

OPTIMIZATION OF URBAN FREIGHT TRANSPORT NETWORK DESIGN BY GENETIC ALGORITHM

OPTIMASI DESAIN JARINGAN ANGKUTAN BARANG PERKOTAAN DENGAN ALGORITMA GENETIKA

I Made Suraharta¹⁾, Ade Sjafruddin²⁾, Russ Bona Frazilla³⁾, R. Driejana⁴⁾

¹⁾ Post graduate student, Civil Engineering Department, Bandung Institute of Technology
e-mail: made_suraharta@yahoo.com

^{2), 3), 4)} Civil and Environmental Engineering Department, Bandung Institute of Technology

ABSTRACT

Freight movement in urban areas are often faced with competition use of road space with other road users due to limited road space which increased congestion. A less precise selection of freight path between origin destination pairs of freight trip resulted in an increase in cost of goods transport. Both freight operators and road freight transport users have the same goal, which is to minimize their total transportation cost. This research will be conducted an investigation of roads that can be passed with a minimum transport cost by freight for all of pairs of origin destination of goods involved in the road transport network system in such way that could be forming the design of optimum freight network. The optimization goal is to maximize the difference in total cost of freight transportation network system between the existing condition with the condition after optimization. Mathematical models are also included to represent the behavior of the road user traffic. All of optimization process is done in two phases of activity, which is known as the bi-level programming, i.e. the lower and upper level. Lower level contains about the behavior traveling of road users type which showed in traffic assignment process. The solution technique used on this level is user equilibrium assignment with diagonalization. Whereas the upper level includes the formulation of the objective function and solution technique for the optimization. The solution technique used is the GA-I, that is the genetic algorithm with additional operators. The research result is a method of urban freight transport network optimization with GA-I which is significantly robust and providing an optimum solution in a short time on a hypothetical network.

Keywords: route choice, urban freight transport network, multiuser class, genetic algorithm

ABSTRAK

Pergerakan angkutan barang di perkotaan sering dihadapkan pada kompetisi penggunaan ruang jalan dengan pengguna jalan yang lain. Pemilihan lintasan angkutan barang yang kurang tepat antara pasangan asal tujuan perjalanan barang berakibat pada peningkatan biaya transportasi. Bagi operator angkutan barang dan pengguna jalan selain angkutan barang tujuan utama adalah meminimumkan biaya perjalanannya. Pada penelitian ini akan dilakukan investigasi ruas-ruas jalan yang dapat dilewati angkutan barang dengan biaya minimum untuk semua pasangan asal tujuan barang yang terlibat dalam sistem jaringan angkutan jalan sehingga dapat membentuk desain jaringan angkutan barang yang optimum. Tujuan optimasi adalah untuk memaksimalkan selisih total biaya transportasi sistem jaringan angkutan barang antara kondisi eksisting dengan kondisi setelah optimasi. Model matematika untuk merepresentasikan perilaku lalu lintas pengguna jalan. Keseluruhan proses optimasi dilakukan dengan dua tahapan kegiatan, yang dikenal dengan bi-level programming, yaitu lower level dan upper level. Lower level memuat tentang perilaku pengguna jalan di ruas jalan yang ditunjukkan dalam proses pembebanan lalu lintas. Teknik solusi yang digunakan adalah pembebanan lalu lintas user equilibrium dengan diagonalisasi. Sedangkan upper level menggunakan teknik solusi GA-I, yaitu algoritma genetika dengan operator tambahan. Hasil penelitian ini adalah sebuah metode optimasi jaringan angkutan barang di perkotaan dengan GA-I, yang bersifat robust secara signifikan dan memberikan solusi yang optimum dalam waktu singkat pada jaringan hipotetikal.

Kata-kata kunci: pemilihan rute, jaringan angkutan barang perkotaan, klas multiuser, algoritma genetika

PENDAHULUAN

Pergerakan angkutan barang di perkotaan sering dihadapkan pada kompetisi penggunaan ruang jalan dengan pengguna jalan yang lain dikarenakan keterbatasan ruang jalan yang berdampak pada peningkatan kemacetan. Pemilihan lintasan angkutan barang yang kurang tepat antara pasangan asal tujuan perjalanan barang berakibat pada peningkatan biaya transportasi, hal ini merupakan hal buruk bagi operator angkutan barang. Disisi yang lain, pengguna jalan selain angkutan barang juga mempunyai tujuan yang sama, yaitu meminimumkan biaya perjalanannya. Berdasarkan masalah tersebut, pada penelitian ini akan dilakukan investigasi ruas-ruas jalan yang dapat dilewati angkutan barang dengan biaya minimum untuk semua pasangan asal tujuan barang yang terlibat dalam sistem jaringan angkutan jalan sehingga dapat membentuk desain jaringan angkutan barang yang optimum.

Pemilihan ruas jalan dalam rangka desain jaringan angkutan barang merupakan masalah kombinatorik, oleh karenanya pada penelitian ini dikembangkan model matematika yang merepresentasikan perilaku lalu lintas pengguna jalan dengan tujuan optimasi untuk memaksimalkan selisih total biaya transportasi antara kondisi dengan dan tanpa optimasi. Keseluruhan proses optimasi dilakukan dengan dua tahapan kegiatan, yang dikenal dengan *bi-level programming*.

KAJIAN PUSTAKA

Konsep model *bi-level programming* dalam proses pengambilan keputusan telah berkembang sejak lama dan konsep ini dapat diterapkan dalam proses penetapan lintasan angkutan barang perkotaan. Dalam lingkup angkutan barang perkotaan, Taniguchi & Thomson (2003) mengembangkan konsep *city logistic* dalam kerangka *bi-level*, namun perilaku *freight carrier* belum dipengaruhi oleh perilaku lalu lintas non barang (*passenger*).

Bi-level programming merupakan pemrograman perilaku pengambil keputusan dalam menetapkan lintasan angkutan barang optimum, yang terdiri dari *lower level* dan *upper level*. Pada *lower level*, representasi perilaku *freight carrier* dan/atau lalu lintas non barang dipertimbangkan sebagai suatu upaya untuk memodelkan realitas lapangan dalam sebuah kerangka pemodelan. Sedangkan *upper level programming*, merepresentasikan perilaku penentu kebijakan dengan objektifitas dan metode analisis tertentu.

Pada *lower level*, perilaku *freight carrier* dalam memilih rutenya dapat dilakukan dalam konteks *System Optimum (SO)* dan *User Equilibrium (UE)*. Pencarian rute angkutan barang dengan *System*

Optimum dapat dilakukan dalam kondisi lalu lintas statis, dimana biaya *link* (jarak, waktu atau biaya) dianggap tetap. Selain lalu lintas statis, pemilihan rute angkutan barang dengan *System Optimum* dapat dilakukan pada lalu lintas dinamis, dimana biaya *link* dipengaruhi oleh pergerakan lalu lintas total dengan batasan kapasitas ruas jalan. Kondisi ini dapat diwujudkan dengan mengaplikasikan data *real time* atau dengan melakukan simulasi lalu lintas kendaraan dengan optimasi sistem *UE*, yang umum terjadi di perkotaan. Salah satu peneliti yang mengembangkan perutean angkutan barang dengan lalu lintas statis adalah Taniguchi et.al. sedangkan perutean angkutan barang yang dipengaruhi oleh lalu lintas dinamis dikembangkan oleh Frazilla et.al (2005), Yamada et.al (2010), Taniguchi et.al (2007). Lebih jauh pada *lower level*, Frazilla et.al telah mempertimbangkan *multimoda/multiuser* dalam proses optimasi jaringan angkutan barang.

