

Model *Mixed Integer Linier Programming* untuk Perencanaan Pengangkutan Sampah di Kota Pekanbaru

LAILATUL SYIFA TANJUNG¹⁾; RIKA AMPUH HADIGUNA²⁾; ALEXIE HERRYANDIE B.A³⁾

Universitas Andalas
Jln. Limau Manis, Kec. Pauh, Kota Padang Sumatera Barat, 25175
E-mail : lailashifa1205@gmail.com

Abstract: The problem of waste is a problem that is very concerned in an area. This is because waste is an indicator that can have a negative impact on humans and the surrounding environment if it is not handled properly. Location allocation model is a model that can be used to determine a facility in order to minimize distribution costs. If it is associated with waste problems, then the allocation location model can be used to determine the optimal location and number of Temporary Waste Disposal Sites (TPS) in order to minimize waste transportation costs. In this study, a location allocation model for waste transportation in Pekanbaru City was designed with the aim of reducing the cost of transporting waste by considering the parameters of the cost of opening a TPS and the decision to open it. Determination of the optimal value of each goal is determined by the decision maker so that it is resolved using the Mixed Integer Linear Programming approach. Based on the results of the study, a location allocation model has been obtained using the Mixed Integer Linear Programming method with the output of the model being the opening of a new TPS with minimum waste transportation costs. The search for solutions or model outputs is assisted by Lingo 18.0 Software. The designed model can explain changes in output if there are changes in parameters which include the amount of waste sources, transportation costs and the fixed costs of opening TPS. The model can be implemented in planning the transportation of waste in Pekanbaru City by using data that is in accordance with the conditions in the field.

Keywords: *Location Allocation, Mixed Integer Linear Programming, Waste.*

Menurut Undang – Undang No.18 Tahun 2008 tentang pengelolaan sampah, sampah dapat diartikan sebagai seluruh sisa buangan yang dihasilkan manusia dalam kehidupan sehari – hari atau dapat juga diartikan sebagai proses alam yang dihasilkan dalam bentuk padat. Setiap individu akan terus menghasilkan sampah setiap harinya dalam jumlah banyak maupun sedikit. Semakin meningkat jumlah penduduk maka konsumsi barang yang digunakan akan semakin meningkat serta jumlah sampah yang dihasilkan juga ikut mengalami peningkatan. Sampah merupakan salah satu indikator penting di dalam suatu daerah. Hal ini dikarenakan sampah dapat membawa pengaruh besar terhadap makhluk hidup serta lingkungan sekitar apabila pengelolaan sampah tidak dilakukan dengan baik.

Kota Pekanbaru merupakan Ibukota serta Kota terbesar di Provinsi Riau dengan

luas wilayah sebesar 446,50 km² , dan jumlah penduduk sekitar 1 juta jiwa. Proses pengelolaan sampah di Pekanbaru merupakan suatu kegiatan terintegrasi dengan cara memindahkan sampah dari sumber sampah ke tempat pembuangan yang seharusnya.

Pengangkutan sampah merupakan salah satu rangkain dari proses pengelolaan sampah. pengangkutan sampah di Kota Pekanbaru dimulai dari masyarakat menuju Tempat Pembuangan Sampah Sementara (TPS) hingga ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Sebelum dibuang ke TPA sampah dibuang ke TPS guna memudahkan masyarakat dalam membuang sampah. Maka dari itu TPS yang ada ditempatkan di tempat – tempat yang dekat dengan masyarakat sekitar.

Penentuan lokasi serta jumlah TPS sangat penting untuk diperhatikan. Hal ini

dikarenakan banyak faktor yang diakibatkan apabila tidak ditangani dengan tepat. Seperti dapat menyebabkan gangguan kesehatan terhadap manusia serta apabila jumlah TPS yang ditempatkan terlalu banyak akan dapat merusak nilai keindahan di daerah itu sendiri.

