

# PENGOPTIMUMAN BIAYA DISTRIBUSI MENGGUNAKAN *INTEGER PROGRAMMING* DALAM MENYIKAPI KEBIJAKAN GANJIL-GENAP DI JAKARTA

A. Aman<sup>1</sup>, R. F. Anggraini<sup>2</sup>, \*F. Hanum<sup>3</sup>, P. T. Supriyo<sup>4</sup>

<sup>1, 3, 4</sup>Departemen Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,  
Institut Pertanian Bogor, Jl. Meranti, Kampus IPB Dramaga Bogor.  
[aaman@apps.ipb.ac.id](mailto:aaman@apps.ipb.ac.id), [fhanum@apps.ipb.ac.id](mailto:fhanum@apps.ipb.ac.id) \*corresponding author  
[praptosu@apps.ipb.ac.id](mailto:praptosu@apps.ipb.ac.id)

<sup>2</sup>Mahasiswa S1 Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam,  
Institut Pertanian Bogor, Jl. Meranti, Kampus IPB Dramaga Bogor.  
[rima\\_fitrianita@apps.ipb.ac.id](mailto:rима_fitrianita@apps.ipb.ac.id),

## Abstrak

Salah satu aturan yang diterapkan Pemerintah untuk mengurangi kemacetan lalu lintas di Jakarta adalah kebijakan ganjil-genap. Salah satu jenis kendaraan yang terkena dampak kebijakan ini adalah kendaraan distribusi perusahaan ekspedisi. Kebijakan ini membuat biaya distribusi meningkat karena jarak perjalanan menuju agen/konsumen menjadi lebih jauh karena menghindari ruas jalan ganjil-genap ketika nomor-polisi kendaraan yang digunakan tidak sesuai dengan jenis tanggal distribusi. Proses distribusi yang meminimumkan biaya pengeluaran memerlukan penentuan rute yang optimal. Masalah penentuan rute optimal ini diformulasikan ke dalam *Integer Linear Programming*, khususnya dalam bentuk *Vehicle Routing Problem*. Masalah ini diselesaikan menggunakan perangkat lunak LINGO 18.0 dan solusi optimal yang diperoleh berupa rute setiap kendaraan distribusi yang meminimumkan biaya distribusi dan tidak melanggar kebijakan ganjil-genap yang diterapkan Pemerintah.

**Kata kunci:** *integer programming*, Jakarta, kebijakan ganjil-genap, rute distribusi, *vehicle routing problem*

## 1 Pendahuluan

DKI Jakarta sebagai Ibukota Negara Indonesia merupakan kota dengan jumlah penduduk yang banyak. Jumlah penduduk di DKI Jakarta pada tahun 2017 mencapai lebih dari 10,37 juta jiwa [2]. Jumlah penduduk yang banyak ini tak lepas dari banyaknya kendaraan bermotor yang digunakan oleh penduduknya. Pertumbuhan kendaraan bermotor di DKI Jakarta selama lima tahun terakhir mencapai 5,35% per tahunnya, dengan jumlah mobil pribadi mencapai 3,75 juta unit di tahun 2017 [2].

Akibat dari tingginya angka pertumbuhan kendaraan bermotor tersebut, Pemerintah DKI Jakarta membuat kebijakan untuk mengurangi kemacetan yang sering terjadi di ruas jalan, terutama jalan protokol. Di pertengahan 2016, Pemerintah DKI Jakarta secara resmi menghapus kebijakan 3 in 1 yang telah dijalankan sebelumnya karena dinilai sudah tidak lagi efisien. Kebijakan tersebut kemudian diganti menjadi

penerapan sistem ganjil-genap yang diperkuat dengan terbitnya Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 164 Tahun 2016 Tentang Pembatasan Lalu Lintas dengan Sistem Ganjil-Genap.

Kebijakan ganjil-genap masih berlaku meski sudah berganti kepemimpinan. Penerapan sistem ganjil-genap dimanfaatkan untuk memperlancar arus mobilitas para atlet Asian Games dan Asian Para Games 2018 dengan mengeluarkan Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 77 Tahun 2018 tentang Pembatasan Lalu Lintas dengan Sistem ganjil-Genap Selama Penyelenggaraan Asian Games 2018. Setelah perhelatan Asian Games 2018 selesai, sistem ganjil-genap untuk kendaraan bermotor di Jakarta ternyata masih tetap diberlakukan. Per tanggal 31 Agustus 2018, Pemerintah DKI Jakarta mengeluarkan Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 92 Tahun 2018 Tentang Pembatasan Lalu Lintas dengan Sistem ganjil-Genap Menjelang dan Selama Penyelenggaraan Asian Para Games 2018.

Setelah menimbang banyaknya keuntungan dari pemberlakuan sistem ganjil-genap selama Asian Games dan Asian Para Games 2018 tersebut, Pemerintah DKI Jakarta memperpanjang pembatasan lalu lintas dengan sistem ganjil-Genap dengan mengeluarkan Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 106 Tahun 2018 Tentang Pembatasan Lalu Lintas dengan Sistem ganjil-Genap. Kebijakan ini bahkan diperluas pada tanggal 9 September 2019, dari yang semula hanya berlaku di 16 ruas jalan menjadi berlaku di 25 ruas jalan.

Selain kendaraan pribadi roda empat, kebijakan ganjil-Genap ini juga berlaku untuk kendaraan distribusi. Menurut Ketua Umum Asosiasi Logistik Indonesia (ALI) Zaldi Ilham Masita, kebijakan ini akan menambah biaya logistik di Jakarta, terutama perusahaan jasa kurir hingga 20% [4]. Adapun tiga kemungkinan yang bisa dilakukan oleh perusahaan untuk mengatasi permasalahan distribusi akibat adanya kebijakan ini, yaitu melakukan pemilihan kendaraan distribusi berdasarkan kesesuaian ganjil/genap nomor urut registrasi kendaraan (sering disebut dengan “nomor-polisi” atau “pelat nomor”) dengan ganjil/genap tanggal distribusi, menggunakan jarak alternatif untuk kendaraan yang ganjil/genap nomor urut registrasi kendaraannya tidak sesuai dengan ganjil/genap tanggal distribusi, atau yang terakhir adalah membeli kendaraan distribusi yang baru sesuai dengan kebutuhan.

