



JAIER

Journal of Agro-industry Engineering Research



Model Matematis Penentuan Lokasi Fasilitas dan Rute Kendaraan dengan Mempertimbangkan Jendela Waktu dan Kendaraan Heterogen Terbatas pada Sistem Pengelolaan Limbah

Andi Muhammad Fiqri Achmad¹, Asadian Puja Enggita², Widya Hastuti Afris³
^{1,2,3}Politeknik ATI Makassar

Received: May 2022 Accepted: June 2022 Published: July 2022

Doi:

Abstract. The problem faced by the company is how to determine the location of the facilities in the form of a collection warehouse and waste treatment center and at the same time determine the route of the waste transport vehicle. The system studied in this study consists of base location, collection warehouse, and waste treatment center. The existence of the producer's time window requires the vehicle to serve the producer only within a certain time span. The limited capacity and number of waste transport vehicles also causes problems in dealing with the increasing number of waste generators. Based on these problems, this research will develop a MIQP model for determining the facilities locations and vehicles routes considering the time window and limited heterogeneous vehicles. The model verification uses data of 7 producers and 2 candidate warehouses. The resulting objective function is 1022137 with computation time of 12.5s. Based on the results obtained, it can be ascertained that the results obtained are logical by meeting the established constraints.

Keyword: Location-Routing Problem, Waste Management, Time Window, Limited Heterogeneous Vehicle

Abstrak. Masalah yang harus yang dihadapi perusahaan adalah bagaimana menentukan lokasi fasilitas berupa gudang pengumpul dan pusat pengolah limbah serta disaat yang bersamaan juga menentukan rute kendaraan pengangkut limbah. Sistem yang dikaji pada penelitian ini meliputi lokasi pangkalan, gudang pengumpul, dan pusat pengolah limbah yang terpisah. Adanya jendela waktu penghasil mengharuskan kendaraan untuk melayani penghasil dalam rentang waktu tertentu saja. Selain itu, kapasitas serta jumlah kendaraan pengangkut limbah yang terbatas juga menyebabkan masalah dalam menghadapi jumlah penghasil limbah yang semakin banyak. Berdasarkan masalah tersebut, penelitian ini akan mengembangkan model MIQP untuk penentuan lokasi fasilitas dan rute kendaraan yang mempertimbangkan jendela waktu, kendaraan heterogen terbatas. Verifikasi model menggunakan data 7 penghasil dan 2 kandidat gudang. Fungsi tujuan yang dihasilkan adalah sebesar 1022137 dengan waktu komputasi selama 12,5 detik. Berdasarkan hasil yang diperoleh, dapat dipastikan bahwa hasil yang diperoleh telah logis dengan memenuhi pembatas yang telah ditetapkan.

Kata Kunci: Penentuan Lokasi Dan Rute Kendaraan, Pengelolaan Limbah, Jendela Waktu, Kendaraan Heterogen Terbatas

*Corresponding author at: Politeknik ATI Makassar, Makassar, 90211, Indonesia

E-mail address: am_fiqri@atim.ac.id

1. Pendahuluan

Sejak tahun 2012 hingga 2018, terjadi peningkatan jumlah rumah sakit di seluruh Indonesia dengan rata – rata 5.2%. Menurut Dirjen Kesehatan Masyarakat dari Kementerian Kesehatan, di Indonesia saat ini dihasilkan ± 290 ton limbah medis, tetapi yang dikelola baru mencapai ± 220 ton, dengan ± 170 ton dikelola oleh pihak ketiga dan ± 60 ton dikelola oleh rumah sakit yang memiliki insinerator. Dengan kata lain masih terdapat ± 70 ton limbah medis yang belum dikelola [1].

