

Model Delay Management Light Rail Transit (LRT) Kota Palembang Berdasarkan Mixed Integer Programming

by Muhammad Ismail

Submission date: 31-Jul-2019 09:47AM (UTC+0700)

Submission ID: 1156384225

File name: Skripsi_Muhammad_Ismail_08011381520070.docx (579.91K)

Word count: 6313

Character count: 37615

**MODEL *DELAY MANAGEMEN9T LIGHT RAIL TRANSIT (LRT)*
KOTA PALEMBANG BERDASARKAN *MIXED INTEGER PROGRAMMING***

1
SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelara Sarjana Matematika**



Oleh:
MUHAMMAD ISMAIL
NIM 08011381520070

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
JUNI 2019**

LEMBAR PENGESAHAN

**MODEL DELAY MANAGEMENT LIGHT RAIL TRANSIT (LRT)
KOTA PALEMBANG BERDASARKAN MIXED INTEGER PROGRAMMING**

SKRIPSI

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelar Sarjana Matematika**

Oleh

**MUHAMMAD ISMAIL
NIM. 08011381520070**

Inderalaya, Juni 2019

Pembimbing Pembantu

Pembimbing Utama



**Sisca Octarina, M.Sc
NIP. 19840903 200604 2 001**



**Drs. SugandiYahdin, M.M
NIP.19580727 198603 1 003**



LEMBAR PERSEMBAHAN

"Buatlah pekerjaan semaumu selagi tanggung jawabmu".

(pepatah kata)

"Barang siapa keluar dalam rangka menuntut ilmu, maka ia berada di jalan Allah hingga ia pulang".

(HRTirmidzi)

1

Skripsi ini Kupersembahkan kepada :

❖ ALLAH SWT

❖ Papa dan Mamaku Tercinta

❖ Keempat Saudariku Tersayang

1

❖ Semua Guru dan Dosenku

❖ Teman Terbaikku

❖ Almamaterku

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Segala puji dan syukur atas kehadiran Allah *Subhanahu wa ta'ala* karena dengan segala rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Model Delay Management Light Rail Transit (LRT) Kota Palembang Berdasarkan Mixed Integer Programming**”¹ dengan baik. Shalawat serta salam semoga senantiasa selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad *Shallallahu 'alaihi wa sallam* beserta keluarga, sahabat, dan seluruh pengikutnya hingga akhir zaman.

Skripsi ini sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana matematika Program Studi Matematika di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya dan juga merupakan suatu sarana untuk menuangkan ilmu yang telah diperoleh selama mengikuti pendidikan di perguruan tinggi.

Pada kesempatan ini, dengan penuh rasa hormat, cinta dan segala kerendahan hati, pertama penulis ingin mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada kedua orang tua, Bapak **M. Musom Mustam** dan Ibu **Innik** dengan segenap cinta, kasih sayang berlimpah, nasehat, dukungan, didikan serta doa yang tak pernah berhenti untuk keberhasilan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini. Keberhasilan dalam menyelesaikan skripsi ini juga tidak terlepas dari bantuan pembimbing dan semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung. Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada:

1. Ibu **Des Alwine Zayanti, M.Si** selaku Sekretaris Jurusan Matematika FMIPA Universitas Sriwijaya yang telah banyak memberikan arahan, bimbingan, serta kritik dan saran kepada penulis selama pengerjaan skripsi.
2. Bapak **Drs. Sugandi Yahdin, M.M.** selaku Dosen Pembimbing Utama dan Ketua Jurusan Matematika yang telah mengarahkan dan meluangkan waktu untuk memberikan banyak ide pemikiran, bimbingan, kesabaran, arahan, saran, nasehat, serta motivasi yang terbaik dan sangat berarti dalam membimbing penulis menyelesaikan skripsi.
3. Ibu **Sisca Octarina, M.Sc.** selaku Dosen Pembimbing Kedua yang bersedia meluangkan waktu dan memberikan arahan, bimbingan, dorongan, motivasi, kritik dan masukan dalam proses pengerjaan skripsi.
4. Bapak **Dr. Bambang Suprihatin M.Si.**, Ibu **Dr. Yuli Andriani, M.Si.**, dan Ibu **Evi Yuliza, M.Si.**, selaku Dosen Pembahas yang telah bersedia memberikan masukan dan saran dalam pengerjaan skripsi.
5. Ibu **Eka Susanti, M.Sc.**, selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan arahan terbaik dalam urusan akademik penulis di setiap semester.
6. Seluruh **Dosen dan Staf** di Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya atas bimbingan dan didikannya kepada penulis selama masa perkuliahan.

7. Keempat Saudaraku **Latief Musom, Murnah, Andi Musom, dan Ria Sumarni** yang selalu memberikan kasih sayang, dukungan, motivasi, nasehat serta doa terbaik yang sangat berarti bagi penulis.
 8. Teman-teman terbaikku **Mulya, Jesslyn, Bebby, Nyoman, Wayan, Belly, Ria, Nisak, Macik, Lian, Rana, Ryan, Yuni dan Dewi,** terima kasih atas dukungan, motivasi, doa, dan perhatian yang telah diberikan kepada penulis.
 9. Adik kecilku **Khodijah Nur Shaqeena dan Adiba Azkiya, dan Abizar** yang telah menjadi penghibur dan penyemangat bagi penulis.
 10. Sahabatku **Yunita, Mahfira, Sakinah, Halim, Fikri, Imam, Dhea, Melissa dan Lia Haidir** yang telah memberikan dukungan, nasehat dan kebahagiaan yang telah dilewati bersama.
 11. Teman-temanku satu angkatan 2015, kakak-kakak tingkat angkatan 2013 dan 2014 serta adik-adik tingkat angkatan 2016, 2017, dan 2018.
 12. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi yang tidak dapat disebutkan satu persatu.
- Penulis mengharapkan semoga draft skripsi ini dapat menambah pengetahuan dan bermanfaat bagi semua mahasiswa Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya.

Inderalaya, Juni 2019

Penulis

THE DELAY MANAGEMENT MODEL OF LIGHT RAIL TRANSIT (LRT) IN PALEMBANG BASED ON MIXED INTEGER PROGRAMMING

By:

Muhammad Ismail
08011381520070

¹ ABSTRACT

Delay is a departure schedule that delayed or late due to primary delays and secondary delays. Delay in LRT Palembang often happened so delay management is needed to solve the problem. Delay management model is used to minimize the delay. There are two routes studied in this research, DJKA-Bandara and Bandara-DJKA. Based on the results and discussion, the total delay for departure route (DJKA-Bandara) is 7 minutes, and the total delay for arrival route (Bandara-DJKA) is 6 minutes.

Keywords :*Delay Management, Light Rail Transit, Mixed Integer Programming.*

MODEL *DELAY MANAGEMENT LIGHT RAIL TRANSIT (LRT)*
KOTA PALEMBANG BERDASARKAN *MIXED INTEGER PROGRAMMING*

Oleh:

Muhammad Ismail
08011381520070

¹
ABSTRAK

Delay merupakan suatu jadwal keberangkatan dan kedatangan yang tertunda disebabkan oleh keterlambatan primer dan keterlambatan sekunder. LRT Kota Palembang sering mengalami *delay* dalam hal keberangkatan sehingga diperlukan *delay management* untuk mengetahui total *delay* LRT tersebut. Model *Delay Management* yang digunakan dalam penelitian ini digunakan untuk meminimalisir waktu *delay*. Ada dua rute yang diteliti yaitu rute pergi (DJKA-Bandara) dan rute pulang (Bandara-DJKA). Berdasarkan hasil dan pembahasan diperoleh total *delay* untuk rute pergi selama 7 menit dan untuk rute pulang selama 6 menit.