Pada *upper level*, perilaku pengambil kebijakan direpresentasikan dengan metode dalam menetapkan lintasan angkutan barang dengan objektifitas tertentu. Berkaitan dengan pengembangan model pada *upper level*, pada tahun 2009, Taniguchi et.al memperbaiki objektifitas dalam pemilihan rute kendaraan dengan mempertimbangkan dampak polusi udara yaitu NOx dan prinsip *bi level programming* dituangkan dalam konsep multi agen sedangkan metode pemilihan rute terbaik dikembangkan dengan metode Algoritma Genetika. Metode algoritma genetika dalam pemilihan lintasan angkutan barang juga dikembangkan oleh Frazilla, 2005 dan Sofyan et.al (2010). Pemilihan lintasan angkutan barang juga dapat dilakukan melalui mekanisme pembatasan terhadap kendaraan truk barang besar untuk memasuki area perkotaan. Kebijakan ini bisa diterapkan pada area perkotaan karena truk sedang dan besar dianggap sebagai kontributor terbesar emisi NOx dan PM per unit waktu, sepanjang panjang jalan. Metode ini telah ditelaah oleh Castro, dkk. (2009), namun dalam memilih rute yang dibatasi masih dilakukan secara manual.

Upper level dalam konteks *bi-level programming* dapat dianggap sebagai masalah optimisasi kombinatorik. Sekurang-kurangnya terdapat tiga tipe cara (*strict*, *approximately*, dan *metaheuristic*) untuk menyelesaikan masalah optimasi kombinatorik. Pada dekade sebelumnya, beberapa prosedur *metaheuristic* telah dikembangkan dan diaplikasikan dalam lingkungan *soft computing*. Peranan vital dari teknik ini adalah untuk memecahkan masalah pemrograman matematika yang kompleks dan sulit, yang sering melibatkan masalah jaringan yang sulit (*NP-hard Problem*). Teknik ini tidak dapat memastikan hasil solusi

optimal yang eksak, tetapi dapat memberikan hasil yang beralasan dan praktis. Oleh karenanya, pendekatan ini biasanya diaplikasikan untuk masalah optimasi kombinatorik di mana solusi optimal yang bersifat eksak sulit untuk ditentukan.

Ribeiro dan Hansen (2001), Michalewicz dan Fogel (2002), Glover dan Kochenberger (2003), Herz dan Widmer (2003), and Resende dan Pinho de Sousa (2004) telah memberikan pengantar dan konsep dasar metaheuristik yang sangat baik. Secara umum, *Genetic Algorithms (GA)* (misalnya: Holland 1975, Goldberg 1989, Davis 1991, Reeves 1997), tabu search (e.g., Glover and McMillan 1986, Glover dan Laguna 1997), *simulated annealing* (misalnya : Kirkpatrick, Gellat, dan Vecchi 1983; Aarts and Korst 1989), dan optimasi *ant colony* (e.g., Dorigo, Di Caro, and Gambardella 1999; Dorigo and Stutzle 2004) merupakan teknik solusi tipikal dalam *metaheuristic*. Diantara berbagai tipikal teknik solusi *metaheuristic* dalam optimasi kombinatorik di atas, *Genetic Algorithms* lebih sering digunakan dan dikembangkan dalam berbagai varian karena kehandalannya dalam memecahkan masalah. Namun tidak menutup kemungkinan teknik solusi metaheuristik yang lain bisa memberikan hasil yang lebih baik.

Algoritma Genetika adalah metoda *metaheuristic* yang diperkenalkan oleh Holland (1979) yang didasarkan pada mekanisme seleksi alam dan genetika. Solusi yang mungkin dibangun merupakan individu yang diketahui sebagai kromosom. Setiap posisi dalam kromosom dikenal sebagai gen dan nilai gen dikenal nilai *allelic*. Nilai *allelic* yang paling umum adalah nilai binari dari {0,1}. Sejumlah individu yang mempunyai peluang terpilih untuk menjadi solusi membentuk sebuah populasi. Proses dimulai dengan sebuah populasi kromosom acak yang merepresentasikan solusi yang mungkin untuk permasalahan dan populasi keanggotaan kromosom tersebut dievaluasi dengan menggunakan fungsi *fitness* yang terdefinisi dan himpunan/set populasi yang baru dibangkitkan oleh operator genetik. Setiap generasi, metode pencarian lokal menggunakan sebuah fungsi *fitness* untuk mengevaluasi kapasitas sisa dari setiap populasi kromosom dan menggunakan operator sederhana (seleksi, reproduksi dan mutasi) dengan tujuan untuk membuat set baru dari populasi artificial (rekaan). Beberapa aplikasi *GA* dalam masalah optimasi telah dibahas oleh Goldberg (1989). Dalam lingkup transportasi, *GA* juga telah diaplikasi secara luas. Cantarella dan Vitetta (1994) menggunakan *GA* dalam pemrograman multi level untuk desain jaringan dan masalah parkir perkotaan. Pada tingkat yang lebih luas, konfigurasi jaringan baru dievaluasi melalui prosedur genetika. Pada level inti, seting

sinyal lalu lintas dan pembebanan arus pada *link* dijelaskan dengan sebuah metode iteratif disamping prosedur pembebanan lalu lintas, dimana seting sinyal lalu lintas, tundaan pada jaringan dan arus sementara dihitung secara siklis sampai dua pola arus lalu lintas berurutan yang dikendalikan dalam toleransi khusus. Xiong dan Schneider (1993) memperkenalkan perbaikan versi *GA*, *The Cumulative Genetic Algorithm (CGA)*, dan aplikasinya untuk desain jaringan transportasi. Pada *CGA*, semua anggota populasi dengan nilai *fitness* yang tinggi disimpan dan digunakan secara bersama-sama dengan anggota populasi baru sebagai input untuk reproduksi. Hal ini juga dikombinasikan dengan analisis jaringan syaraf untuk memberikan sekumpulan individu selain dari generasi sebelumnya (parent). *GA* Hibrida lainnya diusulkan oleh Kwan and Wren (1994) yang diaplikasikan untuk masalah penjadwalan pengemudi bus. Ia menyatukan *GA*, sebuah aturan yang didasarkan pada estimasi/perkiraan tugas pengemudi, dan pemrograman integer. *GA* dimanfaatkan untuk memproduksi populasi terbaik dan diikuti dengan pemrograman *interger* untuk mengembangkan penjadwalan pengemudi yang optimal. Yamada dkk. (1999) menggunakan pendekatan *GA* untuk memecahkan ukuran dan lokasi terminal logistik yang optimal. Untuk mengembangkan performansi algoritma, operator kelas atas juga disertakan. Operator ini mempertahankan individu terbaik (misal : kromosom dengan fungsi *fitness* yang mempunyai nilai tinggi) dalam sebuah populasi untuk digunakan pada generasi berikutnya. Pengembangan model lebih lanjut menyertakan analisis multi objektif, dikenal sebagai *Vector Evaluation Genetic Algorithm-VEGA*, Frazilla (2005).