PT. X merupakan salah satu perusahaan pengelola limbah B3 yang bergerak dalam bidang pengangkutan, pengumpulan, serta pengolahan limbah B3. Perusahaan ingin melakukan pengaturan jaringan dengan membangun fasilitas baru berupa gudang pengumpul serta pusat pengolahan/insinerator untuk dapat mengakomodasi seluruh pelanggan dan jumlah limbah yang semakin meningkat. Tantangan lain yang harus dihadapi oleh perusahaan adalah setiap penghasil limbah memiliki waktu pelayanan yang berbeda – beda, serta keterbatasan kendaraan yang dimiliki oleh perusahaan, baik jumlah maupun kapasitas kendaraan tersebut.

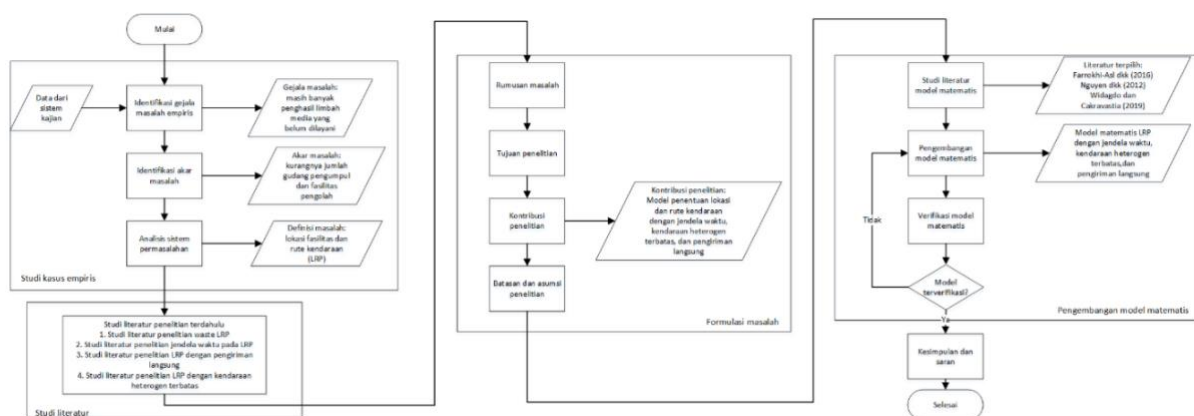
Penelitian yang membahas tentang masalah penentuan lokasi dan rute kendaraan dengan karakteristik jendela waktu pelanggan dengan jumlah kendaraan tidak terbatas telah beberapa kali dilakukan.[2] membahas *fleet size and mix* LRP dengan jendela waktu. [3] mengembangkan model LRP dengan jendela waktu dengan kondisi *uncertainty*. [4] mengembangkan model LRP dengan jendela waktu yang mempertimbangkan emisi karbon dengan pengiriman dan pengambilan simultan. [5] mengembangkan model LRP yang mempertimbangkan *soft time window*. [6] mengembangkan model matematis untuk masalah yang sama tetapi dalam konteks *reverse logistics*. Sedangkan penelitian dengan karakteristik jendela waktu pelanggan dengan kendaraan heterogen terbatas baru ditemukan pada [7].

Dalam konteks *waste management*, beberapa penelitian juga telah dilakukan. [8] mengembangkan model matematis dengan mempertimbangkan jenis kendaraan heterogen dan multiproduk, dengan kendaraan yang berangkat dari depot serta tujuan akhir fasilitas pembuangan. [9] mempertimbangkan jenis kendaraan heterogen dengan dua jenis pelanggan pada studi kasus pengangkutan sampah di Yogyakarta. [10] mengembangkan model matematis dengan mempertimbangkan adanya kendaraan tetap yang harus kembali ke pangkalan dan kendaraan sewa yang tidak boleh kembali ke pangkalan. [11] mengembangkan model matematis untuk masalah *reverse logistics* dan menerapkan inventori pada pusat daur ulang.