Kata Kunci : *Delay Management, Light Rail Transit, Mixed Integer Programming.*

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRACT	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Pembatasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Graf	4
2.1.1 Pengertian Graf	4
2.1.2 <i>Adjacency dan Incidence</i>	5
2.2 <i>Integer Programming</i>	5

1		
2.3.	<i>Mixed Integer Programming</i>	6
2.4	<i>Delay Management</i>	8
2.4.1	<i>Event-Activity</i>	9
2.4.2	<i>Model Delay Management</i>	10

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1.	Tempat	12
3.2.	Waktu	12
3.3.	Metode Penelitian	12

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1.	Pendeskripsian Data	13
4.2.	Jadwal Resmi LRT Kota Palembang	14
4.2.1	Jadwal Resmi LRT Kota Palembang untuk Rute Pergi (DJKA-Bandara)	14
4.2.2	Jadwal Resmi LRT Kota Palembang untuk Rute Pulang (Bandara-DJKA)	16
4.3	Menghitung Selisih Waktu Keberangkatan Antar Stasiun Rute Pergi (DJKA-Bandara)	17
4.4.	Menghitung Selisih Waktu Keberangkatan Antar Stasiun Rute Pulang (Bandara-DJKA).....	24
4.5.	Analisis Hasil Akhir	32

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1	Kesimpulan	32
-----	------------------	----

5.2 Saran.....	32
DAFTAR PUSTAKA	33

1 DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Pendefinisian Variabel Stasiun LRT Kota Palembang Rute Pergi dan Rute Pulang.....	14
Tabel 4.2 Jadwal Resmi Keberangkatan LRT Rute Pergi (DJKA-Bandara).....	15
Tabel 4.3 Jadwal Resmi Keberangkatan LRT Rute Pulang (Bandara-DJKA)	16
Tabel 4.4 Selisih Waktu Antar Stasiun LRT Rute Keberangkatan Pergi (DJKA-Bandara)	17
Tabel 4.5 Delay pada Waktu Disposisi jika Terjadi Delay pada Activity (d_a) untuk Rute Pergi (DJKA-Bandara).....	23
Tabel 4.6 Nilai Optimal Masing-Masing Variabel x pada Model Permasalahan Delay Management untuk Rute Pergi (DJKA-Bandara).....	23
Tabel 4.7 Nilai Optimal Masing-Masing Variabel g pada Model Permasalahan Delay Management untuk Rute Pergi (DJKA-Bandara).....	24
Tabel 4.8 Selisih Waktu Antar Stasiun LRT Rute Keberangkatan Bandara-DJKA.....	24
Tabel 4.9 Delay pada waktu disposisi Jika Terjadi Delay pada Activity (d_a) untuk Rute Pulang (Bandara-DJKA).....	30
Tabel 4.10 Nilai Optimal Masing-Masing Variabel x' pada Model Permasalahan Delay Management untuk Rute Pulang (Bandara-DJKA)	31
Tabel 4.11 Nilai Optimal Masing-Masing Variabel g' pada Model Permasalahan Delay Management untuk Rute Pulang (Bandara-DJKA)	31

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1 Graf dengan 4 vertex dan 6 edge.....	4
Gambar 2 Contoh Graf dengan Adjacency dan Incidence	5

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Light Rail Transit (LRT) mempunyai 13 stasiun LRT di beberapa titik kota Palembang yaitu dimulai dari Stasiun Bandara Sultan Mahmud Badaruddin II Palembang – Stasiun Asrama Haji – Stasiun Punti Kayu – Stasiun RSUD Siti Fatimah – Stasiun Garuda Dempo – Stasiun Demang – Stasiun Bumi Sriwijaya – Stasiun Dinas Perhubungan – Stasiun Pasar Cinde – Stasiun Ampera – Stasiun Polresta – Stasiun Jakabaring – Stasiun DJKA (Opi Mall) dengan waktu pengoperasian setiap hari dari Senin sampai Minggu.

Waktu pengoperasian LRT dimulai dari depo pemberangkatan sekitar pukul 06.00 pagi dan berakhir pada pukul 18.00 WIB. Setiap hari terdapat sebanyak 26 trip dan waktu keberangkatan antar kereta diberi jarak 30-40 menit.

LRT juga tidak terlepas dari masalah keterlambatan keberangkatan dan keterlambatan kedatangan. ¹ Hal ini dapat mengganggu kinerja jadwal LRT di masing-masing stasiun. Jika di satu stasiun mengalami keterlambatan (*delay*) ¹ maka dipastikan stasiun-stasiun selanjutnya juga mengalami keterlambatan. Permasalahan pengaturan penjadwalan dalam transportasi publik dikenal dengan *delay management*. Model *delay management* dapat digunakan untuk meminimalkan jumlah waktu *delay* kedatangan kereta antar stasiun.

¹ *Delay* merupakan suatu jadwal keberangkatan yang tertunda atau terlambat dikarenakan suatu sebab. Suatu keberangkatan ¹ akan dikatakan *delay* apabila melebihi jadwal resmi keberangkatannya dan suatu keberangkatan

dikatakan tepat waktu apabila keberangkatannya sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan.

Menurut Schachtebeck (2009), *delay management* dapat dimodelkan dalam *Integer Programming* yang mempertimbangkan jadwal keberangkatan yang telah ditetapkan dengan jadwal yang diteliti. Model *Integer Programming* yang terbentuk dapat menghasilkan solusi optimal yang berbentuk *integer*. Penelitian tentang transportasi umum sebelumnya sudah pernah dilakukan oleh: Schöbel (2006) yang membahas tentang pengoptimalan dalam transportasi umum, lokasi pemberhentian, *delay management*, dan desain zona tarif dalam jaringan transportasi umum. Schachtebek (2009) membahas tentang *delay management* di transportasi publik yaitu kapasitas, ketahanan, dan integrasinya. Kesumajati, dkk. (2012) menggunakan algoritma *Auction* pada penjadwalan transportasi publik. Schon and Konig (2018) membahas *delay management* tentang jalur kereta tunggal dengan pendekatan program dinamik stokastik.

Berdasarkan latar belakang tersebut maka penelitian ini membahas model *delay management* pada LRT Kota Palembang berdasarkan *Mixed Integer Programming*.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas pada penelitian ini adalah bagaimana memodelkan *delay management* LRT Kota Palembang berdasarkan *Mixed Integer Programming*.

1.3 Pembatasan Masalah

Permasalahan pada penelitian ini dibatasi tanpa menghitung jumlah penumpang yang turun dan waktu tunggu penumpang per stasiun setiap harinya dimulai tanggal 14 Januari 2019 – 11 Februari 2019.

1.4 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk :

1. Memodelkan *delay management* LRT Kota Palembang berdasarkan *Mixed Integer Programming*.
2. Mendapatkan solusi optimal *delay management* LRT Kota Palembang.

1.5 Manfaat

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat, yaitu :

1. Dapat menjadi masukan bagi PT.KAI (Kereta Api Indonesia) sebagai acuan perbaikan dan penentuan jadwal keberangkatan LRT Kota Palembang.
2. Menjadi referensi bagi peneliti selanjutnya tentang model *delay management*.

¹ BAB II

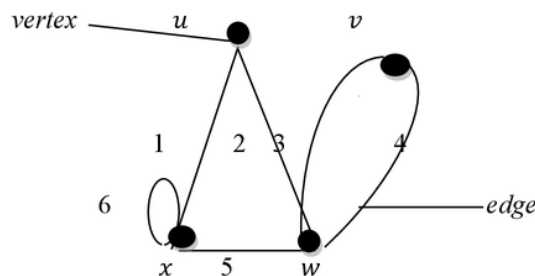
TINJAUAN PUSTAKA

Sebelum membahas model *delay management* LRT Kota Palembang berdasarkan *Mixed Integer Programming* terlebih dahulu dipaparkan beberapa teori penunjang yaitu Graf, *Integer Programming*, ¹*Mixed Integer Programming* dan *Delay Management*.