PEMODELAN

Kerangka Model

Sebagaimana dijelaskan sebelumnya bahwa kerangka desain jaringan angkutan barang di perkotaan pada makalah ini adalah pemrograman dua tahap (*bi-level programming*). Terdapat dua tingkatan masalah pada kerangka *bi-level*, yaitu masalah level atas (*upper level*) dan masalah tingkat bawah (*lower level*). Permasalahan pada level atas berisikan tentang formulasi fungsi tujuan dan teknik optimasinya, sedangkan permasalahan pada level bawah memuat tentang perilaku lalu lintas pengguna angkutan barang dan tipe pengguna selain angkutan barang dalam sistem jaringan jalan.

Total biaya jaringan yang optimum merupakan tujuan yang ingin dicapai pada penelitian dalam makalah ini. Tujuan ini terintegrasi dalam teknik solusi yang diusulkan pada *upper level*.

Permasalahan Level Bawah (*Lower Level*)

1. Representasi Jaringan Jalan

Sistem jaringan jalan secara umum direpresentasikan sebagai *link* ruas jalan yang saling terhubung dan menghubungkan antara pasangan asal dan tujuan perjalanan. Gambar 1 memperlihatkan jaringan jalan sederhana yang menghubungkan sepasang asal dan tujuan perjalanan. Jaringan jalan tersebut (Gambar 1.a) merepresentasikan dua ruas jalan yang menghubungkan dua *node* (*node* nomor 3 dan 4). Kedua ruas jalan ini dapat menjadi rute pilihan dari pasangan zona asal (1) dan tujuan (2).

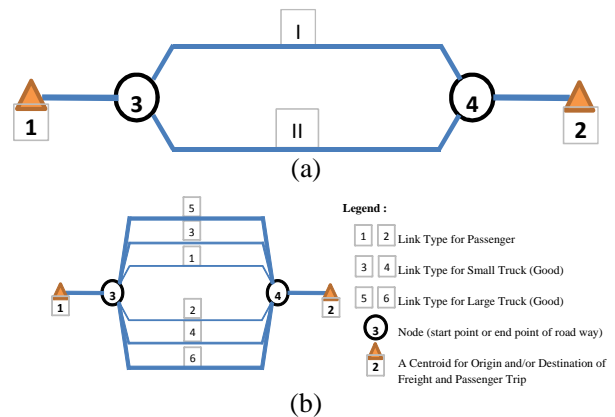
Setiap ruas jalan dikondisikan dapat dilewati oleh kendaraan barang maupun kendaraan lainnya. Dalam pemodelan, ruas jalan tersebut diexplode sehingga seolah-olah terbagi atas *link* ruas jalan sesuai dengan tipe pengguna yang bisa melewatinya (Gambar 1.b).

Pada contoh model jaringan ini, setiap ruas jalan dapat dilewati oleh tiga jenis kendaraan, yaitu kendaraan selain truk (penumpang), truk kecil dan truk besar. Secara berurutan *link* 1 dan 2, merepresentasikan tipe *link* untuk pengguna selain truk (penumpang), *link* 3 dan 4 merepresentasikan *link* untuk tipe pengguna truk kecil dan *link* 5 dan 6 merepresentasikan *link* untuk tipe pengguna truk besar. Representasi jaringan ini didefinisikan sebagai model jaringan abstrak $G(N,A)$, dimana N merupakan kumpulan *node*, dan A merupakan kumpulan *link*.

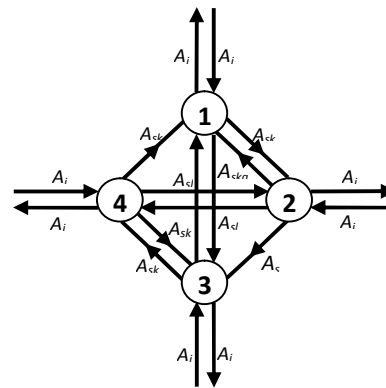
Node 3 dan 4 merupakan contoh *node* yang merepresentasikan persimpangan. Pada kasus jaringan jalan perkotaan, tundaan di persimpangan merupakan komponen jaringan jalan yang sangat penting dan harus dipertimbangkan secara komprehensif. Untuk alasan tersebut, representasi pergerakan kendaraan dipertimbangkan sebagaimana pada Gambar 2. Tundaan di persimpangan merupakan fungsi dari karakteristik operasional kendaraan, arus lalu lintas dan kapasitas simpang.

Terdapat dua tipe simpang menurut tipe pengendaliannya yang dipertimbangkan pada penelitian ini, yaitu simpang bersinyal dan prioritas. Berdasarkan representasi jaringan jalan abstrak, Representasi *link* pada sistem jaringan dinyatakan sebagai set *link* A , yang terdiri dari *link* ruas jalan (A_j), *link* belok kiri pada simpang bersinyal (A_{ski}), *link* menerus pada simpang bersinyal (A_{sl}) *link* belok kanan pada simpang bersinyal (A_{ska}), *link* belok kiri pada simpang prioritas (A_{pki}), *link* menerus pada simpang prioritas (A_{pi}) dan *link* belok kanan pada simpang prioritas (A_{pka}). Pada model jaringan, *centroid connectors* juga dipertimbangkan sebagai *link* abstrak yang menjembatani zona asal dan tujuan

perjalanan (A_c), dengan demikian maka $A = A_j \cup A_{ski} \cup A_{sl} \cup A_{ska} \cup A_{pki} \cup A_{pi} \cup A_{pka} \cup A_c$.



Gambar 1. Representasi jaringan transportasi jalan



Gambar 2. Representasi pergerakan lalu lintas pada sebuah persimpangan

Waktu tunda di setiap pendekatan pada suatu persimpangan merupakan fungsi dari tipe pengendalian simpang, geometri simpang dan karakteristik arus lalu lintas pada setiap pendekatan. Terdapat perbedaan perhitungan waktu tunda antara simpang bersinyal dan prioritas, terutama dalam menentukan kapasitas simpang. Pada simpang bersinyal, kapasitas simpang ditentukan oleh alokasi waktu hijau pada setiap pendekatan sedangkan pada simpang prioritas, kapasitas simpang ditentukan dari tipe simpang dan hambatan sampingnya. Formulasi waktu tunda di persimpangan didasarkan pada metode yang dikembangkan dalam MKJI, 1997.

2. Fungsi Biaya Link

Biaya *link* merupakan salah satu batasan (*constraint*) untuk suatu kendaraan dapat melewati suatu *link* ruas jalan. Biaya yang dikeluarkan pada suatu *link* a oleh tipe pengguna i dinyatakan sebagai *generalized cost* yang terdiri atas komponen tarif dan biaya waktu perjalanan (lihat persamaan 1).

