

OPTIMISASI KEBUTUHAN TOTAL ARMADA BUS PERKOTAAN BERDASAR *INTEGER PROGRAMMING*

Prapto Tri Supriyo¹⁾, Bib Paruhum Silalahi²⁾, Farida Hanum³⁾, Hidayatul Mayyani⁴⁾, Toni Bakhtiar⁵⁾

¹FMIPA Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor, Indonesia

email: praptotrisupriyo@gmail.com

Abstrak

Salah satu masalah yang selalu dihadapi oleh operator bus perkotaan adalah penentuan total kendaraan yang harus disediakan guna melayani suatu rute/trayek/koridor pada setiap harinya. Total kendaraan yang dioperasikan setiap harinya bergantung dengan jumlah pengguna yang umumnya tidak selalu sama di setiap harinya. Jumlah pengguna bus di hari kerja pada umumnya berbeda dengan jumlah pengguna di akhir pekan atau hari libur. Selain dari pada itu, setiap harinya jumlah pengguna bus di periode jam sibuk yakni pada saat jam berangkat atau pulang kerja pada umumnya berbeda dengan di luar periode jam sibuk. Berdasar kebutuhan jumlah armada yang harus dioperasikan pada setiap periode waktu di setiap harinya guna melayani suatu rute/trayek/koridor tertentu, penentuan total armada bus yang harus dioperasikan pada setiap harinya tentu sangat bermanfaat guna mengoptimalkan efektivitas dan efisiensi sumberdaya yang tersedia. Paper ini bertujuan memberikan model eksak berdasar integer programming yang dapat digunakan untuk menentukan total bus perkotaan yang harus dioperasikan setiap harinya pada suatu rute/trayek/koridor tertentu. Input model berupa jam pemberangkatan dan kedatangan setiap bus pada suatu hari tertentu dengan output model berupa total bus yang harus disediakan di hari tersebut. Model diimplementasikan menggunakan bantuan perangkat lunak optimisasi Lingo pada Biskita Trans Pakuan Bogor Koridor 2. Berdasarkan waktu eksekusi model yang relatif sangat cepat pada saat implementasi menunjukkan bahwa model dapat dipandang layak untuk digunakan.

Keywords: bus perkotaan, integer programming, optimisasi

1. PENDAHULUAN

Peningkatan kualitas penyediaan dan layanan bus perkotaan merupakan keniscayaan yang harus dilakukan sebagai bagian dari upaya mengurangi kemacetan lalu lintas di daerah perkotaan yang besar dan padat. Seiring semakin meningkatnya kualitas penyediaan dan pelayanan bus perkotaan disinyalir adanya kecenderungan peningkatan *load factor*. Jika peningkatan *load factor* tersebut tidak diimbangi dengan ketersediaan armada bus yang beroperasi dapat menyebabkan penumpukan penumpang di halte. Hal tersebut dapat mengurangi tingkat kepuasan penumpang dan memberikan peluang bagi penumpang menggunakan transportasi pribadi atau mode transportasi lain yang berpotensi menimbulkan kemacetan. Oleh karena itu, operator bus perkotaan perlu melakukan pengambilan keputusan yang tepat dalam menentukan total armada bus yang harus dioperasikan setiap harinya.

Perencanaan sistem transportasi yang baik berdampak pada peningkatan kualitas pelayanan dan biaya operasional yang efisien (Zhong *et al.* 2019). Penelitian mengenai masalah pengiriman bus telah dilakukan oleh Hanum *et al.* (2014) dan Aman *et al.* (2015) dengan hanya menetapkan satu tujuan yaitu meminimumkan biaya operasional bus. Penelitian tersebut hanya memperhatikan sisi perusahaan, padahal pada kenyataannya masalah pengiriman bus juga berdampak pada penumpang. Sehingga dalam masalah pengiriman bus perlu mempertimbangkan tujuan lain yang harus dicapai. Menurut Rindengan *et al.* (2013), model optimisasi yang mempertimbangkan masalah multi tujuan dapat diformulasikan sebagai *goal programming*. Metode *goal programming* memiliki nilai aspirasi untuk setiap fungsi tujuan yang ditetapkan sesuai preferensi pengambil keputusan sehingga bisa berakibat nilai aspirasi tersebut tidak tepat. Ketidaktepatan nilai aspirasi dapat ditangani dengan menyatakan setiap fungsi tujuan dalam

derajat keanggotaan *fuzzy* (Kusumadewi dan Purnomo 2004 dalam Rindengan *et al.* 2013) sehingga masalahnya dapat diselesaikan menggunakan metode *fuzzy goal programming* (FGP).