2.1 Graf

2.1.1 Pengertian Graf

Graf didefinisikan suatu gambar yang terdiri dari seperangkat ¹elemen yang disebut simpul (*vertex*) dan suatu set elemen yang disebut busur (*edge*). Setiap *edge* bergabung dengan dua *vertex* (Aldous and Wilson, 2004). Contoh gambar graf diberikan pada Gambar 2.1.



¹
Gambar 2.1 Graf dengan 4 vertex dan 6 edge.

Gambar 2.1 merupakan suatu graf yang memiliki 4 vertex $\{u, v, w, x\}$ dan 6 edge $\{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$. ¹Edge 1 menghubungkan vertex u dan x, edge 2

menghubungkan vertex u dan w , edge 3 menghubungkan vertex v dan w , edge 5 menghubungkan vertex w dan x , dan edge 6 menghubungkan vertex x dengan vertexnya sendiri

2.1.2 Adjacency dan Incidence

Vertex v dan w dari graf adalah simpul yang *adjacent* jika disatukan oleh suatu edge e . Vertex v dan w adalah *incidence* dengan edge e , dan edge e adalah *incidence* dengan vertex v dan w (Aldous and Wilson, 2004). Contoh gambar graf *adjacency* dan *incidence* diberikan Gambar 2.2.



1 Gambar 2.2 Contoh Graf dengan Adjacency dan Incidence.

Gambar 2.2 merupakan gambar graf dengan vertex v dan w *incidence* dengan edge e dan sebaliknya edge e *incidence* dengan vertex v dan w .

2.2 Integer Programming

Masalah pemrograman bilangan bulat atau *Integer Programming* (IP), merupakan suatu bentuk masalah linier programming dimana terdapat tambahan kendala yaitu nilai dari variabel keputusan berupa bilangan bulat (Hillier and Lieberman, 2012). Model IP bertujuan untuk menghasilkan penyelesaian optimal yang merupakan analisis pasca optimal pemrograman linier. Implementasi model

dimulai dari penyelesaian optimal sebuah kasus pemrograman linier yang menghasilkan bilangan pecahan (Siswanto, 2007).

Secara umum bentuk IP dapat dirumuskan sebagai berikut :

Maksimumkan/Minimumkan :

$$z = c^T x \quad (2.1)$$

dengan kendala

$$Ax(\leq, =, \geq)v \quad (2.1.1)$$

$$x \geq 0, x \in Z^m \quad (2.1.2)$$

dengan

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nm} \end{bmatrix}, x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_m \end{bmatrix}, c = \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_m \end{bmatrix} \text{ dan } v = \begin{bmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \vdots \\ v_n \end{bmatrix}$$

Keterangan:

z adalah fungsi tujuan yang dicari nilai optimumnya.

A adalah matriks koefisien berukuran $n \times m$.

c adalah vektor koefisien fungsi tujuan yang memiliki m komponen.

x adalah variabel keputusan berbentuk vektor dengan m komponen.

v adalah vektor yang memiliki n komponen berisi jumlah permintaan.

2.3 Mixed Integer Programming

Menurut Chen *et.al.*, (2010) istilah pemrograman dalam konteks ini merencanakan kegiatan yang mengkonsumsi sumber daya dan atau memenuhi persyaratan, sebagaimana dinyatakan dalam m kendala, bukan yang lain seperti

makna mengkode program komputer. Sumber daya dapat mencakup bahan baku, mesin, peralatan, fasilitas, tenaga kerja, uang, manajemen, teknologi informasi, dan sebagainya. Sumber daya ini biasanya terbatas dan harus dibagikan dengan beberapa kegiatan. Dengan demikian, masalah pemrograman *integer* disebut juga *Mixed Integer Programming* (MIP).

Menurut Chen *et.al.*, (2010) bentuk *Mixed Integer Programming* (IP) dapat dinyatakan seperti pada Model (2.2)

Maksimumkan/minimumkan :

$$z = \sum_j c_j x_j + \sum_k d_k y_k \quad (2.2)$$

dengan kendala :

$$\sum_j A_{ij} x_j + \sum_k G_{ik} y_k \leq b_i \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad (2.2.1)$$

$$x_j \geq 0 \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (2.2.2)$$

$$y_k = 0, 1, 2, \dots \quad (k = 1, 2, \dots, p) \quad (2.2.3)$$

Semua parameter input $(c_j, d_k, a_{ik}, g_{ik}, b_i)$ dapat bernilai positif, negatif, atau nol.

dimana : m adalah jumlah kendala

n adalah jumlah variabel kontinu

p adalah jumlah *integer* kontinu

c_j adalah vektor baris sejumlah n

d_k adalah vektor baris sejumlah p

A_{ik} adalah matriks $m \times n$

G_{ik} adalah matriks $m \times p$

\mathbf{b}_i adalah vektor kolom konstanta m

\mathbf{x}_j adalah vektor kolom untuk variabel m

\mathbf{y}_k adalah vektor kolom untuk variabel *integer* p

2.4 Delay Management

Menurut Schachtebeck (2009), keterlambatan dibedakan menjadi dua jenis, yaitu keterlambatan primer dan keterlambatan sekunder. Keterlambatan primer adalah keterlambatan yang disebabkan oleh efek eksternal seperti kondisi cuaca buruk, teknis masalah, pekerjaan konstruksi, dan miskomunikasi staf. Karena disebabkan oleh faktor eksternal, penundaan tidak bisa dikendalikan tetapi harus ditanggapi sebagai bagian dari input strategi optimasi. Sebaliknya, ¹ keterlambatan yang disebabkan oleh yang lain (misalnya karena konflik antara kereta yang tertunda dan kereta lain menggunakan jalur yang sama) atau yang disebabkan oleh faktor penundaan disebut penundaan sekunder. Untuk dapat memodelkan manajemen keterlambatan, pertama diperlukan ¹ beberapa notasi untuk menggambarkan jaringan transportasi. Asumsikan \mathcal{V} sebagai stasiun dan \mathcal{F} menjadi kereta. Untuk setiap kereta, diperkenalkan notasi $\mathcal{E}^i \subseteq \mathcal{V} \times \mathcal{V}$ sebagai penggerak di dalam jaringan transportasi. ¹ Jika dimungkinkan untuk beralih dari kereta i ke kereta j di stasiun k , maka kejadian tersebut dinamakan koneksi dan seluruh rangkaian koneksi dinotasikan oleh :

$$\mathcal{U} \subseteq \mathcal{F} \times \mathcal{F} \times \mathcal{V}$$

Selanjutnya dibutuhkan beberapa notasi parameter $p_i^k, p_i^{kl}, p_i^{kj}$ sebagai *slack time* untuk waktu tunggu kereta di stasiun k , untuk waktu mengemudi

kereta di jalan dari stasiun k ke stasiun l , dan untuk pelanggan yang berpindah dari kereta i ke kereta j di stasiun k .