Komponen biaya waktu merupakan hasil kali waktu perjalanan (waktu tunda ditambah waktu bebas) dan nilai waktu untuk setiap tipe pengguna.

$$c_a(x_a^i) = \dots_a^i + r^i d_a^i(x_a^i) \quad (1)$$

dengan:

- \dots_a^i : tarif tipe pengguna i pada *link* a (Rp/km)
- r^i : nilai waktu untuk tipe pengguna i (Rp/jam)
- $d_a^i(x_a^i)$: waktu perjalanan tipe pengguna i pada *link* a (jam)

Komponen tarif merupakan nilai tetap dan tidak bergantung pada volume lalu lintas, sedangkan komponen biaya waktu merupakan fungsi dari nilai waktu dan volume lalu lintas, yang mana nilainya berbeda sesuai dengan tipe *link*. Pada kasus ini, tipe *link* untuk kendaraan barang dan bukan barang (*passenger*) dibedakan. Selanjutnya, untuk pembebanan lalu lintas pada pemodelan transportasi, kedua tipe *link* ini dinyatakan dalam formulasi estimasi polynomial (lihat persamaan 2) untuk menghindari kompleksitas atau solusi yang tidak singular (*non-singularity solution*).

$$d_a^i(x_a^T) = t_0 \left(1 + w_1 x_a^T + w_2 \left(\frac{x_a^T}{r_a^T} \right)^x \right) \quad (2)$$

dengan:

- x_a^T : Arus lalu lintas total pada *link* a (smp/jam)
- r_a^T : kapasitas pada *link* a (smp/jam)
- w_1, w_2, x : Parameter yang dikalibrasi
- $d_a^i(x_a^T)$: waktu tunda pengguna tipe i pada *link* a

3. Teknik Solusi

Prinsip *user optimal* Wardrop menyatakan bawah arus yang didistribusikan pada jaringan sedemikian hingga sehingga biaya perjalanan pada semua rute yang digunakan antara asal dan tujuan adalah sama, sedangkan semua rute yang tidak digunakan mempunyai biaya perjalanan yang sama atau lebih besar.

Kondisi *User Equilibrium (UE)* ini merupakan sebuah masalah ketidaksamaan yang bervariasi (*variational inequality*). Pada kasus ketika matriks Jacobian pada fungsi biaya *link* (*link cost function*) simetris, arus *UE* dapat diperoleh sebagai solusi dari masalah minimasi biaya konveks yang setara (*an equivalent convex cost minimisation problem*).

Pada penelitian ini, barang dan penumpang diperlakukan sebagai pengguna *multi-class*, dengan pemisahan moda dan pemilihan rute dilakukan secara simultan dengan konversi jaringan multimoda

menjadi jaringan moda abstrak unimoda. Oleh karenanya, masalah *UE* yang sesuai dengan hal ini adalah matriks fungsi biaya Jacobian yang tidak dapat dipisahkan dan asimetris (*a non-separable and asymmetric Jacobian matrix cost function among user types*) di antara tipe pengguna. Ini dapat dinyatakan sebagai masalah ketidaksamaan bervariasi (*a variational inequality*).

Dengan mengasumsikan bahwa *marginal cost* angkutan barang yang menggunakan moda tertentu adalah tidak elastis terhadap volume yang dibagi bersama dengan moda lain, masalah pembebanan multimoda menjadi sebuah pembebanan moda tunggal dengan berbagai tipe *link*. Karena terdapat lebih dari satu pengguna yang dibebankan, kasus ini dapat dianggap sebagai masalah pembebanan multi kelas (*multi-class UE assignment problem*) dengan fungsi biaya *non-separable* dan *asymmetric*. Asimetris disebabkan karena turunan pertama dari fungsi biaya berbeda untuk setiap pengguna (yaitu antara barang dan penumpang).

Permasalahan Level Atas (*Upper Level*)

1. Formulasi Fungsi Tujuan

Misalkan pada jaringan jalan sederhana (sebagai contoh pada Gambar 4), *link* ruas jalan dinyatakan sebagai subset A dengan $A=A_1 \cup A_2 \cup A_3$, dimana $A_1 = \{a: a=1, 2, \dots, n\}$ didefinisikan sebagai set *link* eksisting yang tidak dimodifikasi, $A_2 = \{a: a=n+1, n+2, \dots, n+m\}$ sebagai set *link* eksisting yang memungkinkan suatu tindakan (skenario) dapat diimplementasikan, dan $A_3 = \{a: a=n+m+1, \dots, n+2m\}$ sebagai versi *ter-update* dari set A_2 (setelah tindakan diimplementasikan). *Link* pada A_2 dan A_3 diberikan nomor sedemikian hingga sehingga jika $a \in A_2$ dipilih, yaitu, perlakuan yang berkaitan dengan *link* tersebut diimplementasikan, *link* $a+m$ pada A_3 akan menggantikan a , sebaliknya $a+m$ pada A_3 akan dibuang.

Setelah itu, selanjutnya kita mendefinisikan set kombinasi tindakan yang mungkin, y , yang terkait dengan A_3 (or A_2), yaitu, $y = \{y_a | a = n+m+1, n+2m\}$, (or $y = \{y_a | a = n+1, n+m\}$) dimana y_a adalah indikator implementasi tindakan yang mempunyai nilai biner 1 jika tindakan yang bersesuaian dengan *link* a pada set A_2 diimplementasikan, dan 0 jika sebaliknya.

Fungsi tujuan pada permasalahan *upper level* didasarkan pada selisih *total generalised cost* kondisi eksisting dengan *total generalised cost* setelah dilakukan implementasi tindakan. Hal ini merupakan simplifikasi dari kelayakan ekonomi yang mengindikasikan efektifitas ekonomi dari suatu tindakan. Parameter ini dapat menganalisis perbaikan relatif (dibandingkan dengan kondisi awalnya) dari kombinasi tindakan.

Dengan mendenotasikan x^{i*}_{oa} sebagai arus *link equilibrium* untuk pengguna tipe i pada *link* awal, c^i_a sebagai fungsi *generalised link cost* pada *link* a , dan F sebagai set/himpunan tipe pengguna angkutan barang dan tipe pengguna non barang, fungsi tujuan untuk pemilihan kombinasi tindakan akan memaksimalkan nilai selisih *total generalised cost* dari angkutan barang dan non barang. Fungsi tujuan $f(y)$ tersebut dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$\text{Max } f(y) = \sum_{i \in F} \left[\sum_{a \in A_1 \cup A_2} x_{oa}^i c_a^i(x_{oa}^i) - \left(\sum_{a \in A_1} x_a^i c_a^i(x_a^i) + \sum_{a \in A_2} x_a^i c_a^i(x_a^i, y_a) \right) \right] \quad (3)$$

dengan:

x_a^{i*} : arus *link* setiap tipe pengguna yang merupakan solusi permasalahan UE dengan implementasi kombinasi tindakan (smp/jam)

$c_a^i(x_a^{i*}, y_a)$: *generalised cost* pada *link* a menurut tipe pengguna i yang tergantung pada arus equilibrium dan apakah tindakan tersebut diimplementasikan atau tidak (indikator implementasi tindakan y_a) (Rp)

2. Teknik Solusi

Prosedur berdasarkan *GA* digunakan untuk memecahkan masalah pada level atas. *GA* telah secara luas digunakan untuk memberikan perkiraan solusi yang optimal pada berbagai aplikasi praktis. Hampiran solusi dapat dicari melalui operator genetik, seperti generasi, reproduksi (seleksi), *crossover* dan mutasi.