Model lokasi alokasi merupakan model yang dapat digunakan untuk menentukan fasilitas agar dapat meminimasi biaya distribusi (M Variani, 2017). Jika dikaitkan dengan permasalahan sampah, maka model lokasi alokasi dapat digunakan untuk menentukan lokasi TPS serta jumlah TPS yang optimal guna meminimasi biaya pengangkutan sampah.

Beberapa penelitian terkait pengelolaan sampah telah dilakukan sebelumnya diantaranya Mukh dkk (2019) Menentukan model pemilihan lokasi akhir sampah dengan mempertimbangkan jarak dari masing – masing TPS menuju TPA di Kota Yogyakarta dengan menggunakan metode *Integer Linier Programming*, Sutrisno dkk (2017) menentukan model optimasi pengangkutan sampah dengan menggunakan metode *vehicle routing problem with time window* menggunakan *binary integer programming*, Yulita dkk (2013) menentukan lokasi alokasi pemilihan lokasi pembuangan akhir sampah perkotaan dengan menggunakan metode *binary integer programming*, Kusuma (2017) menentukan lokasi ideal tempat penampungan sementara dengan metode *P median*, Yedida (2016) menentukan alternatif lokasi tempat pembuangan akhir (TPA) sampah dengan menggunakan analisis *Analitical Hierarkhi Process* dan analisis GIS, Agus (2011) menentukan model optimasi alokasi pengelolaan sampah dengan metode *inexact fuzzy linier programming*, Susanti dkk (2018) menentukan jumlah optimal kendaraan pengangkut sampah menggunakan model *goal programming*, Widiyastiti (2019) menentukan banyaknya rute dan armada pengangkutan sampah di Kota Bogor, Arnata, I Made (2012) Menentukan optimalisasi dan efisiensi pengumpulan limbah dan manajemen transportasi untuk meningkatkan pelayanan kepada masyarakat

dengann pendekatan simulasi, Susanti dkk (2016) menentukan jenis kendaraan yang beroperasi di wilayah TPS dengan mempertimbangkan total waktu pengangkutan dan jumlah sampah maksimal yang harus diangkut ke TPA.

METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah dengan mengumpulkan data berupa data primer dan sekunder. Adapun data primer yang didapatkan adalah dengan melakukan diskusi serta wawancara terhadap pihak Dinas Kebersihan dan Lingkungan Hidup (DKLH) Kota Pekanbaru terkait dengan proses pengangkutan sampah yang ada di Pekanbaru. Sedangkan data sekunder yang didapat berupa literatur serta data – data mendukung yang berhubungan dengan pengangkutan sampah di Kota Pekanbaru.

HASIL

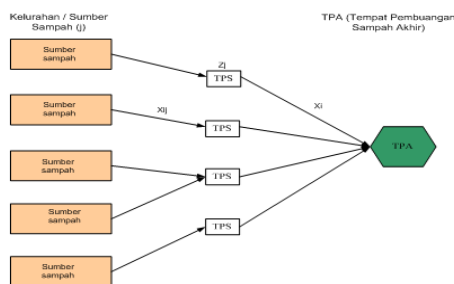
Karakteristik Sistem

Permasalahan yang di bahas dalam penelitian ini adalah pembangunan model lokasi alokasi pengangkutan sampah di Kota Pekanbaru yang bertujuan untuk mengoptimalkan jumlah serta lokasi TPS. Sumber sampah di Kota Pekanbaru meliputi sampah rumah tangga, pasar, perkantoran, sekolah, area umum dan lain-lain. Sebagian besar sampah dikumpulkan dengan gerobak angkut oleh petugas sampah. Frekuensi pengumpulan sampah dilakukan 1-4 hari sekali tergantung pada jumlah timbulan sampah di masing-masing wilayah. Sampah yang dikumpulkan oleh petugas gerobak sampah diangkut menuju Tempat Pembuangan Sampah Sementara (TPS). Tempat Pembuangan Sampah Sementara (TPS) merupakan tempat sebelum sampah diangkut ketempat pendaur ulang, pengelolaan serta Tempat Pembuangan Sampah Akhir (TPA). Peletakkan sampah di Tempat Pembuangan Sampah Sementara (TPS) bertujuan untuk memudahkan masyarakat dalam membuang sampah. Biasanya Tempat Pembuangan Sampah

Sementara (TPS) berada di masing – masing daerah di Pekanbaru. Untuk masing – masing kecamatan harus mempunyai minimal satu Tempat Pembuangan Sampah Sementara (TPS) yang menampung sampah yang ada di daerah tersebut. Selain itu juga akan memudahkan warga dalam membuang sampah di daerah tersebut.