Penelitian – penelitian yang membahas masalah pengangkutan limbah pada umumnya mengharuskan kendaraan menuju ke depot terlebih dahulu sebelum limbah diteruskan ke pengolah limbah. Namun, pada kenyataannya, kendaraan pengangkut juga dapat melakukan pengantaran dari penghasil langsung ke pengolah tanpa harus disimpan dahulu di gudang pengumpul. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan model dan solusi optimal untuk masalah penentuan lokasi gudang pengumpul limbah dan fasilitas pengolah serta rute kendaraan dalam pengelolaan limbah yang mempertimbangkan jendela waktu pelanggan dan kendaraan heterogen dengan jumlah terbatas.

2. Metodologi

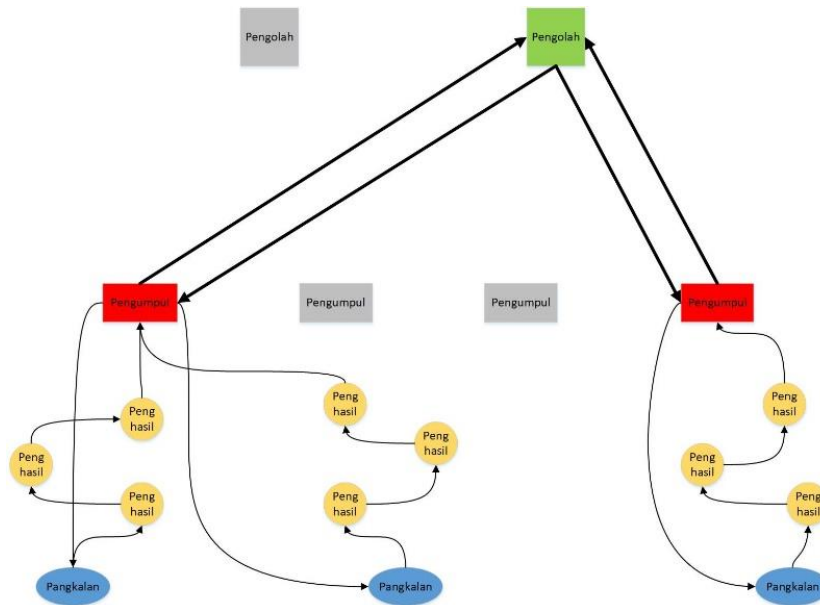
Metodologi penelitian yang dilakukan secara garis besar dapat dibagi kedalam empat tahapan, yaitu studi kasus empiris, studi literatur, formulasi masalah, dan pengembangan model matematis. tahapan tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

Komponen yang terdapat dalam sistem yang dikaji adalah pangkalan armada, gudang pengumpulan, pengolah limbah, penghasil limbah, penimbun limbah, jenis kendaraan yang digunakan, dan jenis limbah yang diangkut. Aspek struktural sistem dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Aspek struktural sistem

Formulasi matematis yang pada penelitian ini dikembangkan dari penelitian [8] , [12], serta [13]. Formulasi matematis dapat digambarkan dengan grafik $G = (V, A)$ yaitu grafik hubungan titik (*vertex*) dan garis (*arc*). *Vertex* terdiri dari beberapa tipe dengan $PK = \{1, 2, \dots, i\}$ adalah himpunan untuk i pangkalan, $PL = \{i + 1, i + 2, \dots, i + j\}$ adalah himpunan untuk j penghasil limbah, $GD = \{i + j + 1, i + j + 2, \dots, i + j + k\}$ adalah himpunan untuk k seluruh gudang pengumpul. Sedangkan $FI = \{k + 1, k + 2, \dots, k + l\}$ adalah himpunan untuk l kandidat fasilitas pengolah. *Arc* merupakan garis penghubung antara titik, dan terdapat dua jenis *arc* dalam penelitian ini yaitu waktu tempuh dan biaya perjalanan. Biaya perjalanan merupakan hasil perkalian antara jarak tempuh dengan harga bahan bakar kendaraan. Sehingga biaya perjalanan secara tidak langsung telah merepresentasikan jarak tempuh. Kendaraan pengangkut limbah terbagi kedalam dua jenis, yaitu kendaraan kecil yang mengangkut limbah dari penghasil ke fasilitas yang dibuka (gudang pengumpul atau pengolah) dengan kapasitas berbeda – beda (QV_{v1}), dan kendaraan besar yang mengangkut limbah dari gudang pengumpul ke fasilitas pengolah dengan kapasitas yang berbeda – beda pula (QV_{v2}). Kendaraan kecil akan memulai perjalanan dengan berangkat meninggalkan pangkalan menuju ke penghasil limbah untuk mengangkut limbah sesuai jumlah yang dihasilkan oleh penghasil (QP_j). Masing – masing penghasil limbah memiliki jendela waktu $[ET_j, LT_j]$ dan waktu pelayanan (ST_j). Kendaraan yang telah mengangkut limbah hingga mencapai kapasitas akan membawa limbah tersebut ke fasilitas selanjutnya, yaitu gudang pengumpul. Limbah akan disimpan dahulu di gudang pengumpul kemudian saat mencapai jumlah tertentu (QD_k), limbah tersebut akan diangkut lagi ke fasilitas pengolah menggunakan kendaraan besar.