GA sederhana (*Simple Genetic Algorithm*, *SGA*) memulai proses dengan membangkitkan sebuah populasi yang merepresentasikan sekumpulan individu yang menyertakan solusi yang mungkin untuk permasalahan yang dianalisis. Populasi pada generasi berikutnya ditentukan oleh prosedur dimana induk (*parents*) dipilih dan individu baru diproduksi berdasarkan pada karakteristik penyiapan induk (*parents*). Pada perkembangannya, *SGA* dimodifikasi dengan melakukan perubahan pada karakteristik dasar penyiapan induk (*parents*), yaitu dengan menyisakan sejumlah individu elit (individu dengan nilai kecocokan tertinggi) untuk selanjutnya menjadi anggota dari induk yang akan direproduksi. Tipe *GA* ini dikenal dengan *Genetic Algorithm improved with additive (GA-I)*. Prosedur solusi berdasarkan tipe *GA-I* ini diuji pada penelitian ini.

Secara umum, prosedur *GA* yaitu: pada generasi awal, set tindakan dengan jumlah tertentu (yaitu: jumlah individu tertentu) dibangkitkan dan kromosomnya dibuat secara acak. Nilai fungsi objektif yang diberikan oleh persamaan (3)

selanjutnya dihitung untuk setiap individu, dan nilai kecocokannya (*fitness*) dievaluasi juga. Berikut di bawah ini disampaikan outline skema prosedur tersebut.

SGA merupakan versi dasar skema *GA* dengan operator standar pada reproduksi, *crossover* dan mutasi. Dalam hal ini, penskalaan kecocokan linear diberlakukan pada proses reproduksi, dan *crossover* titik tunggal serta mengadopsi prosedur mutasi merayap (*creep mutation*).

Pemilihan individu elit digunakan untuk mempertahankan beberapa individu terbaik untuk generasi selanjutnya. Proses mutasi yang digunakan sama dengan yang diadopsi pada *SGA*, tetapi *crossover* seragam (lihat Gambar 3) diaplikasikan pada proses *crossover*. Algoritma untuk prosedur ini adalah sebagai berikut:

Langkah 1: (Inisialisasi)

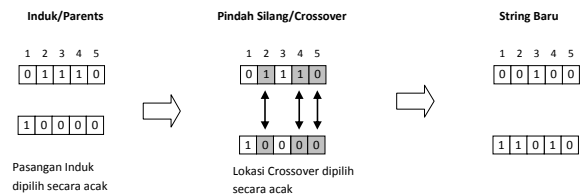
- Membangkitkan populasi awal (sekumpulan string acak) dan set jumlah generasi (g) = 0

Langkah 2: (Perhitungan Kecocokan (*Fitness computation*))

- Menentukan nilai kecocokan (*fitness*) setiap individu pada populasi.

Langkah 3: (Mempertahankan Individu Elit)

- Mengidentifikasi sejumlah individu (yaitu jumlah elit untuk dipertahankan) dengan nilai *fitness* tertinggi.



Gambar 3. Operator *Crossover* seragam

Langkah 4: (Evolution)

- melakukan reproduksi
- melakukan *crossover* seragam (*uniform*)
- melakukan mutasi merayap (*creep mutation*)
- Tetapkan $g = g + 1$

Langkah 5: (Penyisipan Individu Elit dan Pengulangan)

- menyisipkan individu elit dari Langkah ke-3 ke populasi baru.
- jika kondisi penghentian terpenuhi, tentukan nilai *fitness* dari generasi terakhir dan berhenti. Jika tidak, kembali ke Langkah 2.

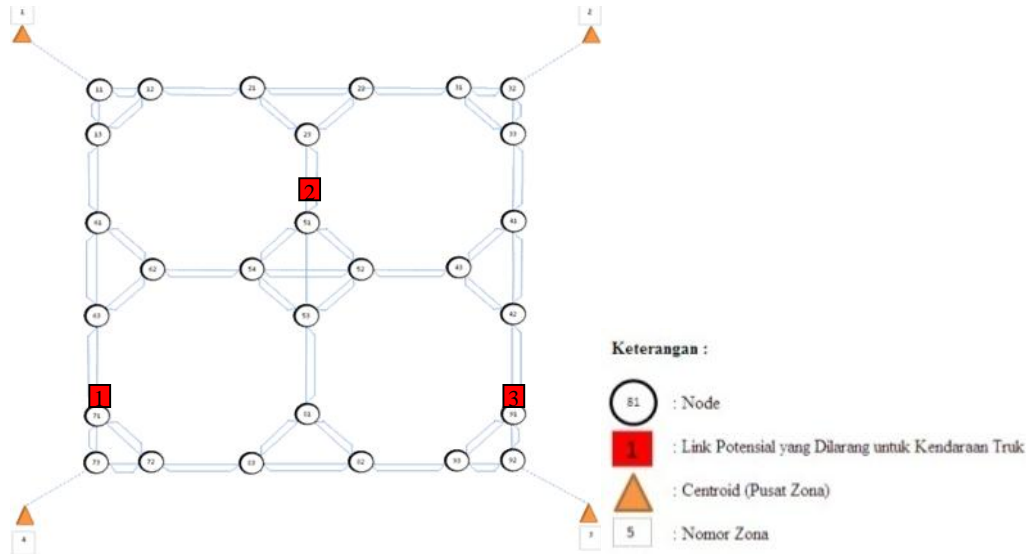
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Untuk memeriksa kinerja model yang sedang dikembangkan, prosedur *GA-I* diuji pada jaringan angkutan hipotetik sederhana (Gambar 4). Jaringan ini tersusun atas 12 ruas jalan, 9 *node* (simpang) ,

dengan 4 (empat) pasang asal tujuan permintaan barang dan penumpang.

Terdapat 3 (tiga) ruas jalan yang berpotensi dilakukan tindakan pembatasan lalu lintas truk (buka tutup *link*), selanjutnya disebut dengan alternatif ruas jalan. Dari 3 (tiga) alternatif ruas jalan tersebut,

selanjutnya akan berkembang menjadi 7 (2^3-1) kombinasi ruas jalan, yang akan diproses oleh prosedur *GA-I*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4 dan Tabel 1. Opsi ini merupakan salah satu dari manajemen angkutan barang yang sering diterapkan di wilayah perkotaan.



Gambar 4. Representasi jaringan jalan hipotetikal yang dibedakan atas *link* angkutan barang dan non barang serta 3 (tiga) kelompok alternatif ruas jalan potensial dibuka/ditutup

No.	Kelompok Alternatif Ruas Jalan	Alternatif <i>Link</i> Ruas yang Potensial dibuka/ditutup
1	1	63-71 dan 71-63
2	2	23-51 dan 51-23
3	3	42-91 dan 91-42

Model yang diusulkan dikatakan baik setelah melalui proses uji ketahanan (*model robustness*). Untuk menguji ketahanan model pembebanan lalu lintas dengan optimasi *GA-I* ini, nilai parameter awal untuk operator genetika yang akan digunakan ditetapkan berdasarkan pada penemuan penelitian sebelumnya (e.g. Goldberg, 1989; Taniguchi, dkk., 1999; Yamada dkk., 1999). Panjang kromosom adalah 3 (kelompok ruas jalan yang menjadi alternatif tindakan), tingkat *crossover* ditetapkan 0,6 dan tingkat mutasi sebesar 0,03. Jumlah elit yang dipertahankan pada setiap generasi adalah 1 (satu).