Kota Pekanbaru terdiri dari 12 kecamatan serta memiliki 79 kelurahan dengan jumlah penduduk sekitar 1,1 juta jiwa. Sedangkan jumlah TPS yang dimiliki kota Pekanbaru saat ini adalah sebanyak 61 TPS. setiap kelurahan terdapat satu buah TPS namun, apabila jarak antar kelurahan serta jumlah penduduk di daerah tersebut sedikit maka memungkinkan untuk satu TPS dapat menampung lebih dari satu kelurahan di Kota Pekanbaru.

Proses pengangkutan sampah di Pekanbaru di mulai dari alat angkut yang bergerak dari pool menuju ke tempat pembuangan sampah penduduk di tiap – tiap kecamatan. Proses pengangkutan sampah dilakukan dengan beberapa cara diantaranya, pengangkutan sampah dengan menggunakan bak sampah. Proses pengangkutan sampah dimulai dari truk pengangkut bergerak dari pool menuju TPS dengan membawa bak sampah kosong, kemudian mobil pengangkut meninggalkan bak kosong tersebut dan mengangkut bak berisi sampah yang ada di TPS untuk diangkut menuju TPS. Selain itu terdapat TPS yang tidak menggunakan bak sampah (TPS tetap). Proses tersebut dimulai dengan truk pengangkut bergerak dari pool menuju ke TPS, kemudian sampah diangkut secara manual oleh para pekerja dan dibawa menuju ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA).



Gambar 1 : Sistem Pengangkutan Sampah

Formulasi Model Matematis

Hal yang perlu diperhatikan dalam melakukan pembangunan model adalah dengan menentukan asumsi ditentukan asumsi model, notasi, parameter, variabel – variabel keputusan, fungsi tujuan dan kendala – kendala dalam sistem yang ditransformasikan dari sistem nyata ke dalam bentuk sebuah model. Berikut merupakan proses pembuatan model yang akan dilakukan :

a. Asumsi

Adapun asumsi yang digunakan dalam model pengangkutan sampah di Pekanbaru adalah :

1. Biaya pengangkutan sampah dari masing – masing sumber sampah ke TPS tetap.
2. Titik TPS berada pada titik tengah dari pusat penduduk pada tiap kelurahan
3. Biaya pembukaan TPS baru tetap.

b. Notasi

Adapun notasi yang digunakan dalam model pengangkutan sampah di Pekanbaru adalah sebagai berikut :

- i = Tempat Pembuangan Sampah Sementara (TPS) (1,2,3....m)
- j = Sumber sampah (Kelurahan) (1,2,3.....n)

c. Parameter

Parameter yang digunakan dalam model ini adalah sebagai berikut :

C_{ij}^1 = Biaya transportasi pengangkutan sampah dari Kelurahan-j menuju TPS-i (Rp/m³.km)

C_i^2 = Biaya transportasi pengangkutan sampah dari TPS-i menuju TPA (Rp/m³.km)

d_{ij}^1 = Jarak dari Kelurahan-j menuju TPS-i (Km)

d_i^2 = Jarak dari TPS-i menuju TPA (Km)

K_i = Kapasitas TPS-i (m³)

F_i = Biaya tetap pembukaan TPS (Km)

A_{ij} = Jumlah sampah yang diangkut dari Kelurahan- j menuju TPS- i (m^3)

d. Variabel

X^1_{ij} = Total sampah yang diangkut dari sumber sampah- j menuju TPS- i (m^3)

X^2_i = Total sampah yang diangkut dari TPS- i menuju TPA (m^3)

$Z_i = 1$, jika TPS dibuka atau 0 , jika tidak dibuka.

e. Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan adalah sesuatu hal yang akan di optimumkan dalam suatu model yang dibangun. Adapun fungsi tujuan yang diambil dalam penelitian ini adalah Fungsi tujuan : meminimumkan biaya pengangkutan sampah dan biaya pembukaan TPS.