Tabel 1. Indeks dan himpunan model matematis

Index	Keterangan	Simbol
i	Himpunan pangkalan kendaraan	PK
j	Himpunan penghasil limbah	PL
k	Himpunan kandidat gudang pengumpul	GD
l	Himpunan kandidat pengolah	FI
c	Himpunan pangkalan kendaraan dan penghasil limbah	$PK \cup PL$
d	Himpunan penghasil limbah dan gudang pengumpul	$PL \cup GD$
p	Himpunan pangkalan kendaraan, penghasil limbah dan gudang pengumpul	$PK \cup PL \cup GD$
q	Himpunan gudang pengumpul dan fasilitas pengolah	$GD \cup FI$

r	Himpunan seluruh titik	$PK \cup PL \cup GD \cup FI$
$v1$	Himpunan kendaraan kecil	$V1$
$v2$	Himpunan kendaraan besar	$V2$

Tabel 2. Parameter model matematis

Simbol	Keterangan
QP_j	Jumlah permintaan limbah oleh penghasil j
$QV_{v1,v2}$	Kapasitas kendaraan $v1$ dan $v2$
ST_j	Lama waktu pelayanan pada penghasil j
$TT_{rr'}$	Waktu perjalanan dari titik r ke titik r'
QF_k	Kapasitas gudang k
ET_j	Waktu buka penghasil j
LT_j	Waktu tutup penghasil j
F_k	Biaya pembukaan kandidat gudang pengumpul k
O_l	Biaya pembukaan kandidat fasilitas pengolah l
$CT_{rr'}$	Biaya perjalanan dari titik r ke titik r'

Tabel 3, variable keputusan model matematis

Simbol	Keterangan
$X_{pp'v1}$	Bernilai 1 jika terdapat perjalanan dari titik p ke p' menggunakan kendaraan $v1$, dan 0 jika sebaliknya
Y_k	Bernilai 1 jika kandidat gudang pengumpul k dibuka, dan 0 jika sebaliknya
$R_{qq'v2}$	Bernilai 1 jika terdapat perjalanan dari titik q ke q' menggunakan kendaraan $v2$, dan 0 jika sebaliknya
H_l	Bernilai 1 jika kandidat fasilitas pengolah l dibuka, dan 0 jika sebaliknya
A_{jv1}	Total jumlah yang diangkut ke penghasil j menggunakan kendaraan $v1$
B_{lv2}	Total jumlah limbah yang diangkut ke pengolah l menggunakan kendaraan $v2$
QD_k	Jumlah limbah yang masuk ke gudang k
W_{kv1}	Jumlah limbah yang diangkut ke gudang k menggunakan kendaraan $v1$
S_l	Jumlah limbah yang masuk ke pengolah l
TW_{jv1}	Waktu kedatangan kendaraan $v1$ di penghasil j
G_{iv1}	Bernilai 1 jika kendaraan $v1$ melayani pangkalan i , dan 0 jika sebaliknya