Dalam proses distribusi, ada beberapa kendala yang harus dihadapi, antara lain jumlah permintaan barang yang berbeda-beda pada setiap konsumen, kapasitas kendaraan, batas waktu pengiriman, serta lokasi konsumen yang berbeda. Oleh karena itu, diperlukan suatu cara agar proses distribusi dapat berjalan dengan lancar dan tepat waktu. Salah satu cara yang dapat dilakukan dalam proses distribusi ialah dengan mengoptimalkan rute kendaraan agar waktu yang digunakan untuk melayani konsumen lebih efisien dan barang sampai ke konsumen tepat waktu. Dalam penentuan rute tersebut, setiap perusahaan memiliki kendala yang berbeda-beda.

Penelitian ini bertujuan menentukan rute distribusi optimal untuk kendaraan kurir/ekspedisi yang beroperasi di Jakarta, baik pendistribusian di tanggal ganjil maupun pendistribusian di tanggal genap, yang akan diformulasikan menggunakan *Integer Programming*. Selain itu, dalam penelitian ini akan dianalisis pengaruh kebijakan ganjil-genap terhadap perbedaan antara biaya distribusi normal dengan biaya distribusi ketika ada kebijakan ganjil-genap tersebut.

## 2 Tinjauan Pustaka

Terdapat beberapa penelitian mengenai pengaruh kebijakan ganjil-genap, namun sebagian besar terkait dengan tingkat pencemaran udara, seperti pada [16], [20],[24], [32], [13], [8] untuk kasus di New Delhi, India; [34], [21], [44], [42] di Beijing, China; [10] di Mexico, dan [26] di Jakarta. Selain kualitas udara, beberapa hal yang dipengaruhi adanya kebijakan ganjil-genap juga diteliti, seperti analisis sentimen dan peran serta masyarakat terhadap kebijakan ganjil-genap di New Delhi, India [9], [31], dan di Jakarta [43]; tingkat kemacetan lalu lintas, tingkat pelayanan moda transportasi umum, pelayanan parkir dll seperti dalam [15], [17], [23], [21], [35], [12]; tingkat kebisingan sekitar [11], kebiasaan perjalanan [38], maupun aspek hukum yang mendasari pelaksanaan kebijakan dalam [28].

Tidak banyak kajian mengenai penggunaan model atau teknik matematik untuk meninjau pengaruh kebijakan ganjil-genap. Beberapa peneliti menggunakan teknik penyelesaian seperti *Analytical Hierarchy Process & Dempster-Shafer Theory* [15], RDD (*Regression Discontinuity Design*) Analysis [16], analisis berbasis *lexicon* [7], Uji T dan korelasi Pearson [26], algoritma BM25 (*Best Matching 25*) dan *K-Nearest Neighbor* [43], serta *Mixed Integer Linear Programming* disertai dengan *time windows* [26].

Dalam penelitian ini penentuan rute distribusi kendaraan kurir yang menyikapi kebijakan ganjil-genap di Jakarta pada penelitian ini akan diformulasikan menggunakan *Vehicle Routing Problem* (VRP) dengan kendala tambahan berupa adanya permintaan di setiap pelanggan dan batasan kapasitas kendaraan yang digunakan. *Vehicle Routing Problem* (VRP) adalah masalah penentuan rute-rute optimal yang meminimumkan biaya sehingga (i) setiap pelanggan selain depot dikunjungi tepat satu kali oleh tepat satu kendaraan dan (ii) semua rute kendaraan berawal dan berakhir di depot [20]. *Vehicle Routing Problem* merupakan suatu *integer programming*, yaitu suatu pemrograman linear sehingga semua atau sebagian variabelnya merupakan bilangan bulat (integer).

Batasan tambahan yang muncul dalam VRP mengakibatkan munculnya beberapa varian dalam VRP, salah satunya adalah batasan bahwa setiap pelanggan memiliki sejumlah permintaan yang dipenuhi oleh kendaraan-kendaraan yang memiliki kapasitas tertentu. VRP seperti ini merupakan VRP Berkapasitas (*Capacitated VRP/CVRP*). Implementasi model VRP ini mampu menekan biaya yang dikeluarkan sebesar 5-20% dari total biaya transportasi yang biasa dikeluarkan [1].

Dilihat dari keberagaman permintaan pelanggan, CVRP dapat dibedakan menjadi CVRP dengan permintaan sama dan CVRP dengan permintaan berbeda, sedangkan dari sifat jarak/waktu tempuh antar pelanggan CVRP dapat dibedakan menjadi dua jenis CVRP. Misalkan  $c_{ij}$  adalah jarak/waktu tempuh kendaraan dari pelanggan  $i$  ke pelanggan  $j$ . Jika  $c_{ij} = c_{ji}$ , maka CVRP-nya merupakan CVRP Simetrik; selainnya merupakan CVRP Asimetrik. Selain dari keberagaman permintaan, CVRP juga dapat dibedakan dari cara pemenuhan permintaan, apakah satu pelanggan dilayani oleh hanya satu kendaraan ataukah permintaan pelanggan dapat di-*split* sehingga permintaan tersebut boleh dipenuhi oleh lebih dari satu kendaraan. Masih banyak varian lain dari CVRP, seperti *single* ataukah multi-depot, permintaan bersifat deterministik ataukah stokastik, dan lain-lain.

CVRP dapat diselesaikan dengan metode eksak maupun metode heuristik [39]. Metode eksak yang dapat digunakan untuk menyelesaikan CVRP di antaranya adalah metode *branch and bound* [19], *branch and cut* [22], [3], *branch and price* [29], *branch-and-cut-and-price* [30], dan masih banyak lagi. Selain metode eksak, telah banyak metode hampiran/heuristik yang dikembangkan untuk menyelesaikan CVRP, seperti

dalam [40] untuk menyelesaikan CVRP Asimetrik. Metode heuristik lainnya di antaranya adalah algoritma *simulated annealing* [41], algoritma koloni lebah [37], POPMUSIC matheuristic [18], *hybrid* antara algoritma *tabu search* dan algoritma *tree search* [5], dan masih banyak lagi.