Supriyo *et al.* (2023), memberikan model FGP guna untuk menentukan skenario pemberangkatan bus perkotaan pada setiap periode waktu yang sekaligus meminimalkan biaya operasional bus dan biaya kerugian waktu tunggu penumpang. Model diimplementasikan pada Biskita Trans Pakuan Bogor Koridor 2. Penelitian ini tidak membahas berapa total bus yang harus dioperasikan pada setiap harinya.

Penelitian ini merupakan lanjutan yang telah dilakukan oleh Supriyo *et al.* (2023) yang bertujuan membangun model eksak berdasar *integer programming* guna menentukan total bus perkotaan yang harus dioperasikan setiap harinya pada suatu rute//trayek/koridor tertentu.

2. KAJIAN LITERATUR

Winston (2004) menyatakan bahwa *operations research* (OR) atau sering juga disebut sebagai *management science* (MS) merupakan pendekatan ilmiah untuk pengambilan keputusan yang bertujuan untuk mendapatkan rancangan atau solusi terbaik dalam pengoperasian suatu sistem yang biasanya berkaitan dengan pengalokasian sumberdaya-sumberdaya yang terbatas. Lebih lanjut dipaparkan pula berbagai model dan *tools* untuk menyelesaikan masalah-masalah optimisasi, beberapa diantaranya terkait dengan masalah *integer programming* yang disertai dengan pembahasan *software* berbasis optimisasi yang digunakan untuk membantu menyelesaikan masalahnya. Salah satu keuntungan penggunaan model *integer programming* adalah relatif fleksibel untuk dimodifikasi dan diadaptasikan. Modifikasi ini dilakukan terhadap fungsi objektif dan kendala-kendala yang terkait sesuai kebutuhan dengan memperhatikan parameter-parameter yang tersedia.

Supriyo *et al.* (2023) memberikan langkah-langkah konstruktif bagaimana menentukan skenario pemberangkatan bus perkotaan pada suatu rute/trayek/koridor sehingga meminimalkan biaya operasional dan biaya kerugian waktu tunggu penumpang. Dalam hal ini, waktu dalam sehari dimana bus beroperasi dibagi kedalam beberapa periode waktu sesuai dengan kebutuhan. Rute bus berawal dari suatu

terminal awal, kemudian melalui sejumlah halte guna menuju terminal akhir, kemudian berlanjut melalui sejumlah halte menuju ke terminal awal. Sehingga rute dapat dipandang sebagai suatu *cycle*. Input model berupa jumlah penumpang yang naik dan turun di setiap halte pada setiap periode waktu. Output model berupa jumlah bus yang harus diberangkatkan pada setiap periode waktu di setiap harinya.

Penelitian ini bertujuan membangun model eksak berdasar *integer programming* guna menentukan total bus perkotaan yang harus dioperasikan setiap harinya pada suatu rute/trayek/koridor tertentu. Input model berupa jam pemberangkatan dan kedatangan setiap bus pada suatu hari tertentu dengan output model berupa total kendaraan yang harus disediakan di hari tersebut. Model divalidasi dan diimplementasikan menggunakan bantuan perangkat lunak optimisasi Lingo pada Biskita Trans Pakuan Bogor Koridor 2.

3. METODE PENELITIAN

Secara umum, penelitian diawali dengan mendiskripsikan masalah secara informal, kemudian membangun model optimisasi beserta analisis matematikanya, dan yang terakhir melakukan validasi model menggunakan bantuan *software* berbasis optimisasi.