Fungsi tujuan:

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{k \in GD} F_k Y_k + \sum_{l \in FI} O_l H_l + \sum_{v1 \in V1} \sum_{p \in PK \cup PL \cup GD} \sum_{p' \in PK \cup PL \cup GD, p \neq p'} CT_{pp'} X_{pp'v1} \\ & + \sum_{v2 \in V2} \sum_{q \in GD \cup FI} \sum_{q' \in GD \cup FI, q \neq q'} CT_{qq'} R_{qq'v2} \end{aligned} \quad 1$$

Fungsi tujuan (IV-1) bertujuan untuk meminimasi total biaya pengelolaan limbah B3 medis yang terdiri dari biaya pembukaan gudang pengumpul, biaya pembukaan fasilitas pengolah / incinerator, biaya perjalanan kendaraan dari pangkalan – penghasil - gudang, dan biaya perjalanan kendaraan gudang - pengolah.

Pembatas:

$$\sum_{v1 \in V1} \sum_{d \in PL \cup GD} X_{jdv1} = 1; \quad \forall j \in PL \quad 2$$

$$\sum_{j \in PL} X_{jkv1} = \sum_{i \in PK} X_{kiv1}; \quad \forall k \in GD, \forall v1 \in V1 \quad 3$$

$$\sum_{c \in PK \cup PL} X_{cgv1} = \sum_{d \in PL \cup GD} X_{jdv1}; \quad \forall j \in PL, \forall v1 \in V1 \quad 4$$

$$\sum_{k \in GD} X_{kiv1} = \sum_{j \in PL} X_{ijv1}; \quad \forall i \in PK, \forall v1 \in V1 \quad 5$$

$$\sum_{i \in PK} \sum_{j \in PL} X_{ijv1} \leq 1; \quad \forall v1 \in V1 \tag{6}$$

$$\sum_{v1 \in V} G_{iv1} \geq 1; \quad \forall i \in PK \tag{7}$$

$$\sum_{j \in PL} X_{ijv1} = G_{iv1}; \quad \forall i \in PK, \forall v1 \in V1 \tag{8}$$

$$\sum_{j \in PL} X_{jkv1} \leq Y_k; \quad \forall k \in GD, \forall v1 \in V1 \tag{9}$$

$$\sum_{k \in GD} Y_k \geq 1 \tag{10}$$

$$\sum_{i \in PK} \sum_{i' \in PK} X_{ii'v1} = 0; \quad \forall v1 \in V1 \tag{11}$$

$$A_{iv1} = 0; \quad \forall i \in PK, \forall v1 \in V1 \tag{12}$$

$$A_{jv1} \geq A_{cv1} + QP_j - M(1 - X_{cqv1}); \quad \forall c \in PK \cup PL, \forall j \in PL, j \neq c, \forall v1 \in V1 \tag{13}$$

$$QP_j \leq \sum_{v1 \in V} A_{jv1}; \quad \forall j \in PL \tag{14}$$

$$\sum_{v1 \in V} A_{jv1} \leq \sum_{v1 \in V} \sum_{c \in PK \cup PL, c \neq j} X_{cqv1} QV_{v1}; \quad \forall j \in PL \tag{15}$$

$$TW_{jv1} \geq (TW_{cv1} + ST_c + TT_{cj}) - M(1 - X_{cqv1}); \tag{16}$$

$$\forall v1 \in V1, \forall c \in PK \cup PL, \forall j \in PL, j \neq c \tag{16}$$

$$ET_j \times \sum_{d \in PL \cup GD, d \neq j} X_{jdv1} \leq TW_{jv1}; \quad \forall v1 \in V1, \forall j \in PL \tag{17}$$

$$TW_{jv1} \leq LT_j \times \sum_{d \in PL \cup GD, d \neq j} X_{jdv1}; \quad \forall v1 \in V1, \forall j \in PL \tag{18}$$