Asumsikan \mathcal{A} menjadi jalur melalui jaringan transportasi umum dan w_a menjadi jumlah penumpang yang menggunakan jalur khusus $a \in A$. Untuk menggambarkan jalur dalam \mathcal{A} digunakan parameter :

$$H_{ijk}^a = \begin{cases} 1 & \text{jika stasiun } k \text{ dicapai dengan kereta } i \text{ dan ditinggalkan oleh } j \text{ di jalur } a \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases}$$

Selain itu, asumsikan T sebagai periode waktu untuk kendaraan, dan dalam periode berikutnya semua kereta berada dalam waktu yang sama, Penundaan awal diasumsikan V , dan kereta lain yang kedatangannya dapat diprediksi, maka notasinya $V \leq T$. Sebagai variabel tambahan didapat :

x_i^k adalah keterlambatan keberangkatan kereta i di stasiun k

y_i^k adalah keterlambatan kedatangan kereta i di stasiun k

$$z_a = \begin{cases} 1 & \text{jika semua koneksi di jalur digunakan.} \\ 0 & \text{untuk lainnya.} \end{cases}$$

2.4.1 ¹ Event-Activity

Sebuah *event - activity* $\mathcal{N} = (\mathcal{E}, \mathcal{A})$ adalah graf berarah dimana simpulnya dinamakan *event* dan busur berarah dinamakan *activities*. *Event - activity networks* adalah model Matematika yang banyak digunakan untuk periodik atau non periodik penjadwalan *event* dengan batasan waktu. Dalam kasus non periodik, yang dipertimbangkan suatu *activity* yang menghubungkan dua kendala dan memodelkan kendala utama *events* tersebut: *event* dari *activity* harus terjadi terlebih dahulu. Setiap *activity* menetapkan batas bawah pada

durasinya, sehingga waktu yang dijadwalkan untuk *event* akhir suatu *activity* harus lebih besar dari atau sama dengan waktu yang dijadwalkan pada *event* dan ditambah batas bawah (Schachtebeck, 2009).

2.4.2 Model Delay Management

Menurut Schobel (2001), model Delay Management dapat ditulis sebagai berikut :

Fungsi tujuan :

$$\text{Minimumkan } f = \sum_{i \in \mathcal{E}} (x_i - \pi_i) \quad (2.3)$$

dengan kendala :

$$x_i \geq \pi_i + d_i \quad \forall i \in \mathcal{E} \quad (2.3.1)$$

$$x_j - x_i \geq L_a + d_a \quad \forall a = (i, j) \in \mathcal{A}_{\text{train}} \quad (2.3.2)$$

$$Mz_a + x_j - x_i \geq L_a \quad \forall a = (i, j) \in \mathcal{A}_{\text{change}} \quad (2.3.3)$$

$$Mg_{ij} + x_j - x_i \geq L_{ij} \quad \forall (i, j) \in \mathcal{A}_{\text{head}} \quad (2.3.4)$$

$$g_{ij} + g_{ji} = 1 \quad \forall (i, j) \in \mathcal{A}_{\text{head}} \quad (2.3.5)$$

$$x_i \in \mathbb{N} \quad \forall i \in \mathcal{E} \quad (2.3.6)$$

$$z_a \in \{0, 1\} \quad \forall a \in \mathcal{A}_{\text{change}} \quad (2.3.7)$$

$$g_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in \mathcal{A}_{\text{head}} \quad (2.3.8)$$

dengan

x_i adalah peristiwa $i \in \mathcal{E}$ dalam jadwal keberangkatan.

x_j adalah peristiwa $j \in \mathcal{E}$ dalam jadwal keberangkatan.

π_i adalah waktu i yang telah ditetapkan.

z_a adalah keputusan tunggu-berangkat.

w_a adalah jumlah penumpang yang ingin melakukan kegiatan berpindah stasiun.

T adalah periode waktu umum.

d_i adalah *delays on event*.

d_a adalah *delays on activities*.

α adalah peristiwa i terjadi lebih dulu dari peristiwa j .

L_a adalah selisih waktu yang dijadwalkan antara (π) antara i dan j .

M adalah konstanta yang nilainya besar.

g_{ij} adalah keputusan prioritas peristiwa i sebelum peristiwa j .

g_{ij} adalah keputusan prioritas peristiwa j sebelum peristiwa i .

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat

Tempat penelitian ini dilakukan di Jurusan Matematika FMIPA Universitas Sriwijaya dan tempat pengambilan data dilakukan di stasiun LRT.

3.2 Waktu

Waktu pelaksanaan dan penulisan penelitian ini diselesaikan selama 4 bulan dari bulan Februari - Mei 2019.

3.3 Metode Penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mendeskripsikan jadwal dan jam keberangkatan resmi LRT.
2. Menghitung selisih waktu keberangkatan antar stasiun.
3. Membuat *timetable* berupa waktu kedatangan dan waktu keberangkatan LRT di setiap stasiun dimulai dari stasiun DJKA-Bandara dan sebaliknya.
4. Menghitung selisih waktu berangkat dari stasiun 1 ke stasiun 2, dari stasiun 2 ke stasiun 3 dan seterusnya dalam satu hari untuk pergi (DJKA-Bandara) dan rute pulang (Bandara-DJKA).
5. Mendefinisikan variabel-variabel yang diperlukan dalam pembuatan model.
6. Memformulasikan model *delay management* sesuai sub bab 2.4.2.
7. Analisis hasil akhir.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penyelesaian model *delay management* untuk memperoleh solusi optimal merupakan tujuan utama dari penelitian ini. Solusi optimal yang diperoleh berupa total *delay* minimum pada LRT Kota Palembang yang diselesaikan melalui implementasi model *delay management* berdasarkan *mixed integer programming*. Penelitian ini dibagi menjadi dua, yaitu rute pergi untuk jurusan DJKA-Bandara dan rute pulang untuk jurusan Bandara-DJKA.

4.1. Mendeskripsikan Data

Penelitian ini menggunakan data primer. Pengambilan data dilakukan selama 4 pekan dari tanggal 14 Januari 2019 – 11 Februari 2019 dilaksanakan setiap hari, dan data yang dihitung merupakan data rata-rata dari keseluruhan yang diteliti selama 4 pekan. Stasiun – stasiun yang menjadi penelitian dimulai dari DJKA, Jakabaring, Polresta, Ampera, Pasar Cinde, Dishub Kominfo, Bumi Sriwijaya, Demang, Garuda Dempo, RSUD Siti Fatimah, Punti Kayu, Asrama Haji, dan Bandara. Pendefinisian variabel – variabel untuk stasiun dengan rute pergi (DJKA – Bandara) dapat dilihat pada Tabel 4.1 di kolom ketiga. Sedangkan pendefinisian variabel-variabel untuk stasiun dengan rute pulang (Bandara-DJKA) dapat dilihat pada Tabel 4.1 di kolom keempat.

Tabel 4.1 Pendefinisian Variabel Stasiun LRT Kota Palembang Route Pergi dan Route Pulang

No.	Nama Stasiun	Variabel	Variabel
1.	DJKA	x_1	x'_{13}
2.	Jakabaring	x_2	x'_{12}
3.	Polresta	x_3	x'_{11}
4.	Ampera	x_4	x'_{10}
5.	Pasar Cinde	x_5	x'_9
6.	Dishub Kominfo	x_6	x'_8
7.	Bumi Sriwijaya	x_7	x'_7
8.	Demang	x_8	x'_6
9.	Garuda Dempo	x_9	x'_5
10.	RSUD Siti Fatimah	x_{10}	x'_4
11.	Punti Kayu	x_{11}	x'_3
12.	Asrama Haji	x_{12}	x'_2
13.	Bandara SMB II	x_{13}	x'_1

Berdasarkan Tabel 4.1 x_1 menyatakan stasiun DJKA, x_2 stasiun Jakabaring dan seterusnya sampai x_{13} yang menyatakan stasiun Bandara SMB II sebagai pendefinisian rute pergi. Selanjutnya x'_1 menyatakan stasiun Bandara SMB II, x'_2 stasiun Asrama Haji dan seterusnya sampai x'_{13} yang merupakan stasiun DJKA sebagai pendefinisian untuk rute pulang.

