



Optimisasi Pemberangkatan Armada Bus Perkotaan Berdasar *Fuzzy Goal Programming*

Prapto Tri Supriyo^{a,*}, Pani Pebriani^b, Hidayatul Mayyani^c, Bib Paruhum Silalahi^d

^{a, b, c, d} Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia

* Alamat Surel: praptosu@apps.ipb.ac.id

Abstrak

Salah satu upaya pemerintah guna mengajak masyarakat menggunakan angkutan umum atau bus perkotaan adalah dengan meningkatkan kinerja transportasi massal tersebut agar diminati dan nyaman bagi pengguna. Salah satu masalah yang selalu dihadapi oleh operator bus perkotaan adalah kecenderungan peningkatan *load factor* yang terjadi secara terus menerus setiap tahun. Peningkatan *load factor* tersebut apabila tidak diimbangi *transport supply* akan mengakibatkan penumpukan penumpang sehingga dapat mengurangi tingkat kepuasan pengguna. Oleh karena itu diperlukan penentuan jumlah armada bus yang harus diberangkatkan pada setiap periode waktu tertentu sehingga permasalahan tersebut di atas dapat diatasi. Paper ini bertujuan memberikan model eksak berdasar *fuzzy goal programming* yang dapat digunakan untuk menentukan skenario pemberangkatan bus perkotaan yang sekaligus meminimalkan biaya operasional bus dan biaya kerugian waktu tunggu penumpang. Solusi model berupa rekomendasi banyaknya kendaraan yang harus diberangkatkan pada setiap periode waktu tertentu. Model diimplementasikan menggunakan bantuan perangkat lunak optimisasi Lingo pada trayek Biskita Trans Pakuan Bogor Koridor 2. Berdasarkan waktu eksekusi model yang relatif sangat cepat pada saat implementasi menunjukkan bahwa model dapat dipandang *reasonable* untuk digunakan.

Kata kunci:

bus perkotaan, *fuzzy goal programming*, optimisasi

© 2024 Dipublikasikan oleh Jurusan Matematika, Universitas Negeri Semarang

1. Pendahuluan

Sektor transportasi merupakan salah satu sektor yang sangat berperan bagi mobilitas penduduk. Banyaknya penggunaan alat transportasi menjadi penyebab terjadinya kemacetan lalu lintas. Kemacetan banyak terjadi di daerah perkotaan yang besar dan padat. Kemacetan menjadi salah satu masalah serius karena menimbulkan banyak kerugian. Salah satu upaya yang dilakukan pemerintah untuk mengatasi kemacetan ini adalah menyediakan layanan transportasi massal. 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 khususnya dalam masalah pengiriman bus sehingga dapat ditentukan jumlah optimal armada bus yang dapat dioperasikan untuk setiap periode waktu.

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

To cite this article:

Supriyo, P., Pebriani, P., Mayyani, H & Silalahi, B. (2024). Optimisasi Pemberangkatan Armada Bus Perkotaan Berdasar Fuzzy Goal Programming. *PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika* 7, 31-36

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).

Penelitian ini bertujuan memberikan model FGP yang dapat digunakan untuk menentukan skenario pemberangkatan bus perkotaan yang sekaligus meminimalkan biaya operasional bus dan biaya kerugian waktu tunggu penumpang. Model dianalisis secara matematik yang selanjutnya diimplementasikan menggunakan bantuan perangkat lunak optimisasi Lingo pada trayek Biskita Trans Pakuan Bogor Koridor 2.

2. Metode

Secara umum, penelitian diawali dengan mendiskripsikan masalah secara informal, kemudian membangun model optimisasi beserta analisis matematikanya, dan yang terakhir melakukan implementasi model menggunakan bantuan perangkat lunak sebagai bagian dari uji model.

Dengan tidak menghilangkan sifat keumuman, deskripsi masalah dibangkitkan dari lingkup masalah pemberangkatan Biskita Trans Pakuan Bogor Koridor 2 yang akan dikaji sebagai model. Namun demikian model optimisasi yang dibangun tetap bersifat umum sehingga dapat diimplementasikan untuk masalah serupa dengan menyesuaikan parameter-parameter yang terlibat.

Lingkup substansi meliputi kajian dan pembangunan model eksak berdasar FGP guna menentukan skenario pemberangkatan bus perkotaan dengan fungsi objektif meminimumkan biaya operasional bus dan biaya waktu tunggu penumpang. Model eksak berdasar FGP dipilih mengingat bahwa model ini relatif fleksibel untuk dimodifikasi dan diadaptasi sesuai dengan kebutuhan.