$$\sum_{v1 \in V1} \sum_{j \in PL} X_{ijv1} \leq N_{v1}; \quad \forall v1 \in V1, \forall i \in PK \tag{19}$$

$$\sum_{v2 \in V} \sum_{l \in FI} R_{klv2} = Y_k; \quad \forall k \in GD \tag{20}$$

$$\sum_{l \in FI} R_{lkv2} = \sum_{l \in FI} R_{klv2}; \quad \forall k \in GD, \forall v2 \in V2 \tag{21}$$

$$\sum_{k \in GD} R_{lkv2} = \sum_{k \in GD} R_{klv2}; \quad \forall l \in FI, \forall v2 \in V2 \tag{22}$$

$$\sum_{l \in FI} \sum_{k \in GD} R_{klv2} \leq 1; \quad \forall v2 \in V2 \tag{23}$$

$$\sum_{k \in GD} R_{klv2} \leq H_l; \quad \forall l \in FI, \forall v2 \in V2 \tag{24}$$

$$\sum_{l \in FI} H_l = 1 \tag{25}$$

$$B_{kv2} = 0; \quad \forall k \in GD, \forall v2 \in V2 \tag{26}$$

$$B_{lv2} \geq QD_k - M(1 - R_{k1lv2}); \quad \forall k \in GD, \forall l \in FI, \forall v2 \in V2 \tag{27}$$

$$\sum_{v2 \in V} B_{lv2} \leq \sum_{v2 \in V} \sum_{k \in GD} R_{klv2} QV_{v2}; \quad \forall l \in FI \tag{28}$$

$$\sum_{j \in PL} A_{jv1} X_{jkv1} = W_{kv1}; \quad \forall k \in GD, \forall v1 \in V1 \tag{29}$$

$$\sum_{v1 \in V1} W_{kv1} = QD_k; \quad \forall k \in GD \tag{30}$$

$$\sum_{v2 \in V2} B_{lv2} = S_l; \quad \forall l \in FI \tag{31}$$

$$\sum_{j \in PL} QP_j = \sum_{k \in GD} QD_k \tag{32}$$

$$\sum_{\forall k \in GD} QD_k = \sum_{l \in FI} S_l \quad 33$$

$$QD_k \leq QF_k; \quad \forall k \in GD \quad 34$$

$$X_{pp'v1} = \{0,1\}; \quad \forall p \in PK \cup PL \cup GD, \forall p' \in PK \cup PL \cup GD, p' \neq p, \forall v1 \in V1 \quad 35$$

$$R_{qq'v2} = \{0,1\}; \quad \forall q \in GD \cup FI, \forall q' \in GD \cup FI, q' \neq q, \forall v2 \in V2 \quad 36$$