4.2 Jadwal Resmi LRT Kota Palembang

4.2.1 Jadwal Resmi Keberangkatan LRT Kota Palembang Route Pergi (DJKA-Bandara)

Setelah mendefinisikan variabel untuk rute pergi dan rute pulang, selanjutnya dideskripsikan jadwal resmi keberangkatan LRT Kota Palembang yang dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Jadwal Resmi Keberangkatan LRT Untuk Rute Pergi (DJKA-Bandara)

DJKA-Bandara													
KA	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}
K1	4.48	4.51	4.55	5.01	5.05	5.10	5.12	5.19	5.23	5.27	5.31	5.38	5.49
K2	5.12	5.15	5.19	5.25	5.29	5.34	5.36	5.43	5.47	5.51	5.55	6.02	6.13
K3	5.36	5.39	5.43	5.49	5.53	5.58	6.00	6.07	6.11	6.15	6.19	6.26	6.37
K4	6.00	6.03	6.07	6.13	6.17	6.22	6.24	6.31	6.35	6.39	6.43	6.50	7.01
K5	6.47	6.50	6.55	7.00	7.05	7.09	7.12	7.18	7.23	7.26	7.30	7.38	7.48
K6	7.11	7.14	7.19	7.24	7.29	7.33	7.36d	7.42	7.47	7.50	7.54	8.02	8.12
K7	7.35	7.38	7.43	7.48	7.53	7.57	8.00	8.06	8.11	8.11	8.18	8.26	8.36
K8	7.59	8.02	8.06	8.12	8.16	8.21	8.23	8.30	8.34	8.38	8.42	8.49	9.00
K9	8.23	8.26	8.31	8.36	8.41	8.45	8.48	8.54	8.59	9.02	9.06	9.14	9.24
K10	9.11	9.14	9.18	9.24	9.28	9.33	9.35	9.42	9.46	9.50	9.54	10.01	10.12
K11	9.35	9.18	9.42	9.48	9.52	9.57	9.59	10.06	10.10	10.14	10.18	10.25	10.36
K12	9.59	10.02	10.06	10.12	10.16	10.21	10.23	10.30	10.34	10.38	10.42	10.49	11.00
K13	10.22	10.25	10.30	10.35	10.39	10.44	10.46	10.53	10.57	11.01	11.05	11.12	11.23
K14	10.47	10.50	10.54	11.00	11.04	11.09	11.11	11.18	11.22	11.26	11.30	11.37	11.48
K15	11.34	11.37	11.42	11.47	11.52	12.56	12.59	12.05	12.10	12.13	12.17	12.25	12.35
K16	11.58	12.01	12.06	12.11	12.16	12.20	12.23	12.29	12.34	12.37	12.41	12.49	12.59
K17	12.22	12.25	12.30	12.35	12.40	12.44	12.47	12.53	12.58	13.01	13.05	13.13	13.23
K18	12.45	12.48	12.53	12.58	13.02	13.07	13.09	13.16	13.20	13.24	13.28	13.35	13.45
K19	13.10	13.13	13.18	13.23	13.28	13.32	13.35	13.41	13.46	13.49	13.53	14.01	14.11
K20	13.58	14.01	14.05	14.11	14.15	14.20	14.27	14.29	14.33	14.37	14.41	14.48	14.59
K21	14.22	14.25	14.29	14.35	14.39	14.44	14.46	14.53	14.57	15.01	15.05	15.12	15.23
K22	14.46	14.49	14.53	14.59	15.03	15.08	15.10	15.17	15.21	15.25	15.29	15.36	15.47
K23	15.08	15.11	15.16	15.21	15.25	15.30	15.32	15.39	15.44	15.47	15.51	15.58	16.09
K24	15.34	15.37	15.41	15.47	15.51	15.56	15.58	16.05	16.09	16.13	16.17	16.24	16.35
K25	16.21	16.24	16.29	16.43	16.39	16.43	16.46	16.52	16.57	17.00	17.04	17.12	17.22
K26	16.45	16.48	16.53	16.58	17.01	17.07	17.10	17.16	17.21	17.24	17.28	17.36	17.46

Sumber : PT. KAI Kota Palembang 2019

Berdasarkan Tabel 4.2, LRT Kota Palembang memiliki 13 stasiun yang berada median atau pinggir jalan protokol. Setiap stasiun masing-masing memiliki jadwal keberangkatan tertentu. Keberangkatan LRT dimulai dari pukul 4.48 dan berakhir pada pukul 17.46 WIB. Setiap harinya PT. KAI mengoperasikan LRT sebanyak 26 *trip* yang masing-masing kereta memiliki 3 gerbong.

4.2.2 Jadwal Resmi Keberangkatan LRT Kota Palembang Rute Pulang

(Bandara-DJKA)

Jadwal resmi untuk rute pulang dari Bandara ke DJKA dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Jadwal Resmi Keberangkatan LRT Rute Pulang (Bandara – DJKA)

Bandara – DJKA													
KA	x'_1	x'_2	x'_3	x'_4	x'_5	x'_6	x'_7	x'_8	x'_9	x'_{10}	x'_{11}	x'_{12}	x'_{13}
K1	5.59	6.10	6.18	6.22	6.25	6.29	6.35	6.38	6.43	6.46	6.52	6.58	7.01
K2	6.23	6.34	6.42	6.46	6.49	6.53	6.59	7.02	7.07	7.10	7.16	7.22	7.25
K3	6.47	6.58	7.06	7.09	7.12	7.16	7.23	7.26	7.30	7.34	7.39	7.45	7.49
K4	7.11	7.22	7.30	7.34	7.37	7.41	7.47	7.50	7.55	7.58	8.04	8.10	8.13
K5	7.58	8.10	8.18	8.21	8.24	8.28	8.35	8.38	8.42	8.46	8.51	8.57	9.01
K6	8.22	8.34	8.42	8.45	8.48	8.52	8.59	9.02	9.06	9.10	9.15	9.21	9.25
K7	8.46	8.58	9.06	9.09	9.12	9.16	9.23	9.26	9.30	9.34	9.39	9.45	9.49
K8	9.10	9.21	9.29	9.33	9.35	9.40	9.46	9.49	9.53	9.57	10.02	10.08	10.12
K9	9.34	9.46	9.54	9.57	10.00	10.04	10.11	10.14	10.18	10.22	10.27	10.33	10.37
K10	10.22	10.33	10.41	10.45	10.48	10.52	10.58	11.01	11.06	11.09	11.15	11.21	11.24
K11	10.46	10.57	11.05	11.09	11.12	11.16	11.22	11.25	11.30	11.33	11.39	11.45	11.48
K12	11.10	11.21	11.29	11.33	11.36	11.40	11.46	11.49	11.54	11.57	12.03	12.09	12.12
K13	11.33	11.44	11.52	11.56	11.58	12.03	12.09	12.12	12.16	12.20	12.25	12.31	12.35
K14	11.58	12.09	12.17	12.21	12.24	12.28	12.34	12.37	12.42	12.45	12.51	12.57	13.00
K15	12.45	12.57	13.05	13.08	13.11	13.15	13.22	13.25	13.29	13.33	13.38	13.44	13.48
K16	13.09	13.21	13.29	13.32	13.35	13.39	13.46	13.49	13.53	13.57	14.02	14.08	14.12
K17	13.33	13.45	13.53	13.56	13.59	14.03	14.10	14.13	14.17	14.21	14.26	14.32	14.36
K18	13.56	14.07	14.15	14.19	14.21	14.26	14.32	14.35	14.39	14.43	14.49	14.54	14.58
K19	14.21	14.33	14.41	14.44	14.47	14.51	14.58	15.01	15.05	15.09	15.14	15.20	15.24
K20	15.09	15.20	15.28	15.32	15.35	15.39	15.45	15.48	15.53	15.56	16.02	16.08	16.11
K21	15.33	15.44	15.52	15.56	15.59	16.03	16.09	16.12	16.17	16.20	16.26	16.32	16.35
K22	15.57	16.08	16.16	16.20	16.23	16.27	16.33	16.36	16.41	16.44	16.50	16.56	16.59
K23	16.19	16.30	16.38	16.42	16.44	16.49	16.55	16.58	17.02	17.06	17.12	17.17	17.21
K24	16.45	16.56	17.04	17.08	17.11	17.15	17.21	17.24	17.29	17.32	17.36	17.44	17.47
K25	17.32	17.44	17.52	17.55	17.58	18.02	18.09	18.12	18.14	18.20	18.25	18.31	18.35
K26	17.56	18.08	18.16	18.19	18.22	18.26	18.33	18.36	18.42	18.44	18.49	18.55	18.59