Beberapa masalah pengoptimuman dalam kehidupan nyata dapat diformulasikan ke dalam bentuk CVRP, di antaranya pengoptimuman penggunaan bahan bakar [41], distribusi gas alam cair (*liquified natural gas*) di Sulawesi [6], pengumpulan sampah padat [14], dan berbagai masalah penentuan rute lainnya. Dalam penelitian ini, masalah penentuan rute distribusi kendaraan ekspedisi diformulasikan ke dalam model *integer linear programming* berbasis CVRP dengan beberapa modifikasi. Model penentuan rute distribusi ini menggunakan satu depot dengan beberapa kendaraan dengan kapasitas tertentu, permintaan pelanggan berbeda-beda namun bersifat deterministik, jarak antar pelanggan bersifat asimetrik, setiap pelanggan hanya dilayani oleh satu kendaraan, dan ditentukan solusi eksaknya menggunakan *software* LINGO 18.0.

### 3 Hasil dan Pembahasan

#### 3.1 Deskripsi Masalah

Masalah distribusi yang dibahas dalam penelitian ini adalah masalah penentuan rute perjalanan dari beberapa kendaraan yang dimiliki suatu perusahaan yang berasal dari sebuah depot ke sejumlah agen (konsumen) yang bertujuan meminimumkan total biaya yang dikeluarkan dalam satu periode distribusi barang. Total biaya distribusi adalah penjumlahan dari biaya tetap penggunaan kendaraan dan biaya perjalanan kendaraan. Misalkan terdapat sejumlah  $k$  kendaraan yang dimiliki sebuah perusahaan dengan sebuah depot, maka setiap kendaraan tersebut harus berangkat dari depot dan berakhir pula di depot tersebut. Setiap agen hanya dikunjungi tepat satu kali oleh satu kendaraan. Kendaraan diperbolehkan tinggal di depot jika tidak digunakan. Setiap agen memiliki permintaan yang harus dipenuhi dan setiap kendaraan memiliki kapasitas maksimum yang bervariasi dan tidak bisa dilanggar.

Adapun kendala tambahan dalam model *Vehicle Routing Problem* pada penelitian ini adalah dengan adanya pemberlakuan kebijakan ganjil-genap di beberapa ruas jalan yang akan dilalui oleh kendaraan distribusi perusahaan tersebut. Hal ini menyebabkan tidak semua kendaraan yang dioperasikan untuk distribusi bisa melalui rute dengan jarak normal (jarak terdekat). Jika ganjil/genapnya nomor urut registrasi kendaraan yang digunakan berbeda dengan ganjil/genapnya tanggal distribusi, maka kendaraan tersebut harus menempuh rute dengan jarak lebih jauh yang tidak terkena kebijakan ganjil-genap, supaya kendaraan tersebut tidak terkena sanksi denda.

#### 3.2 Formulasi Masalah

Berdasarkan deskripsi masalah yang telah diberikan, maka masalah pendistribusian barang ini dapat diformulasikan sebagai masalah *Integer Linear Programming*. Adapun beberapa asumsi yang digunakan untuk membatasi permasalahan ini, berikut adalah asumsi-asumsi yang digunakan dalam model.

1. Jarak antar-*node* adalah tidak simetrik dan merupakan jarak terdekat antar-*node*.
2. Semua kendaraan yang digunakan adalah kendaraan yang wajib mengikuti kebijakan ganjil-genap.

Di dalam proses pendistribusian barang, diperlukan kendaraan untuk mengantarkan barang-barang tersebut menuju semua konsumen/agen. Selain kendaraan, diperlukan pula penentuan rute pendistribusian. Dikarenakan pemberlakuan kebijakan ganjil-genap, maka penentuan rute untuk distribusi pun harus memperhatikan ganjil/genapnya nomor registrasi (selanjutnya disebut nomor-polisi) kendaraan yang digunakan. Permasalahan distribusi tersebut dapat diformulasikan sebagai berikut.

### Himpunan

$I$  = Himpunan semua agen (konsumen),  $I = \{2, \dots, n\}$

$J$  = Himpunan semua *node*,  $J = \{1, 2, \dots, n\}$  dengan *node* 1 menyatakan depot.

$K_1$  = Himpunan kendaraan bernomor-polisi ganjil,  $K_1 = \{1, 2, \dots, p_1\}$

$K_2$  = Himpunan kendaraan bernomor-polisi genap,  $K_2 = \{p_1 + 1, \dots, p_2\}$

$K$  = Himpunan semua kendaraan,  $K = K_1 \cup K_2$

### Indeks

$i, j, r$  = Indeks untuk menyatakan *node*

$k$  = Indeks untuk menyatakan kendaraan

### Parameter

$g_{i,j}$  = Jarak dengan rute ganjil-genap dari *node*  $i$  ke *node*  $j$  dalam kilometer

$h_{i,j}$  = Jarak tanpa rute ganjil-genap dari *node*  $i$  ke *node*  $j$  dalam kilometer

$d_i$  = Banyak permintaan *node*  $i$  dalam kilogram

$c_k$  = Kapasitas maksimum kendaraan  $k$  dalam kilogram

$f_k$  = Biaya tetap penggunaan kendaraan  $k$  dalam rupiah

$v_k$  = Biaya perjalanan per kilometer kendaraan  $k$  dalam rupiah

$b_{i,j}$  = Biaya perjalanan dengan jarak terdekat dari *node*  $i$  ke *node*  $j$  dalam rupiah

$$b_{i,j} = v_k * g_{i,j}$$

$a_{i,j}$  = Biaya perjalanan dengan rute alternatif dari *node*  $i$  ke *node*  $j$  dalam rupiah

$$a_{i,j} = v_k * h_{i,j}$$

$n$  = Banyak *node*

### Variabel Keputusan

$x_{i,j,k}$  =  $\begin{cases} 1, & \text{jika } \textit{node } j \text{ dikunjungi setelah } \textit{node } i \text{ dengan kendaraan } k \\ 0, & \text{jika selainya} \end{cases}$