Minimasi total biaya dihitung dengan melibatkan biaya – biaya yang berhubungan dengan proses pengangkutan sampah di Pekanbaru. Adapun biaya yang terlibat seperti biaya tetap pembukaan TPS serta biaya operasional kendaraan.

Min $z =$

$$\sum_{i=1}^m F_i \cdot Z_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m C^1_{ij} \cdot d^1_{ij} \cdot x^1_{ij} + \sum_{i=1}^m C^2_i \cdot d^2_i \cdot x^2_i$$

f. Kendala – Kendala (*Constraint*)

Sistem pengangkutan sampah di Pekanbaru merupakan sistem yang kompleks dan memiliki persyaratan/batas yang harus dipenuhi untuk membangun model menjadi logis dan representatif. Kendala – kendala pada model ini dapat dilihat sebagai berikut :

1. Jumlah sampah yang diangkut ke TPS sama dengan jumlah sampah yang ada di kelurahan. Hal ini berarti kendaraan pengangkut harus mengangkut seluruh sampah yang ada di TPS sesuai dengan jumlah sampah

yang dihasilkan oleh masyarakat di kelurahan.

$$\sum_{i=1}^m x^1_{ij} = A_j$$

2. Jumlah sampah di TPS tidak melebihi dari kapasitas penampungan sampah di TPS.

$$\sum_{i=1}^m x^1_{ij} \leq K_i$$

3. Pengiriman sampah dari sumber sampah ke TPS dapat dilakukan apabila TPS dibuka.

$$\sum_{i=1}^m x^1_{ij} \leq M \cdot y_i$$

M = Nilai yang sangat besar.

4. Pengiriman sampah dari TPS ke TPA dapat dilakukan apabila TPS dibuka.

$$x^2_i \leq M \cdot y_i$$

M = Nilai yang sangat besar.

5. $x_i \geq 0$

$y_i \in \{0,1\}$, untuk semua i

Verifikasi Model

Verifikasi model dilakukan dengan tujuan untuk memeriksa kesesuaian logika model dengan model konseptual. Verifikasi model sistem pengangkutan sampah terdiri dari : (1) Pengujian dimensi model ; (2) Verifikasi syntax dengan Software Lingo; (3) verifikasi logis. Keseluruhan poin verifikasi mampu dipenuhi oleh model pengangkutan sampah di Kota Pekanbaru sehingga dapat disimpulkan model ini telah tervalidasi secara internal (verifikasi).

Validasi Model

Tahapan validasi selanjutnya adalah validasi eksternal (validasi). Validasi bertujuan untuk mengetahui model sudah mewakili sistem nyata dan menyelesaikan permasalahan pada

instansi. Validasi model distribusi produk dilakukan dengan menggunakan metode *face validity* dan *rational validity*. Validasi ini dilakukan oleh pakar sistem pengangkutan sampah di Kota Pekanbaru. Pakar memeriksa kebenaran variabel – variabel yang dipertimbangkan dalam penelitian. Berdasarkan *face validity* di tabel 4. Menunjukkan bahwa model yang dirancang sudah sesuai dengan proses pengangkutan sampah di Kota Pekanbaru. Hal itu dibuktikan dari hasil pemeriksaan setiap tahapan sudah dinyatakan *valid* oleh pakar pengangkutan sampah di Kota Pekanbaru.

PEMBAHASAN

Implementasi dan Analisis Model

Setelah model sistem pengangkutan sampah di Kota Pekanbaru dinyatakan *verified* dan *valid*. Maka selanjutnya dapat dilakukan implementasi model dengan memasukkan data – data yang dibutuhkan dalam model tersebut. Implementasi model dilakukan untuk perencanaan pengangkutan sampah dan pembukaan TPS yang dibantu dengan software Lingo 18.0. Implementasi model terdiri dari beberapa bagian sebagai berikut.