Model selanjutnya dianalisis secara matematik dan diimplementasikan pada trayek Biskita Trans Pakuan Bogor Koridor 2. Model diimplementasikan menggunakan bantuan perangkat lunak optimisasi Lingo.

3. Hasil dan Pembahasan

Deskripsi Masalah

Pandang suatu rute/trayek 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. Tujuan model adalah menentukan banyaknya armada bus yang harus diberangkatkan dalam periode waktu tertentu sehingga semua penumpang terangkut yang sekaligus meminimumkan biaya operasional bus dan biaya kerugian waktu tunggu penumpang.

Formulasi Masalah

Formulasi masalah model menggunakan indeks, parameter, variabel keputusan, dan kendala yang diberikan sebagai berikut.

Himpunan dan Indeks

$a \in W$: periode waktu a dari himpunan periode waktu $W = \{1, 2, \dots, w\}$

$b \in H$: halte b dari himpunan halte $H = \{1, 2, \dots, h\}$

Parameter

N_b^a : jumlah penumpang yang naik di halte b pada periode waktu a

T_b^a : jumlah penumpang yang turun di halte b pada periode waktu a

D : jarak tempuh bus

C : kapasitas setiap bus

b_1 : biaya operasional bus (Rp/km)

b_2 : koefisien biaya waktu tunggu penumpang (Rp/jam)

B_1^* : biaya operasional bus tertinggi yang digunakan (Rp)

B_2^* : biaya kerugian waktu tunggu penumpang tertinggi yang digunakan (Rp)

Variabel Keputusan

- D_b^a : jumlah penumpang dalam bus di halte b pada periode waktu a
 C_a : kapasitas total bus yang dioperasikan pada periode waktu a
 CB_b^a : kapasitas yang tersedia dalam bus di halte b pada periode waktu a sebelum penumpang naik
 CS_b^a : kapasitas yang tersedia dalam bus di halte b pada periode waktu a sesudah penumpang naik
 B_a : jumlah bus yang diberangkatkan dari terminal pada periode waktu a

Fungsi Objektif

Fungsi tujuan yang ingin dicapai adalah meminimumkan biaya operasional bus dan meminimumkan biaya kerugian waktu tunggu penumpang.

1. Biaya total operasional bus didefinisikan sebagai perkalian dari biaya operasional bus per kilometer dengan total jarak yang ditempuh oleh semua armada bus (Hanum *et al.* 2014). Fungsi tujuan untuk meminimumkan biaya operasional bus dapat diformulasikan sebagai berikut.

$$\text{Minimumkan } F_1(x) = b_1 D \sum_{a \in W} B_a$$

2. Fungsi tujuan untuk meminimumkan biaya kerugian waktu tunggu penumpang dapat diformulasikan sebagai berikut (Narienda 2009 dalam Suwarno dan Nahdalina 2019).

$$\text{Minimumkan } F_2(x) = \frac{b_2}{2} \sum_{a \in W} \frac{1}{B_a}$$

Kendala

1. Jumlah penumpang dalam bus di halte pertama atau terminal awal pada periode waktu a .

$$D_1^a = N_1^a, \text{ untuk } a = 1, 2, \dots, w$$

2. Jumlah penumpang dalam bus di halte selain halte pertama pada periode waktu a .

$$D_{b+1}^a = D_b^a + N_{b+1}^a - T_{b+1}^a, \text{ untuk } a = 1, 2, \dots, w; b = 1, 2, \dots, h - 1$$

3. Kapasitas total bus yang dioperasikan pada periode waktu a .

$$C_a = C \cdot B_a, \text{ untuk } a = 1, 2, \dots, w$$

4. Kapasitas yang tersedia di dalam bus di halte pertama pada periode waktu a sebelum penumpang naik.

$$CB_1^a = C_a, \text{ untuk } a = 1, 2, \dots, w$$

5. Kapasitas yang tersedia di dalam bus di halte selain halte pertama pada periode waktu a sebelum penumpang naik.

$$CB_{b+1}^a = C_a - D_b^a + T_{b+1}^a, \text{ untuk } a = 1, 2, \dots, w; b = 1, 2, \dots, h - 1$$

6. Kapasitas yang tersedia di dalam bus di halte pertama pada periode waktu a sebelum penumpang naik. Kendala ini merupakan jaminan semua penumpang terangkut dalam setiap periode a .

