan daya tarik *node* terdiri dari aturan dari tipe berikut:

**Jika** jarak ruang pada awalnya PENDEK, dan jarak ruang tempat tujuan PENDEK, dan jarak waktu kedatangan

PENDEK Maka daya tarik *node* TINGGI

Keburukan jalur (didefinisikan dengan persamaan (2)) digunakan dalam algoritma penalaran perkiraan yang sesuai untuk menentukan loyalitas lebah pada jalur yang ditemukan. Algoritma penalaran perkiraan untuk menentukan daya tarik jalur yang ditawarkan terdiri dari aturan dari tipe berikut:

Jika panjang jalur yang ditawarkan PENDEK, dan jumlah lebah yang menawarkan jalur tsb KECIL

Maka daya tarik jalur yang ditawarkan MEDIUM (sedang).

## KESIMPULAN

*Bee Colony Optimization Metaheuristic* (BCO), mampu memecahkan masalah kombinatorial deterministik, serta masalah kombinatorial yang ditandai dengan ketidakpastian yang diajukan dalam paper ini. *Fuzzy Bee System* (FBS) yang menunjukkan satu dari algoritme BCO juga dijelaskan.. kami berhasil mengaplikasikan FBS pada masalah *ride-sharing*.

Pada saat ini tidak ada hasil teoritis yang dapat mendukung pendekatan yang diusulkan ini. Pengembangan dasar aturan *fuzzy* (tidak jelas) serta pilihan fungsi keanggotaan mengasumsikan prosedur *trial and error*. Biasanya, pengembangan berbagai *metaheuristic* pada tahap awal didasarkan pada percobaan. Hasil percobaan yang baik biasanya memotivasi para peneliti untuk mencoba menghasilkan hasil teoritis. Konsep yang diusulkan dalam paper ini juga demikian.

Hasil awal dari BCO sangatlah menjanjikan. Hasil-hasil ini mengindikasikan bahwa pengembangan model-model baru berdasarkan prinsip-prinsip *Swarm Intelligence* dapat secara signifikan berkontribusi pada solusi terhadap masalah-masalah teknik dan manajemen yang kompleks.

## DAFTAR PUSTAKA

D. Teodorović, "Bee Colony Optimization (BCO)", in *Innovations in Swarm*

- Intelligence, (Editors: C.P. Lim, L.C. Jain, S. Dehuri), 39- 60, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2009
- D. Teodorović, Radivojević, G., "A Fuzzy Sets Approach to the Dynamic Dial-A-Ride Problem", *Fuzzy Sets and Systems*, 116, 23-33, 2000
- L. Zadeh "Computing with Words - Principal Concepts and Idea". Studies in Fuzziness and Soft Computing 277, isbn 978-3-642-27472-5, pp. 3-89. [Springer 2012](#).
- Lucic, P., Teodorovic, D., "Bee System: Modeling Combinatorial Optimization Transportation Engineering Problems by Swarm Intelligence", Preprints of the TRISTAN IV Triennial Symposium on Transportation Analysis, 441-445, Sao Miguel, Azores Islands, Portugal, June, . 2001
- Selmic M., Macura D., Teodorovic D., "Solving the ride matching problem: clustering approach, REACT Conference", 154-159, Belgrade, May 16-17, 2011.