Data Input

Kebutuhan data sesuai dengan input yang dimasukkan ke dalam model. Data yang dibutuhkan didalam model sebagai berikut :

1. Perkiraan Jumlah Timbulan Sampah.
Perkiraan jumlah sampah diperoleh dari tetapan yang sudah diatur dalam SNI 3242-2008, yaitu setiap individu menghasilkan 3 liter sampah per orang/hari. Sehingga didapat jumlah perkiraan timbulan sampah adalah jumlah penduduk yang ada di Kelurahan dikali dengan jumlah sampah yang dihasilkan per hari. Sehingga didapat data perkiraan jumlah sampah yang dihasilkan penduduk per kelurahan di Kota Pekanbaru.

2. Biaya Transportasi

Terdapat dua biaya yang dikeluarkan untuk biaya transportasi diantaranya biaya pengangkutan sampah dari sumber sampah menuju TPS serta biaya dari TPS menuju TPA. Biaya transportasi dari sumber sampah menuju TPS diasumsikan sebesar 1900 Rp/km.m³. Biaya transportasi dari TPS menuju TPA diasumsikan sebesar 2708 Rp/km.m³. penetapan tarif tersebut karena tidak tersedianya data tersebut pada pihak instansi.

3. Jarak

Jarak dari sumber sampah menuju TPS serta dari TPS menuju TPA diperoleh dengan menggunakan bantuan *Google maps*.

4. Biaya Tetap Pembukaan TPS.

Biaya tetap pembukaan TPS merupakan biaya yang dibutuhkan untuk pembukaan TPS baru. Adapun biaya yang dibutuhkan adalah biaya pengadaan bak sampah yang akan menampung sampah di TPS.

Solusi Model

Data input model dimasukkan pada rancangan yang telah dibuat. Pencarian solusi model dibantu dengan software Lingo 18.0. Solusi model perencanaan pengangkutan sampah di Kota Pekanbaru berdasarkan output Lingo. Berdasarkan output yang diperoleh maka didapatkan jumlah pembukaan TPS yang optimal adalah sebanyak 77 TPS dengan minimasi biaya sebesar Rp.18.442.300.000,-.

Analisis

Analisis Model Pengangkutan Sampah

Implementasi model dilakukan dengan mempertimbangkan kapasitas yang tersedia di TPS di Kota Pekanbaru. Dalam proses implementasi model

beberapa data diasumsikan nilainya karena keterbatasan data yang diperoleh dari pihak instansi seperti data timbulan sampah, data kapasitas TPS. Asumsi-asumsi tersebut dapat menjadi kelemahan dari hasil implementasi model yang telah dilakukan.

Output yang dihasilkan dari implementasi model pengangkutan sampah ini adalah keputusan pembukaan TPS di Kota Pekanbaru dan jumlah sampah yang dikirim dengan total biaya minimum.

Model pengangkutan sampah sudah dinyatakan verified dan valid, karena pada tahapan proses verifikasi dan validasi dapat dipenuhi oleh model. Model ini diimplementasikan dan menjadi salah satu acuan untuk pengambilan keputusan bagi pihak Dinas Kebersihan dan Lingkungan Hidup Kota Pekanbaru dalam memutuskan pembukaan TPS.

Model pengangkutan sampah yang telah dirancang telah mampu untuk menghasilkan keputusan pembukaan TPS dan total sampah yang akan diangkut. Namun, untuk mengimplementasikan model pengangkutan sampah di suatu daerah maka harus menggunakan data dari setiap parameter yang akurat dan benar sesuai dengan keadaan nyatanya sehingga model mampu digunakan untuk menghasilkan keputusan yang berguna bagi pihak instansi dalam pengambilan keputusan pembukaan TPS dan total sampah yang akan diangkut.