$$CB_1^a \geq N_b^a, \text{ untuk } a = 1, 2, \dots, w; b = 1, 2, \dots, h$$

7. Kapasitas yang tersedia di dalam bus di halte b pada periode waktu a sesudah penumpang naik

$$CS_b^a = CB_b^a - N_b^a, \text{ untuk } a = 1, 2, \dots, w; b = 1, 2, \dots, h$$

8. Kendala ketaknegatifan dan *integer*

$$D_b^a, CB_b^a, CS_b^a \in \mathbb{Z}^+; \text{ untuk } a = 1, 2, \dots, w; b = 1, 2, \dots, h$$

$$B_a, C_a \in \mathbb{Z}^+; \text{ untuk } a = 1, 2, \dots, w$$

Fuzzy Goal Programming

Menggunakan *preemptive goal programming* dapat diperoleh nilai fungsi objektif (1) dan (2) yang selanjutnya dapat kita tetapkan sebagai level nilai aspirasi untuk setiap fungsi tujuan, yaitu F_1^* dan F_2^* . Kemudian ditentukan biaya operasional bus tertinggi sebesar B_1^* dan biaya waktu tunggu penumpang tertinggi sebesar B_2^* yang digunakan sebagai batasan toleransi dari fungsi tujuan sesuai dengan harapan pengambil keputusan. Fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk meminimumkan biaya operasional dan biaya kerugian waktu tunggu dapat diformulasikan sebagai berikut.

1. Fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk fungsi tujuan meminimumkan biaya operasional bus disimbolkan dengan α sebagai berikut

$$\alpha(x) = \begin{cases} 1, & F_1(x) \leq F_1^* \\ \frac{B_1^* - F_1(x)}{B_1^* - F_1^{**}}, & F_1^* \leq F_1(x) \leq B_1^* \\ 0, & F_1(x) \geq B_1^* \end{cases}$$

2. Fungsi keanggotaan *fuzzy* untuk fungsi tujuan meminimumkan biaya kerugian waktu tunggu disimbolkan dengan β sebagai berikut

$$\beta(x) = \begin{cases} 1, & F_2(x) \leq F_2^* \\ \frac{B_2^* - F_2(x)}{B_2^* - F_2^{**}}, & F_2^* \leq F_2(x) \leq B_2^* \\ 0, & F_2(x) \geq B_2^* \end{cases}$$

Berdasarkan pendekatan operator-min Bellman dan Zadeh, model FGP untuk masalah penentuan jumlah optimal armada bus dapat diformulasikan sebagai berikut.

Maksimumkan λ

dengan kendala:

1. $\lambda \leq \alpha(x)$

$$\lambda \leq \frac{B_1^* - F_1(x)}{B_1^* - F_1^{**}}$$
2. $\lambda \leq \beta(x)$

$$\lambda \leq \frac{B_2^* - F_2(x)}{B_2^* - F_2^{**}}$$
3. $0 \leq \lambda \leq 1$
4. $D_1^a = N_1^a$, untuk $a = 1, 2, \dots, w$
5. $D_{b+1}^a = D_b^a + N_{b+1}^a - T_{b+1}^a$, untuk $a = 1, 2, \dots, w; b = 1, 2, \dots, h - 1$
6. $C_a = C \cdot B_a$, untuk $a = 1, 2, \dots, w$
7. $CB_1^a = C_a$, untuk $a = 1, 2, \dots, w$
8. $CB_{b+1}^a = C_a - D_b^a + T_{b+1}^a$, untuk $a = 1, 2, \dots, w; b = 1, 2, \dots, h - 1$
9. $CB_1^a \geq N_b^a$, untuk $a = 1, 2, \dots, w; b = 1, 2, \dots, h$
10. $CS_b^a = CB_b^a - N_b^a$, untuk $a = 1, 2, \dots, w; b = 1, 2, \dots, h$
11. $D_b^a, CB_b^a, CS_b^a \in \mathbb{Z}^+$, untuk $a = 1, 2, \dots, w; b = 1, 2, \dots, h$
 $B_a, C_a \in \mathbb{Z}^+$, untuk $a = 1, 2, \dots, w$

Implementasi Model

Implementasi model dimaksudkan sebagai bagian dari uji model apakah model *reasonable* digunakan khususnya dari sisi waktu eksekusi. Implementasi model menggunakan data jumlah penumpang naik dan penumpang turun Biskita Trans Pakuan Bogor koridor 2 yang memiliki 43 halte termasuk halte awal yang

juga merupakan terminal awal dan juga terminal akhir. Data jumlah penumpang naik diperoleh dari BTS Trans Pakuan dan Dinas Perhubungan Kota Bogor sedangkan data penumpang turun diperoleh melalui pengamatan karena data tersebut belum tersedia. Periode waktu operasional Biskita dibagi menjadi 16 periode dari jam 05.00 sampai dengan jam 21.00 sebagaimana diberikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Periode waktu operasional Biskita