$y_k$  =  $\begin{cases} 1, & \text{jika kendaraan } k \text{ digunakan untuk distribusi} \\ 0, & \text{jika selainya} \end{cases}$

$z_j$  =  $\begin{cases} 1, & \text{jika } \textit{node } j \text{ memiliki permintaan lebih besar dari } 0 \\ 0, & \text{jika selainya} \end{cases}$

$u_{i,k}$  = Variabel tambahan yang digunakan dalam eliminasi *subtour* untuk *node*  $i$  pada kendaraan  $k$

### Kendala

Kendala yang harus dihadapi dalam model penentuan rute distribusi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Tidak ada perjalanan kendaraan menuju *node* yang sama.

$$x_{i,i,k} = 0, \forall k \in K; \forall i \in J$$

2. Setiap kendaraan berasal dari depot dan tidak semua kendaraan harus dioperasikan.

$$\sum_{j \in I} x_{1,j,k} \leq 1, \forall k \in K_t; t = 1,2$$

3. Tidak ada *node* yang dikunjungi oleh kendaraan yang tidak digunakan.

$$x_{i,j,k} \leq y_k, \forall i, j \in J; \forall k \in K$$

4. Setiap *node* dilayani paling banyak oleh satu kendaraan.

$$\sum_{i \in J} \sum_{k \in K} x_{i,j,k} \leq 1, \forall j \in I$$

Kendala di atas menunjukkan bahwa akan terpilih paling banyak satu kendaraan untuk melakukan perjalanan dari salah satu *node* menuju *node*  $j$  untuk dilayani.

$$\sum_{j \in J} \sum_{k \in K} x_{i,j,k} \leq 1, \forall i \in I$$

Kendala di atas menunjukkan bahwa setelah *node*  $i$  dilayani, maka kendaraan akan meninggalkan *node*  $i$  dan menuju *node* yang dipilih dari beberapa *node* untuk dilayani.

5. Setiap kendaraan yang beroperasi harus berasal dari depot.

$$\sum_{j \in I} x_{1,j,k} = y_k, \forall k \in K_t; t = 1,2$$

6. Setiap kendaraan yang beroperasi harus kembali ke depot.

$$\sum_{i \in I} x_{i,1,k} = y_k, \forall k \in K_t; t = 1,2$$

7. Rute harus kontinu, artinya setiap kendaraan yang mengunjungi suatu agen pasti akan meninggalkan agen tersebut.

$$\sum_{\substack{i \in J \\ i \neq r}} x_{i,r,k} - \sum_{\substack{j \in J \\ j \neq r}} x_{r,j,k} = 0, \forall k \in K, \forall r \in I$$

8. Total permintaan agen/konsumen yang dibawa oleh setiap kendaraan tidak boleh melebihi kapasitas maksimum kendaraan yang digunakan.

$$\sum_{i \in J} \sum_{j \in J} d_i x_{i,j,k} \leq c_k, \forall k \in K$$

9. Kendala eliminasi *subtour* yang bertujuan membentuk adanya *tour* yang fisibel.

$$u_{i,k} - u_{j,k} + n x_{i,j,k} \leq n - 1, \forall i, j \in I; \forall k \in K$$

10. Kendala *node* harus dikunjungi ketika permintaan lebih besar dari 0

$$\sum_{i \in J} \sum_{k \in K} x_{i,j,k} = z_j, \forall j \in I$$

11. Kendala biner.

$$x_{i,j,k} \in \{0,1\}, \forall i, j \in J; \forall k \in K; i \neq j$$

$$y_k \in \{0,1\}, \forall k \in K$$

### Fungsi Objektif

Fungsi objektif untuk model distribusi ini adalah meminimumkan total biaya distribusi yang diperoleh dari penjumlahan biaya perjalanan dan biaya tetap kendaraan. Total biaya perjalanan terdiri dari penjumlahan biaya perjalanan dengan jarak terdekat

untuk kendaraan yang ganjil/genap nomor-polisinya sesuai dengan ganjil/genap tanggal distribusi ditambah dengan biaya perjalanan dengan rute alternatif untuk kendaraan yang ganjil/genap nomor-polisinya berbeda dengan ganjil/genap tanggal distribusi; sementara total biaya tetap kendaraan adalah penjumlahan biaya tetap semua kendaraan yang digunakan.

Biaya pendistribusian menggunakan jarak terdekat yang digunakan oleh kendaraan bernomor-polisi ganjil untuk distribusi di tanggal ganjil, secara matematis dapat ditulis:

$$Pga(k) = \sum_{k \in K_1} f_k y_k + \sum_{i,j \in J} \sum_{k \in K_1} b_{i,j} g_{i,j} x_{i,j,k}$$

Sementara itu, biaya pendistribusian menggunakan jarak terdekat yang digunakan oleh kendaraan bernomor-polisi genap untuk distribusi di tanggal genap, secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$Pge(k) = \sum_{k \in K_2} f_k y_k + \sum_{i,j \in J} \sum_{k \in K_2} b_{i,j} g_{i,j} x_{i,j,k}$$

Adapun biaya pendistribusian menggunakan rute alternatif yang digunakan oleh kendaraan bernomor-polisi genap di tanggal ganjil, secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$Qga(k) = \sum_{k \in K_2} f_k y_k + \sum_{i,j \in J} \sum_{k \in K_2} a_{i,j} h_{i,j} x_{i,j,k}$$

Sementara itu, biaya pendistribusian menggunakan jarak alternatif yang digunakan oleh kendaraan bernomor-polisi ganjil di tanggal genap, secara matematis dapat ditulis sebagai berikut:

$$Qge(k) = \sum_{k \in K_1} f_k y_k + \sum_{i,j \in J} \sum_{k \in K_1} a_{i,j} h_{i,j} x_{i,j,k}$$