Ketahanan model optimasi *GA-I* selanjutnya diuji dengan beberapa kombinasi parameter *GA*, yaitu bilangan awal random (*seed random*), jumlah individu dalam satu generasi (*pop size*) dan jumlah generasi dalam sekali proses uji. Model dikatakan *robust* jika pada pengujian beberapa kombinasi parameter *GA* tersebut menunjukkan indikator solusi yang sama, yaitu fungsi tujuan yang konsisten.

Bilangan awal random yang diujikan mulai dari bilangan angka 1 sampai dengan 20, jumlah individu (*pop size*) dalam satu generasi mulai dari 5 sampai dengan 45 dengan interval 5 dan jumlah generasi yang diuji mulai dari 5 sampai dengan 50 dengan interval 5. Jumlah kombinasi parameter *GA* yang diujikan terhadap model adalah 1800 kombinasi.

Hasil pengujian dengan kombinasi parameter di atas menunjukkan bahwa model optimasi *GA-I* dengan pembebanan diagonalisasi memberikan indikasi pencapaian fungsi tujuan optimum yang sama pada setiap angka awal random yang diujikan. Hal ini menunjukkan bahwa model tersebut *robust*. Yang membedakan ketahanan model pada berbagai angka awal random adalah pencapaian nilai fungsi tujuan optimum terjadi pada kombinasi parameter *pop size* dan jumlah generasi yang berbeda.

Tabel 2. Kinerja program pencapaian nilai fungsi objektif optimum pada optimasi jaringan angkutan barang hipotetikal

Seed Random	Pop Size (Jumlah Individu dalam 1 Generasi)								
	5	10	15	20	25	30	35	40	45
	Jml Gen	Jml Gen	Jml Gen	Jml Gen	Jml Gen	Jml Gen	Jml Gen	Jml Gen	Jml Gen
1	10	5	5	10	5	20	20	20	20
2	10	5	10	10	10	15	15	20	25
3	-	10	5	10	20	15	20	25	30
4	-	5	20	15	25	30	15	10	10
5	10	10	-	20	10	15	20	20	30
6	-	-	-	-	-	15	15	20	25
7	-	-	5	20	20	10	20	20	25
8	10	5	5	10	20	10	15	15	20
9	5	5	10	10	15	20	15	20	30
10	-	-	-	-	-	-	10	20	25
11	10	5	10	15	5	20	15	20	-
12	5	5	10	10	25	15	20	20	20
13	10	5	5	15	10	15	15	35	20
14	-	5	10	10	15	20	15	30	15
15	-	15	10	10	20	20	20	25	25
16	-	-	-	15	30	15	15	25	20
17	5	5	5	30	20	10	10	15	20
18	-	-	-	-	-	-	-	45	30
19	-	-	10	10	10	25	15	40	15
20	10	5	10	15	15	20	35	10	25

Keterangan:

Popsize : jumlah individu dalam 1 (satu) generasi

Jml Gen : jumlah generasi dalam 1 kali simulasi

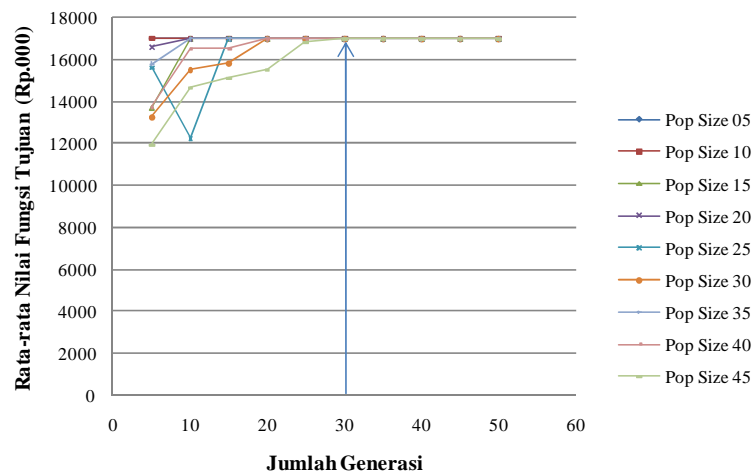
Seed Random : bilangan awal random

Tabel 2 menggambarkan hasil uji model dengan kombinasi beberapa nilai parameter GA. Semakin kecil angka kombinasi parameter GA yang diujikan, semakin cepat waktu yang diperlukan untuk sekali proses uji dan berlaku sebaliknya. Namun semakin besar angka kombinasi parameter uji, tidak menjamin pencapaian nilai fungsi tujuan optimum dapat muncul dengan lebih cepat. Pencapaian

kecepatan munculnya nilai fungsi tujuan optimum menjadi salah satu indikator pemilihan kombinasi parameter GA yang akan digunakan sebagai nilai parameter GA untuk aplikasi model pada jaringan nyata.

Berdasarkan hasil uji pada Tabel 2 dapat diketahui kecepatan munculnya nilai fungsi tujuan optimum pada setiap kombinasi parameter. Munculnya nilai fungsi tujuan optimum tercepat terlihat pada kombinasi *pop size*= 5, jumlah generasi=5 dengan *seed random* 9, 12 dan 17.

Frazila, 2005 menyebutkan bahwa pencapaian nilai fungsi tujuan optimum juga dipengaruhi oleh penetapan panjang kromosom yang diujikan. Pada kondisi jaringan nyata, jumlah kromosom yang merepresentasikan jumlah alternatif tindakan dipastikan lebih dari tiga, oleh karena itu, hasil kecepatan munculnya nilai fungsi tujuan optimum pada uji coba ini tidak menjadi jaminan akan memberikan hasil yang sama jika diterapkan pada jaringan nyata. Jadi perlu dilakukan pemilihan kombinasi parameter dengan hasil uji saat ini sebagai acuan. Dalam pemahaman statistik, semakin besar populasi, semakin rendah peluang munculnya suatu nilai, tetapi semakin besar kemungkinan akan ditemukan suatu nilai yang diharapkan. Oleh karena itu, untuk aplikasi pada jaringan nyata akan dipilih salah satu dari kombinasi parameter yang memberikan peluang yang besar terhadap munculnya suatu nilai. Berikut pada Gambar 5 disampaikan kinerja metode GA-I untuk kombinasi angka awal random 9.



Gambar 5. Pengaruh jumlah populasi dan generasi terhadap konvergensi nilai fungsi tujuan

Berdasarkan gambar diatas dapat diketahui bahwa pada simulasi uji model dengan angka awal random 9, konvergensi untuk semua ukuran populasi (*pop size*) mulai terjadi pada jumlah generasi ke-30. Ukuran populasi yang mencapai konvergen dengan

jumlah generasi terkecil adalah *pop size* 10, yang mulai mencapai konvergen pada jumlah generasi 5. Sedangkan ukuran populasi yang mencapai konvergen dengan jumlah generasi terbesar adalah *pop size* 15, yang mulai mencapai konvergen pada

jumlah generasi 30. Perlunya menetapkan jumlah generasi dan jumlah individu adalah untuk melakukan penghematan waktu simulasi pada jaringan nyata karena semakin besar ukuran populasi dan jumlah generasi, waktu yang diperlukan untuk simulasi optimasi semakin lama.