$$Y_k = \{0,1\}; \quad \forall k \in GD \quad 37$$

$$H_l = \{0,1\}; \quad \forall l \in FI \quad 38$$

$$G_{iv1} = \{0,1\}; \quad \forall i \in PK, \forall v1 \in V1 \quad 39$$

$$TW_{cv1} \geq 0; \quad \forall c \in PK \cup PL, \forall v1 \in V1 \quad 40$$

$$A_{jv1} \geq 0; \quad \forall j \in PL, \forall v1 \in V1 \quad 41$$

$$B_{lv2} \geq 0; \quad \forall l \in FI, \forall v2 \in V2 \quad 42$$

$$QD_k \geq 0; \quad \forall k \in GD \quad 43$$

$$W_{kv1} \geq 0; \quad \forall k \in GD, \forall v1 \in V1 \quad 44$$

$$S_l \geq 0; \quad \forall l \in FI \quad 45$$

Pembatas (IV-2) memastikan setiap pelanggan dan gudang pengumpul hanya dikunjungi satu kali oleh kendaraan yang sama. Pembatas (IV-3) – (IV-5) memastikan kendaraan yang mengunjungi suatu titik akan meninggalkan titik tersebut. Pembatas (IV-6) memastikan bahwa satu kendaraan yang berasal dari pangkalan hanya mengunjungi titik – titik sesuai rute yang terbentuk. Pembatas (IV-7) dibuat agar pangkalan boleh mengirim lebih dari satu kendaraan. Sedangkan pembatas (IV-8) menyatakan agar pangkalan dengan kendaraan yang sama berangkat menuju penghasil. Pembatas (IV-9) menyatakan gudang yang dibuka. Pembatas (IV-10) menyatakan paling sedikit satu gudang pengumpul dibuka. Pembatas (IV-11) memastikan tidak adanya perjalanan antar pangkalan oleh kendaraan. Pembatas (IV-12) sampai (IV-15) merupakan pembatas subtur eliminasi. Pembatas (IV-16) sampai (IV-18) merupakan pembatas jendela waktu. Pembatas (IV-19) memastikan bahwa jumlah kendaraan yang digunakan tidak melebihi jumlah kendaraan yang tersedia. Pembatas (IV-20) memastikan perjalanan kendaraan dimulai dari gudang pengumpul yang dibuka. Pembatas ini memastikan adanya konservasi aliran antara yang masuk dan keluar dari gudang. Pembatas (IV-21) dan (IV-22) memastikan kendaraan yang mengunjungi suatu titik akan meninggalkan titik tersebut. Pembatas ini merupakan pembatas konservasi aliran untuk gudang dan pengolah. Pembatas (IV-23) memastikan bahwa satu kendaraan hanya mengunjungi titik – titik sesuai rute yang terbentuk. Pembatas (IV-24) menyatakan bahwa kendaraan berangkat menuju fasilitas pengolah yang dibuka. Pembatas (IV-25) menyatakan bahwa hanya ada satu fasilitas pengolah yang dibuka. Pembatas (IV-26) memastikan bahwa tidak ada limbah yang masuk ke gudang. Pembatas (IV-27) memastikan jumlah muatan yang diangkut kendaraan menuju pengolah bernilai sama dengan jumlah limbah yang terdapat di gudang. Kedua pembatas ini merupakan pembatas konservasi muatan kendaraan besar dari gudang. Pembatas (IV-28) memastikan total jumlah muatan yang diangkut oleh satu kendaraan tidak melebihi kapasitas kendaraan tersebut. Pembatas ini juga menyatakan bahwa hanya terdapat satu kendaraan yang dapat mengangkut limbah dari satu gudang, dan tidak ada pengambilan oleh kendaraan yang sama pada gudang lainnya. Pembatas IV-29 sampai IV-34 merupakan pembatas untuk aliran konservasi muatan jumlah limbah. Pembatas ini memastikan bahwa jumlah limbah yang masuk ke gudang setelah diangkut menggunakan kendaraan kecil sama dengan jumlah limbah yang diangkut dari gudang ke pengolah menggunakan kendaraan besar. Pembatas ini dibuat karena pembatas konservasi muatan pada Pembatas IV-12 dan IV-13 serta Pembatas IV-26 dan IV-27 tidak menunjukkan adanya hubungan, sehingga jumlah limbah yang diangkut masuk ke gudang dari penghasil tidak sama dengan jumlah limbah yang dikirim dari gudang ke pengolah. Pembatas (IV-35) – (IV-39) merupakan pembatas variable keputusan biner. Pembatas (IV-40) – (IV-45) merupakan pembatas variable keputusan non negatif.

Verifikasi kelogisan model dilakukan untuk memastikan apakah model yang dibuat telah menghasilkan solusi atau output yang logis. Data yang digunakan untuk verifikasi ini adalah 7 penghasil dan 2 kandidat gudang pengumpul. Fungsi tujuan dengan data 7 penghasil dan 2 kandidat

4. Kesimpulan

Permasalahan yang diteliti adalah penentuan lokasi fasilitas berupa gudang pengumpul limbah dan fasilitas pengolahan limbah serta penentuan rute kendaraan pengangkut limbah yang mempertimbangkan jendela waktu pelanggan dan kendaraan heterogen terbatas pada sistem pengelolaan limbah. Model matematis yang dikembangkan berjenis *mix integer quadratic programming* (MIQP) dan menghasilkan solusi global optimal.