Secara keseluruhan, fungsi objektif yang bertujuan meminimumkan total biaya dalam pendistribusian di tanggal ganjil dapat dituliskan dalam bentuk matematis sebagai berikut:

$$\min Z = \sum_{k \in K_1} Pga(k) + \sum_{k \in K_2} Qga(k)$$

Sementara itu, fungsi objektif yang bertujuan meminimumkan total biaya dalam pendistribusian di tanggal genap dapat dituliskan dalam bentuk matematis sebagai berikut:

$$\min Z = \sum_{k \in K_2} Pge(k) + \sum_{k \in K_1} Qge(k)$$

### 3.3 Implementasi Model

Model *integer programming* ini akan diimplementasikan pada suatu masalah distribusi di suatu perusahaan ekspedisi yang memiliki kantor pusat atau agen di daerah Jakarta dan sekitarnya, yaitu J&T Express. Data alamat agen perusahaan diambil dari *website* perusahaan ekspedisi tersebut, data jarak diambil dari Google Maps, sedangkan data permintaan dan data kendaraan (banyak kendaraan, kapasitas kendaraan, ganjil/genap nomor-polisi) merupakan data hipotetik untuk kepentingan simulasi saja.

Tabel 1 Data nama *node*, alamat, dan permintaan

No	Nama Node	Alamat	Permintaan
1	J&T Express Rawa Bokor (Depot)	Jl. Husein Sastranegara No. 65, Benda, Tangerang	0
2	J&T Express Cideng	Jl. Cideng Timur No. 27A, Gambir, Jakarta Pusat	70
3	J&T Express Senen	Jl. Kramat Sentiong No. 15B, Senen, Jakarta Pusat	65
4	J&T Express Ruko Roxy	Ruko Roxy Mas Blok D5 No. 15, Gambir, Jakarta Pusat	78
5	J&T Express Thamrin	Mall Thamrin City Lt. 3 Blok C16 No. 5, Tanah Abang, Jakarta Pusat,	84
6	J&T Express Dr. Satrio	Jl. Prof. Dr. Satrio No. 248, Setiabudi, Jakarta Selatan	68
7	J&T Express Pangeran Jayakarta	Jl. Pangeran Jayakarta No. 63B, Taman Sari, Jakarta Barat	92
8	J&T Express LTC Glodok	Gedung LTC Glodok Lt. 2 Blok C30 No. 36, Taman Sari, Jakarta Barat	105
9	J&T Express Kramat Raya	Jl. Kramat Raya No. 3C, Senen, Jakarta Pusat	96
10	J&T Express Senen Raya	Jl. Senen Raya, Senen, Jakarta Pusat	79
11	J&T Express Gunung Sahari	Jl. Kepu Timur Raya No. 2A Kemayoran, Jakarta Pusat	88
12	J&T Express Glodok	Glodok City Lt.1 BKS No. 4,5,6, Taman Sari, Jakarta Barat	102
13	J&T Express Tambak	Jl. Tambak II No. 8A, Menteng, Jakarta Pusat	76
14	J&T Express Tanah Abang 3	Pasar Tanah Abang Blok B Lt. 10 Los III No. 6, Tanah Abang, Jakarta Pusat	98
15	J&T Express Kendal	Jl. Kendal No. 3, Menteng, Jakarta Pusat	95
16	J&T Express Harmoni	Jl. Suryopranoto No. 2, Gambir, Jakarta Pusat	100

Tabel 2 Kapasitas, biaya tetap, dan jenis nomor-polisi kendaraan

Kendaraan	Kapasitas (kg)	Biaya Tetap (Rp)	Nomor-Polisi
1	200	50000	ganjil
2	100	30000	ganjil
3	150	40000	ganjil
4	500	80000	ganjil
5	300	60000	ganjil
6	250	55000	genap
7	275	57500	genap
8	500	80000	genap
9	100	30000	genap

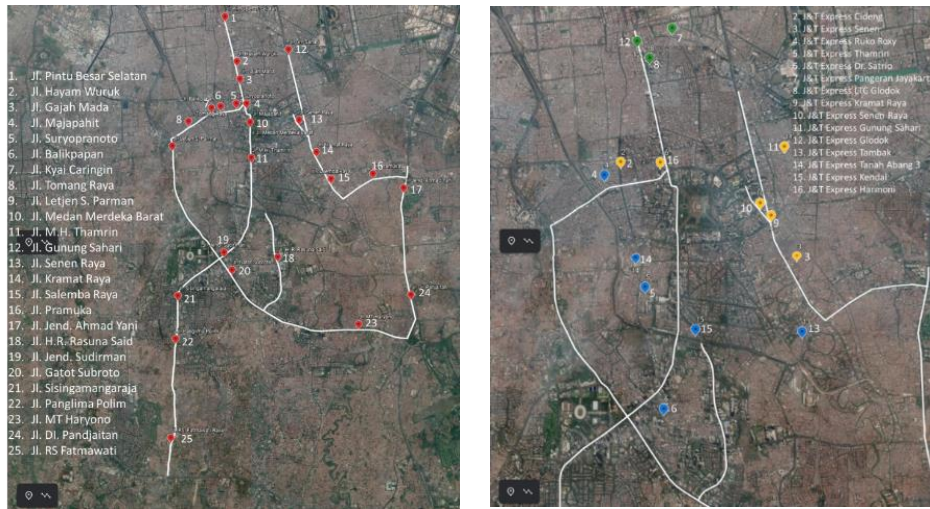
Dalam penelitian ini, diasumsikan bahwa perusahaan tersebut memiliki satu depot dan 9 kendaraan yang digunakan untuk pendistribusian barang. Kendaraan 1 sampai



dengan Kendaraan 5 adalah kendaraan bernomor-polisi ganjil, sedangkan Kendaraan 6 sampai dengan Kendaraan 9 merupakan kendaraan bernomor-polisi genap. Selain itu, perusahaan tersebut diasumsikan memiliki 15 agen di daerah Jakarta yang harus dlayani, sehingga total ada 16 *node* (termasuk satu depot) dalam masalah distribusi. Data *node* (agen) diberikan pada Tabel 1 dan data kendaraan pada Tabel 2. Data jalan yang terkena kebijakan ganjil-genap dan lokasi agen pada jalan tersebut diperlihatkan pada Tabel 3 dan Gambar 1.