Sumber : PT. KAI Kota Palembang 2019

Berdasarkan Tabel 4.3, jadwal LRT rute pulang (Bandara – DJKA) memiliki waktu yang berbeda dari rute pergi (DJKA – Bandara). Keberangkatan rute pulang (Bandara – DJKA) dimulai pada pukul 5.59 sampai pukul 18.59 WIB. Setiap harinya PT. KAI mengoperasikan LRT sebanyak 26 *trip* yang masing-masing kereta memiliki 3 gerbong.

4.3 Menghitung Selisih Waktu Keberangkatan Antar Stasiun Route Keberangkatan DJKA-Bandara.

Selisih waktu antar stasiun LRT untuk rute keberangkatan DJKA-Bandara dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Selisih Waktu Antar Stasiun LRT Route Keberangkatan DJKA-Bandara.

Event	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}
Selisih waktu antar perjalanan stasiun (π)	0	3	7	13	17	22	24	31	35	39	43	50	61
Waktu disposisi jika terjadi delay pada event (d)	0	3	7	13	17	22	24	31	35	39	43	50	61
Waktu disposisi jika terjadi delay pada activity (d_a)	0	4	9	14	17	22	26	32	36	40	43	50	61

Berdasarkan Tabel 4.4 dapat diketahui setiap nilai dari π_i dan d_i untuk setiap stasiun. Adapun nilai untuk $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{13}$ dapat dilihat dalam Tabel 4.4 baris kedua dan untuk nilai d_1, d_2, \dots, d_{13} dapat dilihat dalam Tabel 4.4 baris kedua.

Tahapan-tahapan pembentukan model permasalahan *delay management* untuk rute pergi DJKA – Bandara SMB II adalah sebagai berikut.

1. Tahap 1

Menghitung L_a yang merupakan selisih waktu yang dijadwalkan antara (π) antara i dan j . Berdasarkan Tabel 4.4 didapat bahwa nilai L_a untuk selisih stasiun diperoleh sebagai berikut :

$$L_{(1,2)} = |\pi_1 - \pi_2| = |0 - 3| = 3$$

$$L_{(2,3)} = |\pi_2 - \pi_3| = |3 - 7| = 4$$

$$L_{(3,4)} = |\pi_3 - \pi_4| = |7 - 13| = 6$$

$$L_{(4,5)} = |\pi_4 - \pi_5| = |13 - 17| = 4$$

$$L_{(5,6)} = |\pi_5 - \pi_6| = |17 - 22| = 5$$

$$L_{(6,7)} = |\pi_6 - \pi_7| = |22 - 24| = 2$$

$$L_{(7,8)} = |\pi_7 - \pi_8| = |24 - 31| = 7$$

$$L_{(8,9)} = |\pi_8 - \pi_9| = |31 - 35| = 4$$

$$L_{(9,10)} = |\pi_9 - \pi_{10}| = |35 - 39| = 4$$

$$L_{(10,11)} = |\pi_{10} - \pi_{11}| = |39 - 43| = 4$$

$$L_{(11,12)} = |\pi_{11} - \pi_{12}| = |43 - 50| = 7$$

$$L_{(12,13)} = |\pi_{12} - \pi_{13}| = |50 - 61| = 11$$

2. Tahap 2

Menghitung nilai d_{ij} dengan menghitung selisih waktu *delay* d_i dan d_j .

$$d_{12} = |d_1 - d_2| = |0 - 4| = 4$$

$$d_{23} = |d_2 - d_3| = |4 - 9| = 5$$

$$d_{34} = |d_3 - d_4| = |9 - 14| = 5$$

$$d_{45} = |d_4 - d_5| = |14 - 17| = 3$$

$$d_{56} = |d_5 - d_6| = |17 - 22| = 5$$

$$d_{67} = |d_6 - d_7| = |22 - 26| = 4$$

$$d_{78} = |d_7 - d_8| = |26 - 32| = 6$$

$$d_{89} = |d_8 - d_9| = |32 - 36| = 4$$

$$d_{910} = |d_9 - d_{10}| = |36 - 40| = 4$$

$$d_{1011} = |d_{10} - d_{11}| = |40 - 43| = 3$$

$$d_{1112} = |d_{11} - d_{12}| = |43 - 50| = 7$$

$$d_{1213} = |d_{12} - d_{13}| = |50 - 61| = 11$$

3. Tahap 3

Fungsi tujuan dibentuk dengan sesuai Model (2.3), maka bentuk modelnya seperti berikut ini:

$$\begin{aligned} \text{Min } f = & x_1 - \pi_1 + x_2 - \pi_2 + x_3 - \pi_3 + x_4 - \pi_4 + x_5 - \pi_5 + x_6 - \pi_6 + \\ & x_7 - \pi_7 + x_8 - \pi_8 + x_9 - \pi_9 + x_{10} - \pi_{10} + x_{11} - \pi_{11} + x_{12} - \\ & \pi_{12} + x_{13} - \pi_{13} \end{aligned}$$

$$\text{Min } f = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} - 345 \quad (4.1)$$

Fungsi tujuan (4.1) merupakan total jumlah waktu *delay* per stasiun berdasarkan model *delay management*. Tahap selanjutnya adalah mendeskripsikan kendala dari fungsi tujuan (4.1).

4. Tahap 4

Berdasarkan Pertidaksamaan (2.3.1) dengan menggunakan nilai π_i dan d_i dalam Tabel 4.4, maka kendalanya sebagai berikut :

$$x_1 \geq 0 \quad (4.1.1)$$

$$x_2 \geq 6 \quad (4.1.2)$$

$$x_3 \geq 14 \quad (4.1.3)$$

$$x_4 \geq 26 \quad (4.1.4)$$

$$x_5 \geq 34 \quad (4.1.5)$$

$$x_6 \geq 44 \quad (4.1.6)$$

$$x_7 \geq 48 \quad (4.1.7)$$

$$x_8 \geq 62 \quad (4.1.8)$$

$$x_9 \geq 70 \quad (4.1.9)$$

$$x_{10} \geq 78 \quad (4.1.10)$$

$$x_{11} \geq 86 \quad (4.1.11)$$

$$x_{12} \geq 100 \quad (4.1.12)$$

$$x_{13} \geq 122 \quad (4.1.13)$$

Pertidaksamaan dari (4.1.1) hingga (4.1.13) menjelaskan bahwa tidak ada *event* yang mendahului dari jadwal resmi yang ditetapkan dan sumber *delay* pada *event* dapat dihitung.