Daftar Pustaka

- [1] Syaifullah, M., dan Yanuar, Y. (2019): *Bahaya, setiap hari 70 ton limbah medis belum dikelola optimal*. Dikutip 14 November 2019 dari: <https://teknو.tempo.co/read/1236545/bahaya-setiap-hari-70-ton-limbahmedis-belum-dikelola-optimal>
- [2] Ç. Koç, T. Bekta, O. Jabali, dan G. Laporte, *The Fleet Size and Mix Location- Routing Problem with Time Windows : Formulations and a Heuristic Algorithm* *The Fleet Size and Mix Location-Routing Problem with Time Windows : Formulations and a Heuristic Algorithm*, no. February. 2015.
- [3] M. H. Fazel Zarandi, A. Hemmati, S. Davari, dan I. Burhan Turksen, “Capacitated location-routing problem with time windows under uncertainty,” *Knowledge-Based Syst.*, vol. 37, hal. 480–489, 2013.
- [4] L. Leng, Y. Zhao, Z. Wang, J. Zhang, dan W. Wang, “A Novel Hyper-Heuristic for the Biobjective Regional Low-Carbon Location-Routing Problem with Multiple Constraints,” 2019.
- [5] E. Nikbakhsh dan S. H. Zegordi, “A Heuristic Algorithm and a Lower Bound for the Two-Echelon Location-Routing Problem with Soft Time Window Constraints,” vol. 17, no. 1, hal. 36–47, 2010.
- [6] M. Beigi dan V. R. Ghezavati, “Solving a bi-objective mathematical model for location-routing problem with time windows in multi-echelon reverse logistics using metaheuristic procedure,” *J. Ind. Eng. Int.*, vol. 12, no. 4, hal. 469–483, 2016.
- [7] K. Govindan, A. Jafarian, R. Khodaverdi, dan K. Devika, “Int . J . Production Economics Two-echelon multiple-vehicle location – routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food,” *Intern. J. Prod. Econ.*, vol. 152, hal. 9–28, 2014.
- [8] H. Farrokhi-Asl, R. Tavakkoli-Moghaddam, B. Asgarian, dan E. Sangari, “Metaheuristics for a bi-objective location-routing-problem in waste collection management,” *J. Ind. Prod. Eng.*, vol. 34, no. 4, hal. 239–252, 2017.
- [9] S. Sakti, V. F. Yu, dan B. M. Sopha, “Heterogeneous fleet location routing problem for waste management: A case study of Yogyakarta, Indonesia,” *Int. J. Inf. Manag. Sci.*, vol. 30, no. 1, hal. 1–16, 2019.
- [10] M. Rabbani, H. Farrokhi-Asl, dan B. Asgarian, “Solving a bi-objective location routing problem by a NSGA-II combined with clustering approach: application in waste collection problem,” *J. Ind. Eng. Int.*, vol. 13, no. 1, hal. 13–27, 2017.
- [11] H. Liu, W. Wang, dan Q. Zhang, “Multi-objective location-routing problem of reverse logistics based on GRA with entropy weight,” *Grey Syst. Theory Appl.*, vol. 5, no. 2, hal. 178–193, 2012.
- [12] V. P. Nguyen, C. Prins, dan C. Prodhon, “A multi-start iterated local search with tabu list and path relinking for the two-echelon location-routing problem,” *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 25, no. 1, hal. 56–71, 2012.
- [13] J. S. Widagdo dan A. Cakravastia, *Proceedings of the 18th Online World Conference on Soft Computing in Industrial Applications (WSC18)*, vol. 864. Cham: Springer International Publishing, 2019.