Tabel 3 Nama jalan yang terkena kebijakan ganjil-genap dan lokasi agen

No	Nama Jalan	Agen
1	Jalan Medan Merdeka Barat	12, 8, 16, 15, 14
2	Jalan Majapahit	2, 16, 3, 9, 10, 11
3	Jalan Hayam Wuruk	12, 8, 7, 2, 16, 3, 9, 10, 11, 15, 14, 13
4	Jalan Gajah Mada	12, 8, 7, 16, 15, 14, 9, 3, 13, 10, 11, 7
5	Jalan Pintu Besar Selatan	-
6	Jalan MH Thamrin	14, 15, 13, 5, 6, 4, 12, 8, 16
7	Jalan Suryopranoto	2, 16, 3, 9, 10, 11, 4, 5, 6
8	Jalan Balikpapan	14, 15, 13, 5, 6, 4, 2, 16, 3, 9, 10, 11
9	Jalan Kyai Caringin	-
10	Jalan Tomang Raya	-
11	Jalan Sudirman	4, 2, 5, 6
12	Jalan Sisingamangaraja	-
13	Jalan Gatot Subroto	-
14	Jalan Panglima Polim	-
15	Jalan Gunung Sahari	2, 16, 3, 9, 10, 11, 13, 7
16	Jalan Senen Raya	2, 16, 3, 9, 10, 11, 13, 7
17	Jalan Kramat Raya	2, 16, 3, 9, 10, 11, 13, 7
18	Jalan Salemba Raya	2, 16, 3, 9, 10, 11, 13, 7
19	Jalan Pramuka	-
20	Jalan Ahmad Yani	-
21	Jalan HR Rasuna Said	-
22	Jalan DI Panjaitan	-
23	Jalan MT Haryono	-
24	Jalan RS Fatmawati	-
25	Sebagian Jalan S Parman	4, 2, 5, 6

Gambar 1. (a) Ruas jalan, (b) *node* konsumen

Perusahaan ekspedisi menginginkan agar rute yang dilalui oleh setiap kendaraan yang digunakan untuk distribusi dapat meminimumkan biaya pengeluaran. Akan tetapi, akibat diberlakukannya kebijakan ganjil-genap, maka tidak semua kendaraan yang digunakan bisa melewati rute dengan jarak terdekat di tanggal yang tidak sama dengan ganjil/genapnya nomor-polisi kendaraan tersebut. Dengan *integer programming* yang telah diformulasikan sebelumnya dan selanjutnya diselesaikan menggunakan *software* LINGO 18.0 diperoleh rute pendistribusian yang meminimumkan biaya distribusi. Rute pendistribusian yang diperoleh dari hasil komputasi untuk tanggal ganjil dapat dilihat pada Tabel 4 sedangkan untuk tanggal genap dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 4 Rute pendistribusian implementasi model pada tanggal ganjil

Kendaraan	Rute Pendistribusian	Total Barang yang Diantar	Total Jarak Tempuh	Rute yang Digunakan
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	1 → 5 → 15 → 13 → 6 → 14 → 4 → 1	499	61.2	Terdekat
5	1 → 12 → 8 → 7 → 1	299	45.1	Terdekat
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	1 → 2 → 10 → 9 → 3 → 11 → 16 → 1	498	61	Alternatif
9	-	-	-	-

Tabel 5 Rute pendistribusian pada tanggal genap

Kendaraan	Rute Pendistribusian	Total Barang yang Diantar	Total Jarak Tempuh	Rute yang Digunakan
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	1 → 2 → 10 → 9 → 3 → 11 → 16 → 1	498	61	Alternatif
5	1 → 12 → 8 → 7 → 1	299	48.3	Alternatif
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	1 → 5 → 15 → 13 → 6 → 14 → 4 → 1	499	61.2	Terdekat
9	-	-	-	-



Gambar 2 Rute Kendaraan 4 dengan jarak terdekat



Gambar 3 Rute Kendaraan 5 dengan jarak terdekat

Dari Tabel 4 dan Tabel 5 terlihat bahwa tidak semua kendaraan digunakan dalam kegiatan pendistribusian. Selain itu, dari kendaraan yang digunakan, terdapat kendaraan yang ganjil/genap nomor-polisinya tidak sesuai dengan ganjil/genapnya tanggal distribusi.

Tabel 6 Data kendaraan dan ruas jalan yang dilewati/dihindari

No	Jenis Tanggal	Kendaraan yang digunakan	Ruas Jalan yang Dilewati	Ruas Jalan yang Dihindari
1	ganjil	Kendaraan 4 (ganjil)	Jl. Balikpapan, Jl. M.H. Thamrin	-
		Kendaraan 5 (ganjil)	Jl. Hayam Wuruk, Jl. Gajah Mada	-
		Kendaraan 8 (genap)	-	Jl. Suryopranoto, Jl. Balikpapan, Jl. Hayam Wuruk, Jl. Gn. Sahari, Jl. Kramat Raya, Jl. Salemba Raya, Jl. Senen Raya, Jl. Majapahit
2	genap	Kendaraan 4 (ganjil)	-	Jl. Suryopranoto, Jl. Balikpapan, Jl. Hayam Wuruk, Jl. Gn. Sahari, Jl. Kramat Raya, Jl. Salemba Raya, Jl. Senen Raya, Jl. Majapahit
		Kendaraan 5 (ganjil)	-	Jl. Hayam Wuruk, Jl. Gajah Mada
		Kendaraan 8 (genap)	Jl. Balikpapan, Jl. M.H. Thamrin	-

Nilai fungsi objektif (biaya minimum) di tanggal ganjil adalah sebesar Rp 387.300,00, sementara di tanggal genap adalah Rp 390.500,00. Jika dibandingkan dengan nilai fungsi objektif tanpa kebijakan ganjil-genap yang sebesar Rp 381.400,00, maka

biaya distribusi di tanggal ganjil meningkat 1,54% dan di tanggal genap meningkat 2,38%. Kebijakan ganjil-genap memang menambah biaya distribusi bagi perusahaan ekspedisi karena kendaraan harus menyesuaikan rute distribusi sesuai dengan tanggal distribusi. Namun demikian, dengan model matematika ini diperoleh rute distribusi dengan penambahan biaya distribusi sekecil mungkin.