Berdasarkan hasil uji ketahanan model tersebut, optimasi jaringan barang hipotetikal dengan metode optimasi *GA-I* dan pembebanan diagonalisasi memberikan hasil bahwa menutup kelompok ruas jalan 1 dan 2 (kromosom 110) akan memberikan fungsi tujuan optimum sebesar Rp17.002.000,13. Kelompok ruas jalan 1 adalah menutup *link* 63-71 dan 71-63, dan Kelompok ruas jalan 2 adalah menutup *link* 23-51 dan 51-23.

Tabel 3. Perbandingan pencapaian nilai fungsi objektif optimum untuk beberapa kombinasi kelompok alternatif ruas jalan

No. Kelompok Ruas Jalan	Total biaya transportasi (Rp)	Nilai fungsi objektif (Rp)	% Selisih
2	612.835	8.155	1,3
2,3	620.493	497	0,1
1,2	603.990	17.000	2,7
0	620.990	0	0
1,2,3	625.271	-4.281	-0,7
1,3	612.383	8.607	1,4
Total biaya eksisting	620.990	-	-

Berdasarkan hasil pada Tabel 3 memberikan tambahan keyakinan bahwa dengan mengaplikasikan kelompok ruas jalan no 1 dan 2, akan memberikan selisih penghematan total biaya jaringan sebelum dan sesudah optimasi yang maksimum, yaitu sebesar 2,7%. Nilai ini relatif jauh lebih tinggi dari hasil optimasi jika kombinasi kelompok ruas jalan yang lain diimplementasikan.

KESIMPULAN

Dengan memperhatikan hasil pengujian model diatas dapat diambil kesimpulan:

1. Bahwa model yang dihasilkan mempunyai ketahanan (*robustness*) yang signifikan. Model yang diusulkan diatas sudah terbukti robust, dengan parameter genetika untuk optimasi adalah antara lain: jumlah populasi 5, jumlah individu 5, tingkat crossover 0,6 dan tingkat mutasi 0,03. Jumlah populasi dan individu yang efektif dan efisien tergantung pada besarnya jaringan yang akan dioptimasi serta jumlah alternatif ruas jalan. Oleh karenanya, untuk aplikasi model pada jaringan yang lebih besar harus dicek kembali jumlah populasi dan individu yang efektif dan efisien.
2. Tipe keputusan dengan buka/tutup ruas jalan efektif dalam memberikan solusi desain jaringan angkutan barang yang optimum.

3. Teknik solusi optimasi GA cukup efektif untuk menghasilkan skema jaringan angkutan barang yang efisien, yang ditunjukkan dengan nilai fungsi objektif optimum yang lebih rendah dibandingkan dengan kondisi eksisting.
4. Efektifitas dalam pencarian solusi yang optimum dengan metode GA dapat diandalkan. Metode ini dapat memangkas tahapan kerja yang memerlukan pengulangan, terutama dalam membuat kombinasi skenario. Metode optimasi heuristik GA sangat baik digunakan untuk masalah kombinatorik dengan kombinasi tindakan/skenario yang banyak (2^n-1 , dimana $n =$ alternatif skenario).
5. Keberhasilan pengembangan GA-I pada penelitian ini dari pendahulunya *Simple Genetic Algorithm* (SGA) menjadi pembuktian untuk kesekian kalinya bahwa model optimasi dengan GA-I dapat menjadi metode alternatif untuk optimasi desain jaringan angkutan, khususnya angkutan barang.

SARAN

Berdasarkan kesimpulan diatas, berikut disampaikan beberapa saran untuk meningkatkan kualitas penelitian untuk selanjutnya dapat didiskusikan pada penelitian lanjutan, antara lain:

1. Satu hal yang menjadi kendala adalah perlu untuk mengecek kembali kombinasi parameter yang paling efisien dalam memberikan solusi optimum. Kekurangtepatan dalam menetapkan kombinasi tersebut dapat memberikan tingkat efisiensi waktu simulasi yang rendah, walaupun pada akhirnya akan dapat menemukan solusi optimum yang diharapkan. Oleh karenanya perlu untuk memperhatikan pemilihan yang tepat untuk penetapan lokasi ruas jalan yang akan dibuka/ditutup untuk angkutan barang.
2. Pengembangan metode optimasi masih dimungkinkan, saat ini sudah ada kombinasi GA dengan local search, yang dikenal dengan Genetic Local Search. Metode ini perlu untuk dicobakan pada penelitian yang sama. Metode lainnya adalah kombinasi GA dengan algoritma semut, swarm dan prosedur metaheuristik yang lainnya.
3. Fungsi objektif dapat diperluas, misalnya dengan memasukkan indikator biaya sosial, yang meliputi biaya internal (biaya operasi kendaraan dan waktu perjalanan) dan eksternal (kecelakaan, perawatan, lingkungan yang lebih detail, dll). Constraint biaya investasi dapat juga dipertimbangkan, manakala keputusan tindakan yang diambil menimbulkan biaya yang signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Cantarella, G.E. dan Vitetta, A., 1994, A multicriteria analysis for urban network design and parking location, *TRISTAN I Conference Proceedings Capri*, p.839-852.
- Castro, J.T. dan Delos Reyes, M.R.,2010, Estimating Traffic and Emissions for Various Scenarios of Freight Vehicle Restrictions In Metro Manila, *Asian Transport Studies*, Volume 1, Issue 1, p 4-17.
- Chiou, S. W.,2005, Bilevel programming for the continuous transport network design problem, *Transportation Research Part B*, 39, p. 361–383.
- Crainic, T. G., Florian, M, Leal J. A.,1990, Model for the strategic planning of national freight transportation by rail, *Transportation Science*, 24(1), p. 1-24.
- Crainic, T.G., Florian, M., Leal, J.E.,1990, *A Model for the Strategic Planning of National Freight Transportation in Brazil: Methodology and applications*, part 1, p.13 - 39.
- Dafermos, S. C.,1972, The traffic assignment problem for multiple-user transportation networks, *Transportation Science*, 6(1), p.73-87.
- Dafermos, S. C.,1980, Traffic equilibrium and variational inequality, *Transportation Science*, 14, p.43-54.
- Florian, M., Spiess, H.,1982, The convergence of diagonalization algorithms for asymmetric network equilibrium problems, *Transportation Research*, 16B (6), p. 477-483.
- Feng, C.M., Hsieh, C.H., Peng, S.C., 2009, Optimization of Urban Bus Routes Based on Principles of Sustainable Transportation.
- Frazilla, R.B, 2005., Optimising The Design of Freight Transport Network, *Desertation*, Hiroshima University.
- Frazila, R.B, Yamada, T., Castro, J.,2004, Freight transport planning in Java Island: an optimisation model for terminal development and network expansion, *SCIS & ISIS*.
- Frazila, R. F., Yamada, T., Castro, J.,2004, Modelling multimodal freight transport network towards freight terminal development, *Infrastructure Planning Review*, 21(3), p.619-626.
- Friesz, T.L., Gottfried. dan Morlok, E.K., 1981, A freight network Equilibrium Model, *Presented at The Transportation Equilibrium and Supply Models Symposium*, Montreal, Quebec.
- Goldberg, D. E.,1989, *Genetic Algorithms in Search, Optimisation, and Machine Learning*, Addison-Wesley.
- Kwan, R.S.K., Wren A.,1994, Hybrid genetic algorithms for bus driver scheduling, *Tristan II Conference Proceedings*, Capri.
- Kim, B.J. dan Kim, W., 2006, An Equilibrium Network Design Model with a Social Cost for Multimodal Networks, School of Air Transport, Transportation and Logistic, Hankuk Aviation University, South Korea
- Public Work of Departement of Republic of Indonesia, 1997, *Indonesian Highway Capacity Manual*.
- Ruta, S., 2002, *The Social Cost of Transport*, The World Bank, Washington DC
- Sheffi, Y., 1985, *Urban Transportation Network*, Prentice Hall.
- Sjafruddin, A., Astuti, R.D, Frazilla, R.B., 1999, Regional freight transport demand modeling in the Java island, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol.3. No.3, pp. 303-313.
- Sofyan, M., 200, Kebijakan Sistem Transportasi Barang Multimoda Untuk Mengurangi Kerusakan Jalan Akibat Beban Berlebih, *Desertasi*, ITB, Bandung
- Taniguchi, E., Thomson, R.G, Yamada, T., Duin, R.V., 2001, *City Logistic*.
- Tavasszy. L. A., 1996, Modeling European Freight Transport Flows, *PhD Thesis*, T. U. Delft.
- Thomas, R.,1991, *Traffic Assignment Techniques: Avebury Technical*, England.
- Van Vliet, D.,1978, Improved shortest path algorithms for transport network, *Transportation Research*, 12(1), p. 7-20.
- Van Vliet, D.,1987, The Frank-Wolfe algorithm for equilibrium traffic assignment viewed as a variational inequality, *Transportation Research B*, 21(1), p.87-89.
- Xiong, Y., Schneider J.B., 1993, Transportation network design using a cumulative algorithm and neural network, *Transportation Research Record 1364*.
- Yamada, T., Taniguchi, E., Noritake, M.,1999, Optimal location planning of logistics terminals based on multiobjective programming method, *Urban Transport V*, L.J. Sucharov, ed., WIT Press, p.449-458.
- Yamada, T., Frazila, R.B., Castro, J.T., 2010, Designing Multimodal Freight Transport Networks : A Heuristic Approach and Applications, *Transportation Science*, Vol. 43, No. 2, May 2009, p. 129–143