Lingkup substansi meliputi kajian dan pembangunan model optimisasi berdasar *integer programming*. Model dianalisis secara matematik dan divalidasi dengan bantuan *software* optimisasi Lingo. Selanjutnya model diimplementasikan menggunakan bantuan perangkat lunak optimisasi Lingo pada Biskita Trans Pakuan Bogor Koridor 2.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pandang suatu rute/trayek/koridor bus perkotaan yang berangkat dari suatu terminal awal, kemudian melalui sejumlah halte guna menuju terminal akhir, kemudian berlanjut melalui sejumlah halte menuju ke terminal awal. Sejumlah armada bus berkapasitas penumpang tertentu digunakan untuk melayani trayek bus perkotaan tersebut. Diketahui jumlah penumpang yang turun dan yang naik di terminal dan di setiap halte pada setiap periode waktu tertentu. Banyaknya armada bus yang harus diberangkatkan dalam setiap periode waktu tertentu sehingga semua penumpang terangkut yang sekaligus meminimumkan biaya operasional bus dan biaya kerugian waktu

tunggu penumpang dapat diperoleh menggunakan model FGP yang diberikan oleh Supriyo *et al.* (2023). Selanjutnya dapat diatur jadwal waktu keberangkatan dan waktu kedatangan setiap bus di terminal awal. Berdasar jadwal waktu keberangkatan dan waktu kedatangan setiap bus akan dibangun model untuk mendapatkan total armada yang harus dioperasikan. Secara sederhana model yang dibangun dapat dipandang sebagai model berdasar *minimum cost network flow problem* (MCNFP) yang dapat diselesaikan menggunakan *network simplex*. Penjelasan tentang MCNFP dapat dilihat di Winston (2004).

Model dibangun dalam dua tahap, yakni: (1) Berdasar waktu keberangkatan suatu bus dari suatu terminal dan waktu kedatangannya (tiba kembali) di terminal semula, dibangun *network* yang merepresentasikan semua kemungkinan pergerakan setiap bus; (2) Berdasar *network* hasil langkah 1, menggunakan konsep MCNFP dibangun model untuk menentukan total armada bus yang dioperasikan.

Formulasi Tahap 1

Input model yang berupa waktu keberangkatan dan kedatangan setiap bus di terminal dapat dinyatakan sebagai matriks berukuran $n \times 2$ dimana n merupakan banyaknya pemberangkatan bus dalam sehari. Unsur-unsur matriks kolom pertama dan kedua secara berturut-turut menyatakan waktu keberangkatan dan kedatangan suatu bus di terminal. Parameter waktu keberangkatan dan kedatangan bus ke- i secara berturut-turut dinyatakan dengan b_i dan d_i . Sehingga setiap baris matriks input di atas menggambarkan adanya aktivitas pergerakan bus ke- i yang berangkat dari terminal pada waktu b_i dan kembali lagi ke terminal pada waktu d_i .

Selanjutnya dibangun matriks segi S berukuran n dengan u_{ij} sebagai unsur-unsurnya, dimana u_{ij} bernilai 1 jika memungkinkan adanya pergerakan bus berstatus d_i menuju ke status b_j , dan bernilai 0 jika selainnya. Sehingga $u_{ij} = 1$ mempunyai makna bahwa bus ke- i akan berubah nomor menjadi bus ke- j . Matriks segi ini akan menjadi input pada tahap berikutnya. Formulasi model untuk membangun matriks segi S diberikan sebagai berikut.

Karena semua unsur matriks segi S bernilai 0 kecuali yang memungkinkan adanya

pergerakan bus berstatus d_i menuju ke status b_j , maka fungsi objektif tahap ini adalah:

$$\text{Minimumkan } f_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n u_{ij}$$

Kendala yang harus dipenuhi model adalah:

1. u_{ij} bernilai 1 jika memungkinkan adanya pergerakan bus berstatus d_i menuju ke status b_j .

$$u_{ij} = 1$$

untuk $i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n; j \geq i; d_i \leq b_j$

2. Variabel keputusan bernilai biner.

$$u_{ij} \in \{0, 1\}$$

Formulasi Tahap 2

Misalkan x_i menyatakan banyaknya bus yang diberangkatkan dari terminal guna melakukan penugasan pada pemberangkatan ke- i , y_i menyatakan banyaknya bus yang didatangkan dari garasi menuju terminal untuk penugasan pada pemberangkatan ke- i , z_i menyatakan banyaknya bus yang dipulangkan dari terminal menuju garasi setelah melakukan penugasan ke- i .