#### 4 Simpulan

Permasalahan penentuan rute pendistribusian dengan kendala tambahan kebijakan ganjil-genap dapat dimodelkan sebagai *Integer Linear Programming* dengan bantuan *software* LINGO 18.0. Tujuan yang ingin dicapai adalah meminimumkan biaya distribusi dan menentukan rute distribusi yang optimal baik di tanggal ganjil maupun tanggal genap dengan kendala tambahan berupa kebijakan ganjil-genap. Solusi dari model yang telah dibuat mampu memberikan rekomendasi rute yang optimal baik untuk kendaraan bernomor-polisi ganjil maupun kendaraan bernomor-polisi genap. Selain itu, didapatkan pula biaya distribusi minimum yang harus dikeluarkan perusahaan untuk melakukan distribusi di tanggal ganjil maupun di tanggal genap. Selain itu, model ini juga menunjukkan adanya pengaruh dari kebijakan ganjil-genap, yaitu meningkatkan biaya distribusi perusahaan.

#### Daftar Pustaka

- [1] Archetti C, Speranza MG. 2012. Vehicle routing problems with split deliveries. *International Transactions in Operational Research*. 19(1-2): 3-22. doi:10.1111/j.1475-3995.2011.00811.x.
- [2] [BPS] Badan Pusat Statistik. 2017. *Statistik Transportasi Darat*. Indonesia (ID): Badan Pusat Statistik.
- [3] Baldacci R, Hadjiconstantinou E, Mingozzi A. 2004. An exact algorithm for the capacitated vehicle routing problem based on a two-commodity network flow formulation. *Operations Research*. 52(5): 723-738. doi: 10.1287/opre.1040.0111
- [4] Basith, A. 2019. Aduh, Kebijakan Ganjil Genap Bikin Biaya Logistik Melonjak 20%. Kontan [Internet]. [diunduh 2020 Mar 20]. Tersedia pada: <https://insight.kontan.co.id/news/aduh-kebijakan-ganjil-genap-bikin-biaya-logistik-melonjak-20?page=1>.
- [5] Bortfeldt A. 2012. A hybrid algorithm for the capacitated vehicle routing problem with three-dimensional loading constraints. *Computers & Operations Research*. 39(9): 2248-2257. doi: 10.1016/j.cor.2011.11.008
- [6] Budiyanto MA, Singgih IK, Riadi A, Putra GL. 2022. Study on the LNG distribution to Mobile Power Plants using a Small-Scale LNG Carrier for the case of the Sulawesi region of Indonesia. 2021 8th International Conference on Power and Energy Systems Engineering (CPESE 2021), 10–12 September 2021, Fukuoka, Japan. *Energy Reports*. 8 (Supplement 1):374-380.
- [7] Chakraborty P, Sharma A. 2019. Public opinion analysis of the transportation policy using social media data: A case study on the Delhi odd-even policy. *Transp. in Dev. Econ*. 5(1): 5. doi:10.1007/s40890-019-0074-8.
- [8] Chelani AB. 2017. Study of local and regional influence on PM2.5 concentration during Odd-Even Rule in Delhi using causal analysis. *Aerosol and Air Quality Research*. 17: 1190–1203. doi: 10.4209/aaqr.2016.06.0267.
- [9] Daipuria P, Kakar D. 2016. Odd Even Road Rationing Scheme in Delhi: Efficacy and Engagement *Review of Professional Management*. 15(1): 69-77. doi: 10.20968/rpm/2017/v15/i1/151692.
- [10] Davis LW. 2008. The effect of driving restrictions on air quality in Mexico City. *Journal of Political Economy*. 116 (1):38-71.
- [11] Garg N, Sinha AK, Gandhi V, Bhardwaj RM, Akolkar AB. 2017. Effect of odd-even vehicular restrictions on ambient noise levels at ten sites in Delhi city. *Indian Journal of Pure & Applied Physics*. 55: 687-692
- [12] Gian EI, Putra KN, Lesmini L, Parhusip V, Najooan DJ. 2019. The influence of the odd-even license plate number system against the smooth traffic on Roads Margonda, Depok Region. *Jurnal*



- Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*. 3(3):2626-2631.
- [13] Goyal P, Gandhi G. 2016. Assessment of air quality during the 'Odd-Even Scheme' of vehicles in Delhi. *Indian Journal of Science and Technology*. 9(48): 1-7. doi: 10.17485/ijst/2016/v9i48/105801.
- [14] Hannan MA, Akhtar M, Begum RA, Basri H, Hussain A, Scavino E. 2018. Capacitated vehicle-routing problem model for scheduled solid waste collection and route optimization using PSO algorithm. *Waste Management*. 71:31-41. 10.1016/j.wasman.2017.10.019.
- [15] Kumar R, Mishra RK, Chandra S, Hussain A. 2021. Evaluation of urban transport-environment sustainable indicators during Odd-Even scheme in India. *Environment, Development and Sustainability*. 23:17240-17262.
- [16] Mathur SK, Prasad PM, Kulshreshtha P, Khorana S, Chauhan M. 2019. The impact of odd-even transportation policy and other factors on pollution in Delhi: A spatial and RDD analysis. *ARTNeT Working Paper Series, No. 182*, March 2019, Bangkok, ESCAP.
- [17] Mutharuddin, Herawati. 2013. Dampak penerapan kebijakan kendaraan berplat ganjil genap terhadap kinerja lalu lintas (Studi kasus: pergerakan kendaraan bermotor dari Bekasi menuju DKI Jakarta). *Jurnal Penelitian Transportasi Darat*. 15(1):1-11.
- [18] Queiroga E, Sadykov R, Uchoa E. 2021. A POPMUSIC matheuristic for the capacitated vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*. 136:105475
- [19] Laporte G, Mercure H, Nobert Y. 1986. An exact algorithm for the asymmetrical capacitated vehicle routing problem. *Networks*. 6(1):33-46. doi: 10.1002/net.3230160104.
- [20] Laporte G. 1992. The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*. 59(3):345-358. doi:10.1016/0377-2217(92)90192-C.
- [21] Li R, Guo M. 2016. Effects of odd even traffic restriction on travel speed and traffic volume: evidence from Beijing Olympic Games. *J Traffic Transp Eng* 3(1):71-81 doi: 10.1016/j.jtte.2016.01.002.
- [22] Lysgaard J, Letchford AN, Eglese RW. 2004. A new branch-and-cut algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *Math. Program., Ser. A* 100: 423-445. doi: 10.1007/s10107-003-0481-8
- [23] Rao AM, Madhu E, Gupta K. 2017. Impact of Odd Even Scheme on transportation systems in Delhi. *Transp. in Dev. Econ*. 3(1): 4. doi:10.1007/s40890-017-0035-z
- [24] Mehta N, Sharma A. 2017. A preliminary study on effect of odd-even rule on air pollution scenarios of Delhi. *Journal of Water Resource & Pollution Studies*. 2(2):1-14.
- [25] Mishra RK, Pandey A, Pandey G, Kumar A. 2019. The effect of odd-even driving scheme on PM2.5 and PM1.0 emission. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 67: 541-552. doi: 10.1016/j.trd.2019.01.005.
- [26] Novriansyah MF, Nugraha Y, Wiguna H, Ernesto A, Sulasikin A, Nasution BI, Kanggrawan JJ, Suherman AL. 2021. The impact of large-scale social restriction and odd-even policies during covid-19 pandemic to traffic congestion and air pollution in Jakarta," *2021 International Conference on Artificial Intelligence and Big Data Analytics*. 1-6, doi: 10.1109/ICAIBDA53487.2021.9689707.
- [27] Nugraha AD, Winarno, Hadining AF. 2021. A mathematical model for solving distribution system problem by considering odd-even vehicle license plate rule. *Jurnal Teknik Industri*. 23(1): 55-64. doi: 10.9744/jti.23.1.55-64
- [28] Prasajo E, Salam AA. 2022. DKI Jakarta's odd-even transportation policy formulation from the perspective of evidence based policy. *Policy & Governance Review*. 6(1): 40-57. doi: 10.30589/pgr.v6i1.439.
- [29] Santos FA, da Cunha AS, Mateus GR. 2013. Branch-and-price algorithms for the Two-Echelon Capacitated Vehicle Routing Problem. *Optimization Letters*. 7:1537-1547. doi:10.1007/s11590-012-0568-3
- [30] Santos FA, Mateus GR, da Cunha AS. 2015. A branch-and-cut-and-price algorithm for the two-echelon capacitated vehicle routing problem. *Transportation Science*. 49(2):355-368. doi: 10.1287/trsc.2013.0500
- [31] Sharma SK, Hoque X. 2018. Sentiment analysis for Odd-Even Scheme in Delhi. *Indian Journal of Science and Technology*. 11(24): 1-13. doi: 10.17485/ijst/2018/v11i24/104299.
- [32] Singhania K, Girish GP, Vincent EN. 2016. Impact of odd-even rationing of vehicular movement in Delhi on air pollution levels. *Low Carbon Economy*. 7: 151-160. doi: 10.4236/lce.2016.74014.
- [33] Sirait, S. 2019. Asal Mula Penerapan Sistem Ganjil-Genap Kendaraan Bermotor di Jakarta. Carmudi [Internet]. [diunduh 2020 Agu 5]. Tersedia pada: <https://www.carmudi.co.id/jurnal/asal-mula-penerapan-sistem-ganjil-genap-kendaraan-bermotor-di-jakarta/>.
- [34] Sun C, Zheng S, Wang R. 2014. Restricting driving for better traffic and clearer skies: Did it work in Beijing?. *Transport Policy*. 32: 34-41. doi: 10.1016/j.tranpol.2013.12.010.
- [35] Suprianto D, Widyaningsih N. 2019. Performance analysis of odd-even number vehicle license plate

- restriction system on road Sisingamangaraja, Kebayoran Baru, South Jakarta, Indonesia. *International Journal of Research and Review*. 6(7):523-527.
- [36] Surekha P, Sumathi S. 2011. Solution to Multi-Depot Vehicle Routing Problem Using Genetic Algorithms. *World Applied Programming*. 1(3):118-131.
- [37] Szeto WY, Wu Y, Ho SC. 2011. An artificial bee colony algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *European Journal Of Operational Research*. 215(1):126-135. doi: 10.1016/j.ejor.2011.06.006
- [38] Tinumbia N, Khotimah K. 2021. The impacts of odd-even restriction policy on travel behaviour. *Jurnal Infrastruktur*. 7(1): 21-28.
- [39] Toth P, Vigo D. 2002. An overview of vehicle routing problems. Di dalam: Toth P, Vigo D, editor. *The Vehicle Routing Problem*. Philadelphia (US): *SIAM*. 1-26. doi:10.1137/1.9780898718515.ch1.
- [40] Vigo D. 1996. A heuristic algorithm for the asymmetric capacitated vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*. 89:108-126.
- [41] Xiao Y, Zhao Q, Kaku I, Xu Y. 2012. Development of a fuel consumption optimization model for the capacitated vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*. 39(7):1419-1431. doi: 10.1016/j.cor.2011.08.013
- [42] Xie X, Tou X, Zhang L. 2017. Effect analysis of air pollution control in Beijing based on an odd-and-even license plate model. *Journal of Cleaner Production*. 142 (2): 936-945. doi: 10.1016/j.jclepro.2016.09.117.
- [43] Yanti DSA, Indriati, Adikara PP. 2019. Analisis sentimen tentang kebijakan ganjil genap kendaraan bermotor di DKI Jakarta pada Twitter menggunakan BM25 dan K-Nearest Neighbor. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*. 3(3):2626-2631.
- [44] Yao Z, Zhang Y, Shen X, Wang X, Wu Y, He K. 2013. Impacts of temporary traffic control measures on vehicular emissions during the Asian Games in Guangzhou, China. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 63(1): 11-19. doi: 10.1080/10962247.2012.724041.