LAMPIRAN

Lampiran A. Estimasi Biaya Tarif dan Nilai Waktu

Komponen tarif dan nilai waktu perjalanan dalam kasus ini merupakan nilai-nilai untuk Kota Bandung tahun 2012, yang diestimasi dari biaya-biaya dari studi yang dilakukan di Jakarta oleh Dinas Marga, Departemen PU pada tahun 2004 dan 2008 (biaya kesehatan)

1. Biaya Operasi Kendaraan/tarif (Rp/kend per km)
 - Kendaraan Barang = Rp 2.286,00
 - Kendaraan Non Barang (kendaraan lainnya) = Rp 572,00
2. Nilai Waktu Kendaraan (Rp/kend per jam)
 - Kendaraan Barang = Rp 17.621,00
 - Kendaraan Non Barang (kendaraan lainnya) =Rp 13.678,00
3. Biaya Kesehatan (Rp/Km per jam)
 - Kendaraan Barang = Rp 2.903,00
 - Kendaraan Non Barang (kendaraan lainnya) =Rp 23.250,00

Lampiran B. Estimasi Parameter Fungsi Tundaan Waktu Perjalanan di Ruas Jalan dengan Menggunakan Data MKJI

Tipe Ruas Jalan	Kecepatan Bebas Kend. Ringan	Kendaraan Ringan					Kendaraan Berat				
		θ_1	θ_2	γ	SSE	R ²	θ_1	θ_2	γ	SSE	R ²
2/2 UD	30 Km/j	-0.000935893	2.041378204	1.157817058	7.826	0.936	-0.000932293	2.009565590	1.184143639	10.50	0.940
	40 Km/j	-0.000939634	2.047223378	1.131249120	2.663	0.960	-0.000936074	2.015174647	1.156643767	3.52	0.963
	50 Km/j	-0.000936201	2.052704976	1.155645758	1.966	0.957	-0.000932653	2.020620089	1.181546400	2.58	0.960
	60 Km/j	-0.000937445	2.037167743	1.146732760	1.349	0.955	-0.000933858	2.005352241	1.172695628	1.77	0.958
	70 Km/j	-0.000964953	2.297966454	0.967048847	3.715	0.895	-0.000961385	2.262185995	0.988628299	4.86	0.905
4/2 UD	40 Km/j	-0.000461633	1.895202534	1.236476525	4.862	0.901	-0.000456818	1.822295837	1.314264367	7.04	0.915
	50 Km/j	-0.000458258	1.938212378	1.289608670	5.812	0.857	-0.000457393	1.924601424	1.303815605	9.91	0.861
	60 Km/j	-0.000459647	1.916381119	1.267367535	3.908	0.847	-0.000461341	1.942435586	1.240641097	7.36	0.839
	70 Km/j	-0.000460267	1.911870490	1.257765273	1.952	0.889	-0.000463721	1.966075459	1.204332190	4.13	0.839
	80 Km/j	-0.000459389	1.916887018	1.271626023	1.484	0.894	-0.000464159	1.992159402	1.197662951	3.42	0.868
4/2 D	40 Km/j	-0.000419666	1.895202533	1.236476523	4.862	0.901	-0.000414148	1.803516152	1.335527974	6.60	0.916
	50 Km/j	-0.000416598	1.938212380	1.289608676	5.812	0.857	-0.000414669	1.904929042	1.324790828	9.04	0.865
	60 Km/j	-0.000417861	1.916381120	1.267367536	3.908	0.847	-0.000418231	1.922620492	1.260884826	6.67	0.845
	70 Km/j	-0.000418424	1.911870490	1.257765274	1.952	0.889	-0.000420405	1.945951609	1.223740382	3.67	0.879
	80 Km/j	-0.000417626	1.916887019	1.271626024	1.484	0.894	-0.000420801	1.971811337	1.216967743	3.03	0.876
6/2 D	40 Km/j	-0.000279777	1.895202533	1.236476524	4.862	0.901	-0.000274150	1.755749715	1.392027266	7.80	0.912
	50 Km/j	-0.000277732	1.938212380	1.289608676	5.812	0.857	-0.000275330	1.876305656	1.356269405	9.60	0.871
	60 Km/j	-0.000278574	1.916381119	1.267367535	3.908	0.847	-0.000278209	1.907166494	1.277038103	7.19	0.850
	70 Km/j	-0.000278949	1.911870490	1.257765273	1.952	0.889	-0.000280022	1.939508731	1.230059762	4.02	0.881
	80 Km/j	-0.000278418	1.916887018	1.271626023	1.484	0.894	-0.000280544	1.972077665	1.216711861	3.40	0.875