5. Tahap 5

Berdasarkan Pertidaksamaan (2.3.2) dan menggunakan nilai L_{ij} pada tahap 1 dan nilai d_{ij} pada tahap 2, diperoleh kendala di tahap ini sebagai berikut :

$$x_2 - x_1 \geq 7 \quad (4.1.14)$$

$$x_3 - x_2 \geq 9 \quad (4.1.15)$$

$$x_4 - x_3 \geq 11 \quad (4.1.16)$$

$$x_5 - x_4 \geq 7 \quad (4.1.17)$$

$$x_6 - x_5 \geq 10 \quad (4.1.18)$$

$$x_7 - x_6 \geq 6 \quad (4.1.19)$$

$$x_8 - x_7 \geq 10 \quad (4.1.20)$$

$$x_9 - x_8 \geq 8 \quad (4.1.21)$$

$$x_{10} - x_9 \geq 8 \quad (4.1.22)$$

$$x_{11} - x_{10} \geq 7 \quad (4.1.23)$$

$$x_{12} - x_{11} \geq 14 \quad (4.1.24)$$

$$x_{13} - x_{12} \geq 22 \quad (4.1.25)$$

Pertidaksamaan (4.1.14) sampai (4.1.25) merupakan batas bawah dari seluruh rangkaian $\forall a = (i, j) \in \mathcal{A}_{\text{train}}$ yang *delay* antar stasiunnya diperhitungkan.

6. Tahap 6

Berdasarkan Persamaan (2.3.4) yang menggunakan nilai L_{ij} di tahap 1, didapat pertidaksamaan untuk kendala pada tahap 6 ini yang menggunakan M sebagai konstanta yang bernilai besar, dimana pada penelitian ini M diasumsikan bernilai 100. Berapapun nilai M yang digunakan tidak akan mempengaruhi solusi optimal.

$$100g_{12} + x_2 - x_1 \geq 3 \quad (4.1.26)$$

$$100g_{23} + x_3 - x_2 \geq 4 \quad (4.1.27)$$

$$100g_{34} + x_4 - x_3 \geq 6 \quad (4.1.28)$$

$$100g_{45} + x_5 - x_4 \geq 4 \quad (4.1.29)$$

$$100g_{56} + x_6 - x_5 \geq 5 \quad (4.1.30)$$

$$100g_{67} + x_7 - x_6 \geq 2 \quad (4.1.31)$$

$$100g_{78} + x_8 - x_7 \geq 7 \quad (4.1.32)$$

$$100g_{89} + x_9 - x_8 \geq 4 \quad (4.1.33)$$

$$100g_{910} + x_{10} - x_9 \geq 4 \quad (4.1.34)$$

$$100g_{1011} + x_{11} - x_{10} \geq 4 \quad (4.1.35)$$

$$100g_{1112} + x_{12} - x_{11} \geq 7 \quad (4.1.36)$$

$$100g_{1213} + x_{13} - x_{12} \geq 11 \quad (4.1.37)$$

¹ Pertidaksamaan (4.1.26) sampai (4.1.37) menyatakan bahwa peristiwa i terjadi lebih dulu sebelum peristiwa j terjadi, maka nilai $g_{ij} = 0$ dan sebaliknya jika peristiwa j yang terjadi lebih dahulu sebelum peristiwa i , maka nilai $g_{ji} = 0$.

7. Tahap 7

Berdasarkan Persamaan (2.3.5), maka diperoleh kendala sebagai berikut:

$$g_{12} + g_{21} = 1 \quad (4.1.38)$$

$$g_{23} + g_{32} = 1 \quad (4.1.39)$$

$$g_{34} + g_{43} = 1 \quad (4.1.40)$$

$$g_{45} + g_{54} = 1 \quad (4.1.41)$$

$$g_{56} + g_{65} = 1 \quad (4.1.42)$$

$$g_{67} + g_{76} = 1 \quad (4.1.43)$$

$$g_{78} + g_{87} = 1 \quad (4.1.44)$$

$$g_{89} + g_{98} = 1 \quad (4.1.45)$$

$$g_{910} + g_{109} = 1 \quad (4.1.46)$$

$$g_{1011} + g_{1110} = 1 \quad (4.1.47)$$

$$g_{1112} + g_{1211} = 1 \quad (4.1.48)$$

$$g_{1213} + g_{1312} = 1 \quad (4.1.49)$$

¹ Persamaan (4.1.38) hingga (4.1.49) menyatakan bahwa tepat satu aktivitas maju pada setiap pasangan peristiwa i dan j yang dipilih.

8. Tahap 8

Berdasarkan Pertidaksamaan (2.3.6) diketahui kendala sebagai berikut :

$$x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13} \in \mathbb{N} \quad (4.1.50)$$

¹ Pertidaksamaan (4.1.50) menyatakan bahwa nilai optimal dari peristiwa $i \in \mathcal{E}$ pada jadwal disposisi merupakan bilangan asli.

9. Tahap 9

Berdasarkan Pertidaksamaan (2.3.8) diketahui kendala sebagai berikut:

$$g_{12}, g_{23}, g_{34}, g_{45}, g_{56}, g_{67}, g_{78}, g_{89}, g_{910}, g_{1011}, g_{1112}, g_{1213} \in \{0,1\} \quad (4.1.51)$$

¹ Pertidaksamaan (4.1.51) menyatakan bahwa nilai $g_{(i,j)}$ merupakan anggota bilangan biner yang bernilai 0 atau 1.

Selanjutnya Model (4.1) dengan kendala (4.1.1) hingga (4.1.51) dapat dihitung dengan menggunakan aplikasi LINGO untuk memperoleh hasil optimal $f(x, g)$ bernilai 352 menit yakni total keseluruhan waktu disposisi jika $delay$ pada *activity* (d_a) mengalami $delay$ hanya pada beberapa stasiun yang dapat dilihat pada Tabel 4.5.

¹ **Tabel 4.5 Delay pada Waktu Disposisi jika Terjadi Delay pada Activity (d_a) untuk Rute Pergi (DJKA-Bandara)**

Stasiun	(x_1, x_2)	(x_2, x_3)	(x_3, x_4)	(x_6, x_7)	(x_7, x_8)	(x_8, x_9)	Total delay
Lama delay	1 menit	2 menit	1 menit	1 menit	1 menit	1 menit	7 menit

¹ Berdasarkan Tabel 4.5 dapat dilihat bahwa $delay$ untuk rute pergi (DJKA-Bandara) oleh stasiun 1 ke stasiun 2 selama 1 menit, stasiun 2 ke stasiun 3 selama 2 menit, stasiun 3 ke stasiun 4 selama 1 menit dan seterusnya yang jika dijumlahkan total waktu $delay$ sebesar 7 menit untuk rute pergi. Sedangkan untuk nilai optimal variabel x masing-masing ¹ dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Nilai Optimal Masing-Masing Variabel x pada Model Permasalahan *Delay Management* untuk Rute Pergi (DJKA-Bandara)

Variabel (x)	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	x_{11}	x_{12}	x_{13}
Nilai	0	7	16	27	34	44	49	63	71	78	86	100	122

Sedangkan nilai untuk variabel g dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Nilai Optimal Masing-Masing Variabel g pada Model Permasalahan *Delay Management* untuk Rute Pergi (DJKA-Bandara)

Variabel (g)	g_{12}	g_{23}	g_{34}	g_{45}	g_{56}	g_{67}	g_{78}	g_{89}	g_{910}	g_{1011}	g_{1112}	g_{1213}
Nilai	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Berdasarkan Tabel 4.7 dilihat bahwa nilai masing-masing variabel $g_{12}, g_{23}, g_{34}, g_{45}, g_{56}, g_{67}, g_{78}, g_{89}, g_{910}, g_{1011}, g_{1112}, g_{1213}$ bernilai 0. Artinya benar bahwa tidak ada kejadian i yang terlewat oleh kejadian j .