Analisis Sensitivitas

Analisis sensitivitas merupakan tahapan dalam pemodelan sistem yang bertujuan untuk melihat pengaruh perubahan parameter model terhadap variabel keputusan ataupun output model. Analisis ini dilakukan dengan mengubah nilai parameter model yang terdiri dari perubahan koefisien fungsi kendala yaitu sumber sampah (A) biaya transportasi (C) pengangkutan sampah serta biaya perubahan biaya tetap (F).

Perubahan nilai parameter model dilakukan dengan persentase tertentu yaitu $\pm 1\%$, $\pm 5\%$ dan $\pm 10\%$. Nilai perubahan persentase tersebut didasarkan pada perubahan jumlah tingkat penduduk di Kota Pekanbaru setiap tahunnya. Setelah dilakukan analisis sensitivitas terdapat perubahan yang terjadi pada output model yang dihasilkan. Perubahan nilai parameter berbanding lurus dengan total biaya yang dihasilkan. Berikut merupakan perubahan nilai parameter sumber sampah terhadap total biaya pengangkutan sampah.

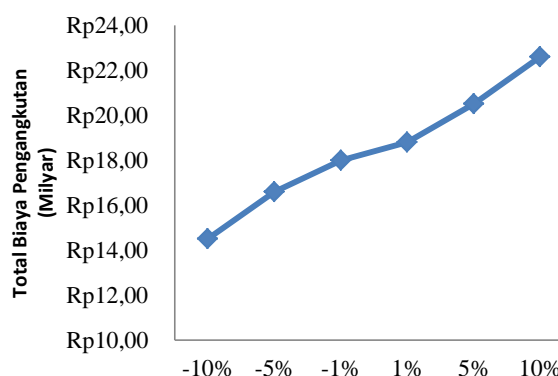
Tabel 1 : Perubahan parameter sumber sampah terhadap total biaya pengangkutan sampah

Perubahan Parameter	Total Biaya Pengangkutan Sampah	Perubahan Total Biaya Pengangkutan Sampah
10%	Rp 18.442.300.000,00,-	Rp 22.676.700.000,00
5%		Rp 20.490.900.000,00
1%		Rp 18.846.100.000,00
-1%		Rp 18.055.600.000,00
-5%		Rp 16.599.800.000,00
-10%		Rp 14.995.200.000,00

Sumber : Data Diolah

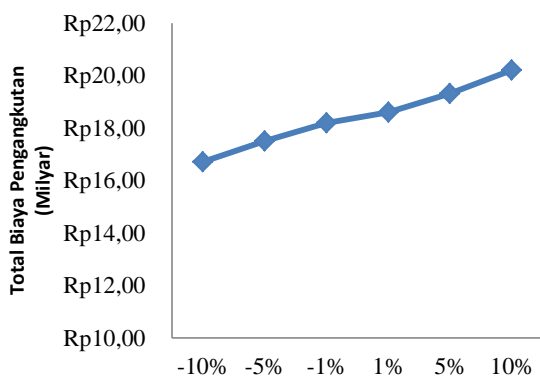
Berdasarkan tabel 1 dapat dilihat perubahan total biaya pengangkutan sampah setelah adanya perubahan sebesar 1%, 5% dan 10%. Perubahan yang terjadi hanya pada nilai total biaya pengangkutan sampah, namun *output* keputusan pembukaan TPS tetap. Selanjutnya perubahan nilai total pengangkutan sampah terhadap parameter sumber sampah dapat dilihat pada grafik berikut:

Gambar 2: Pengaruh perubahan parameter sumber sampah terhadap total biaya pengangkutan sampah



Berdasarkan gambar 3 dapat dilihat pengaruh dari perubahan sumber sampah terhadap total biaya pengangkutan sampah. Apabila nilai parameter mengalami kenaikan maka nilai optimal model juga akan mengalami penurunan. Sebaliknya apabila nilai parameter sumber sampah mengalami penurunan maka nilai optimal model juga akan mengalami penurunan.