No	Periode waktu	No	Periode waktu
1	05.00-06.00	9	13.00-14.00
2	06.00-07.00	10	14.00-15.00
3	07.00-08.00	11	15.00-16.00
4	08.00-09.00	12	16.00-17.00
5	09.00-10.00	13	17.00-18.00
6	10.00-11.00	14	18.00-19.00
7	11.00-12.00	15	19.00-20.00
8	12.00-13.00	16	20.00-21.00

Jarak tempuh rute bus adalah 34,65 km dengan biaya operasional bus yang digunakan sebesar Rp. 12.255/km. Koefisien biaya waktu tunggu penumpang ditetapkan berdasar standar upah per jam kerja penduduk setempat (Li *et al.* 2022) yang diperoleh dari data BPS (2022) yaitu upah rata-rata per jam kerja Provinsi Jawa Barat sebesar Rp. 19.038.

Menggunakan *preemptive goal programming* diperoleh nilai fungsi objektif (1) dan (2), yaitu $F_1^* = 32.272.320$ dan $F_2^* = 33.316,50$. Selanjutnya kita tetapkan $B_1^* = 32.600.000$ dan $B_2^* = 35.000$. Menggunakan parameter-parameter tersebut, model dieksekusi menggunakan bantuan *software* Lingo dan diperoleh hasil jumlah pengiriman bus di setiap periode waktu yang diberikan pada Tabel 2. Sementara itu diperoleh nilai $\lambda = 1$ yang artinya nilai fungsi objektif F_1 dan F_2 tercapai secara optimal yaitu 32.272.320 dan 33.316,50.

Tabel 2. Jumlah pengiriman armada bus untuk setiap periode waktu

Periode waktu	Jumlah armada bus	Periode waktu	Jumlah armada bus
05.00-06.00	3	13.00-14.00	5
06.00-07.00	5	14.00-15.00	5
07.00-08.00	6	15.00-16.00	5
08.00-09.00	5	16.00-17.00	5
09.00-10.00	5	17.00-18.00	6
10.00-11.00	5	18.00-19.00	4
11.00-12.00	5	19.00-20.00	4
12.00-13.00	5	20.00-21.00	3

4. Simpulan

Dalam paper ini, telah diperlihatkan bahwa masalah penentuan skenario pemberangkatan bus perkotaan yang sekaligus meminimalkan biaya operasional bus dan biaya kerugian waktu tunggu penumpang dapat dimodelkan sebagai FGP. Implementasi model menggunakan bantuan perangkat lunak optimisasi Lingo pada trayek Biskita Trans Pakuan Bogor Koridor 2 menghasilkan solusi optimum dalam waktu kurang dari satu detik. Hal ini memperlihatkan bahwa model layak untuk diimplementasikan.

Daftar Pustaka

- 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.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. (2022). Upah rata-rata per jam pekerja menurut provinsi (rupiah/jam) 2020-2022, Indonesia 2022 [internet]. [diakses 2023 Apr 28]. <https://www.bps.go.id/indicator/19/1172/1/upah-rata---rata-per-jam-pekerja-menurut-provinsi.html>.

- Hanum F, Aman A, Bakhtiar T, Chahyadi I. (2014). Model pengoptimuman dispatching bus pada transportasi perkotaan: studi kasus pada beberapa koridor TransJakarta. Di dalam: Widyarningsih P, Respatiwan, Kuntari S, Kurdhi NA, Utomo PH, Winarno B, editor. 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>.
- Li D, Liu B, Jiao F, Song Z, Zhao P, Wang X, Sun F. (2022). Optimization method of combined multi-mode bus scheduling under unbalanced conditions. *Sustainability*. 14(15839):1-18
- 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.
- Suwarno N, Nahdalina. (2019). Optimasi jumlah armada busway koridor 7 dengan biaya minimum pengguna jasa. *Jurnal Ilmiah Desain dan Konstruksi*. 18(1): 80-91.
- Zhong Q, Lusby RM, Larsen J, Zhang Y, dan Peng Q. (2019). Rolling stock scheduling with maintenance requirements at the Chinese High-Speed Railway. *Transportation Research Part B*. 126(2019): 24-44