Fungsi objektif tahap ini adalah meminimumkan banyaknya bus yang didatangkan dari garasi menuju terminal, yakni:

$$\text{Minimumkan } f_2 = \sum_i^n y_i$$

Kendala yang harus dipenuhi model adalah:

1. Banyaknya bus yang keluar dari garasi menuju terminal harus sama dengan banyaknya bus yang pulang dari terminal menuju garasi.

$$\sum_{i=1}^n y_i = \sum_{i=1}^n z_i$$

2. Tepat satu bus diberangkatkan pada setiap pemberangkatan ke- i .

$$x_i = 1$$

untuk $i = 1, \dots, n$.

3. Berlaku kesetimbangan pergerakan bus.

$$x_i = y_i + \sum_{j=1}^n u_{ji} v_{ji}$$

$$x_i = z_i + \sum_{j=1}^n u_{ij} v_{ij}$$

Dalam hal ini variabel v_{ij} bernilai biner yang bertugas sebagai pengendali ada atau tidaknya pergerakan bus yang terkait dengan u_{ij} .

4. Semua variabel keputusan bernilai integer tak negatif, kecuali variabel pengendali v_{ij} bernilai biner.

$$y_i, z_i \text{ integer tak negatif} \\ v_{ij} \in \{0,1\}$$

Validasi

Validasi model dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak Lingo dengan input berbagai parameter yang sesuai. Hasil validasi memperlihatkan adanya kesamaan hasil dengan perhitungan di atas kertas untuk semua skenario yang diberikan.

Implementasi Model

Implementasi model dimaksudkan sebagai bagian dari uji model apakah model *reasonable* digunakan khususnya dari sisi waktu eksekusi. Model diimplementasikan pada Biskita Trans Pakuan Bogor Koridor 2. Data input terdiri dari 76 waktu keberangkatan dan kedatangan setiap bus di terminal yang diperoleh dari hasil penelitian Supriyo *et al.* (2023).

Implementasi model menggunakan bantuan perangkat lunak Lingo diperoleh hasil sebanyak 13 bus yang harus dioperasikan pada koridor 2 tersebut. Waktu eksekusi pada kasus ini, baik pada tahap 1 maupun tahap 2 masing-masing memerlukan waktu kurang dari 1 detik.

5. KESIMPULAN

Telah diperlihatkan model optimisasi penentuan total armada bus yang harus dioperasikan pada suatu rute/trayek/koridor berdasar model *integer programming*. Fungsi objektif model adalah meminimumkan total bus. Input model berupa jadwal keberangkatan dan kedatangan bus di terminal. Output model berupa total armada bus yang harus dioperasikan. Hasil implementasi model pada Biskita Trans Pakuan Bogor Koridor 2 memperlihatkan bahwa model yang dibangun dapat dikatakan layak digunakan.

6. REFERENSI

- Aman A, Nurisma, Hanum F, Bakhtiar T. (2015). Buses Dispatching Problem in Urban Transport System. *Far East Journal of Mathematical Sciences*. 96(4): 393-408.
- Hanum F, Aman A, Bakhtiar T, Cahyadi I. (2014). Model Pengoptimuman Dispatching Bus pada Transportasi Perkotaan: Studi Kasus pada Beberapa Koridor TransJakarta. Di dalam: Widyaningsih P, Respatiwan,

- Kuntari S, Kurdhi NA, Utomo PH, Winarno B. Peranan Matematika dan Statistika dalam Menyikapi Perubahan Iklim. Prosiding Seminar Nasional Matematika, Statistika, Pendidikan Matematika, dan Komputasi; 2014 Okt 18; Surakarta, Indonesia. Surakarta: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret Surakarta. hlm 306-314; [diakses 2023 Jan 02]. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/76465>.
- Rindengan AJ, Supriyo PT, Kustiyo A. (2013). Model Fuzzy Goal Programming yang Diselesaikan Dengan Linear Programming pada Perencanaan Produksi. *Journal D'Cartesian*. 2(2): 26 – 32.
- Supriyo PT, Pani P, Mayyani H, Silalahi BP. 2023. Optimisasi Pemberangkatan Armada Bus Perkotaan Berdasar Fuzzy Goal Programming. *PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika* 7, 31-36.
- Winston WL. 2004. *Operations Research: Applications and Algorithms*. New York (US): Duxbury.
- Zhong Q, Lusby RM, Larsen J, Zhang Y, Peng Q. (2019). Rolling Stock Scheduling with Maintenance Requirements at The Chinese High-Speed Railway. *Transportation Research Part B*. 126(2019): 24-