Gambar 3: Pengaruh perubahan parameter biaya transportasi terhadap total biaya pengangkutan sampah



Gambar 3 menunjukkan perubahan parameter biaya transportasi terhadap total biaya pengangkutan sampah. pada gambar dapat dilihat bahwa parameter dapat mempengaruhi nilai optimal dari model, jika nilai paramternya turun, maka nilai optimal model juga akan turun, begitu sebaliknya jika nilai parameter naik maka nilai optimal dari model juga akan mengalami kenaikan. Besarnya pengaruh nilai perubahan parameter dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2 : Perubahan parameter biaya transportasi terhadap total biaya pengangkutan sampah

Perubahan Parameter	Total Biaya Pengangkutan Sampah	Perubahan Total Biaya Pengangkutan Sampah
10%	Rp 18.442.300.000,00,-	Rp 20.195.700.000,00
5%		Rp 19.319.000.000,00
1%		Rp 18.617.700.000,00
-1%		Rp 18.267.000.000,00
-5%		Rp 17.565.700.000,00
-10%		Rp 16.689.000.000,00

Sumber : Data Diolah

SIMPULAN

Penelitian ini telah menghasilkan model pengangkutan sampah dengan metode *mixed integer linier programming* dengan output model adalah pembukaan TPS serta jumlah sampah yang diangkut dengan biaya pengangkutan sampah yang minimum. Model yang dibangun mampu menjelaskan perubahan output jika terjadi perubahan-perubahan parameter yang meliputi sumber sampah, biaya pengangkutan sampah serta biaya tetap pembukaan TPS. Untuk pnelitian selanjutnya disarankan agar dapat membuat pengembangan model dengan membuat aplikasi terintegrasi sistem informasi. Hal ini dikarenakan penginputan data dilakukan dengan cara manual dengan memasukkan data satu per satu sehingga akan membutuhkan waktu yang lebih lama. Maka dari itu dibutuhkan aplikasi terintegrasi sistem informasi sehingga akan lebih memudahkan dalam menggunakan model yang digunakan.

DAFTAR RUJUKAN

- Arnata, I Made. 2012. Studi Optimasi Teknik Operasional Pengumpulan dan Pengangkutan Sampah dengan Model Simulasi (Studi Kasus Kecamatan Mengwi, Kabupaten Bandung Tahun 2004-2024). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol. 16, No.1 Januari 2012*.
- Kusuma, juang victoria. 2017. Penentuan Lokasi Ideal Tempat Penampungan Sementara (TPS) Sampah dengan Metode P Median di Wilayah Karanganyar. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Mukh, Nasir Ramdhani dan Prita Meilanitasari, 2019. Pemodelan Pemilihan Lokasi Pembuangan Sampah Akhir pada Dinas Lingkungan Hidup Kota Yogyakarta. *Jurnal OPSI Vol.12 No.2*.
- Purnama, Agus Rachmad dan Udisubakti Ciptomulyono. 2011. Model Optimasi Alokasi Pengelolaan Sampah Dengan Pendekatan Inexact Fuzzy Linier Programming (Studi Kasus : Pengelolaan Sampah Di Kota Malang).
- Susanti, Eka, Endro Setyo Cahyono dan Oki Dwipurwani. 2016. Optimasi Kendaraan Pengangkut Sampah di Kecamatan Kertapati Menggunakan Pemrograman Bilangan Bulat Biner 0 dan 1. *Jurnal Matematika Vol.6 No.2 Desember 2016*.
- Sutrisno, dwi, M. Adha Ilhami dan Evi Febianti. 2017. Optimasi Rute Pengangkutan Sampah Dengan Menggunakan Metode *Vehicle Routing Problem With Time Window* Menggunakan *Binary Integer Programming*.
- Widiyastiti, Maya dan Isti Kamila. 2019. Model *Vehicle Routing Problem* dalam Menentukan Banyaknya Rute dan Armada Pengangkutan Sampah di Kota Bogor. *Jurnal Ilmiah Ilmu Dasar dan Lingkungan Hidup Vol 10 Nomor 1 April 2019*.
- Yedida W, Daniel dan Putu Gede Ariastita. 2016. Penentuan Alternatif Lokasi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Sampah di Kabupaten Sidoarjo. Tugas Akhir Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.