4.4 Menghitung Selisih Waktu Keberangkatan Antar Stasiun Rute Keberangkatan Bandara-DJKA

Selisih waktu antar stasiun LRT untuk rute pulang (Bandara-DJKA) dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Selisih Waktu Antar Stasiun LRT Rute Keberangkatan Bandara-DJKA

Event	x'_1	x'_2	x'_3	x'_4	x'_5	x'_6	x'_7	x'_8	x'_9	x'_{10}	x'_{11}	x'_{12}	x'_{13}
Selisih waktu perjalanan antar stasiun (π)	0	11	19	23	26	30	36	39	44	47	53	59	62
Waktu disposisi jika terjadi <i>delay</i> pada event (d_e)	0	12	20	23	26	30	37	40	44	48	53	59	63
Waktu disposisi jika terjadi <i>delay</i> pada activity (d_a)	0	12	20	23	26	30	37	40	44	48	53	59	63

¹ Berdasarkan Tabel 4.8 dapat diketahui nilai π_i dan d_i untuk setiap stasiun.

Nilai $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{13}$ dapat dilihat pada Tabel 4.8 baris kedua dan nilai d_1, d_2, \dots, d_{13} ¹ dapat dilihat pada Tabel 4.8 baris kedua.

Tahapan-tahapan pembentukan model permasalahan *delay management* untuk rute pulang Bandara-DJKA adalah ¹ sebagai berikut

1. Tahap 1

Menghitung L_a yang merupakan selisih waktu yang dijadwalkan antara (π) antara i dan j . ¹ Berdasarkan Tabel 4.8 didapat bahwa nilai L_a untuk selisih stasiun diperoleh sebagai berikut :

$$L_{(12)} = |\pi_1 - \pi_2| = |0 - 11| = 11$$

$$L_{(2,3)} = |\pi_2 - \pi_3| = |11 - 19| = 8$$

$$L_{(3,4)} = |\pi_3 - \pi_4| = |19 - 23| = 4$$

$$L_{(4,5)} = |\pi_4 - \pi_5| = |23 - 26| = 3$$

$$L_{(5,6)} = |\pi_5 - \pi_6| = |26 - 30| = 4$$

$$L_{(6,7)} = |\pi_6 - \pi_7| = |30 - 36| = 6$$

$$L_{(7,8)} = |\pi_7 - \pi_8| = |36 - 39| = 3$$

$$L_{(8,9)} = |\pi_8 - \pi_9| = |39 - 44| = 5$$

$$L_{(9,10)} = |\pi_9 - \pi_{10}| = |44 - 47| = 3$$

$$L_{(10,11)} = |\pi_{10} - \pi_{11}| = |47 - 53| = 6$$

$$L_{(11,12)} = |\pi_{11} - \pi_{12}| = |53 - 59| = 6$$

$$L_{(12,13)} = |\pi_{12} - \pi_{13}| = |59 - 62| = 13$$

2. Tahap 2

Menghitung nilai d_{ij} dicari dengan menghitung selisih waktu $delay d_i$ dan d_j .

$$d_{12} = |d_1 - d_2| = |0 - 12| = 12$$

$$d_{23} = |d_2 - d_3| = |12 - 20| = 8$$

$$d_{34} = |d_3 - d_4| = |20 - 23| = 3$$

$$d_{45} = |d_4 - d_5| = |23 - 26| = 3$$

$$d_{56} = |d_5 - d_6| = |26 - 30| = 4$$

$$d_{67} = |d_6 - d_7| = |30 - 37| = 7$$

$$d_{78} = |d_7 - d_8| = |37 - 40| = 3$$

$$d_{89} = |d_8 - d_9| = |40 - 44| = 4$$

$$d_{910} = |d_9 - d_{10}| = |44 - 48| = 4$$

$$d_{1011} = |d_{10} - d_{11}| = |48 - 53| = 5$$

$$d_{1112} = |d_{11} - d_{12}| = |53 - 59| = 6$$

$$d_{1213} = |d_{12} - d_{13}| = |59 - 63| = 4$$

3. Tahap 3

Fungsi tujuan dibentuk dengan menggunakan Persamaan (2.3), maka bentuk modelnya seperti berikut ini:

$$\begin{aligned} \text{Min } f = & x'_1 - \pi_1 + x'_2 - \pi_2 + x'_3 - \pi_3 + x'_4 - \pi_4 + x'_5 - \pi_5 + x'_6 - \\ & \pi_6 + x'_7 - \pi_7 + x'_8 - \pi_8 + x'_9 - \pi_9 + x'_{10} - \pi_{10} + x'_{11} - \\ & \pi_{11} + x'_{12} - \pi_{12} + x'_{13} - \pi_{13} \\ \text{Min } f = & \text{3} x'_1 + x'_2 + x'_3 + x'_4 + x'_5 + x'_6 + x'_7 + x'_8 + x'_9 + \\ & x'_{10} + x'_{11} + x'_{12} + x'_{13} - 449 \end{aligned} \quad (4.2)$$

Fungsi tujuan (4.2) merupakan total jumlah waktu *delay* per stasiun berdasarkan model *delay management*. Tahap selanjutnya adalah mendeskripsikan kendala dari fungsi tujuan (4.2).

4. Tahap 4¹

Berdasarkan Pertidaksamaan (2.3.1) dengan menggunakan nilai π_i dan d_i diperoleh kendala sebagai berikut :

$$x'_1 \geq 0 \quad (4.3.1)$$

$$x'_2 \geq 23 \quad (4.3.2)$$

$$x'_3 \geq 39 \quad (4.3.3)$$

$$x'_4 \geq 46 \quad (4.3.4)$$

$$x'_5 \geq 52 \quad (4.3.5)$$

$$x'_6 \geq 60 \quad (4.3.6)$$

$$x'_7 \geq 73 \quad (4.3.7)$$

$$x'_8 \geq 79 \quad (4.3.8)$$

$$x'_9 \geq 88 \quad (4.3.9)$$

$$x'_{10} \geq 95 \quad (4.3.10)$$

$$x'_{11} \geq 106 \quad (4.3.11)$$

$$x'_{12} \geq 118 \quad (4.3.12)$$

$$x'_{13} \geq 125 \quad (4.3.13)$$

Pertidaksamaan dari (4.2.1) hingga (4.2.13) menjelaskan bahwa tidak ada *event* yang mendahului dari jadwal resmi yang ditetapkan dan sumber *delay* pada *event* dapat dihitung.

5. Tahap 5

Berdasarkan Pertidaksamaan (2.3.2) dan menggunakan nilai L_{ij} pada tahap 3 dan nilai d_{ij} pada tahap 2, diperoleh kendala di tahap ini sebagai berikut :

$$x'_2 - x'_1 \geq 23 \quad (4.3.14)$$

$$x'_3 - x'_2 \geq 16 \quad (4.3.15)$$

$$x'_4 - x'_3 \geq 7 \quad (4.3.16)$$

$$x'_5 - x'_4 \geq 6 \quad (4.3.17)$$

$$x'_6 - x'_5 \geq 8 \quad (4.3.18)$$

$$x'_7 - x'_6 \geq 13 \quad (4.3.19)$$

$$x'_8 - x'_7 \geq 6 \quad (4.3.20)$$

$$x'_9 - x'_8 \geq 9 \quad (4.3.21)$$

$$x'_{10} - x'_9 \geq 7 \quad (4.3.22)$$

$$x'_{11} - x'_{10} \geq 11 \quad (4.3.23)$$

$$x'_{12} - x'_{11} \geq 12 \quad (4.3.24)$$

$$x'_{13} - x'_{12} \geq 6 \quad (4.3.25)$$

Pertidaksamaan (4.2.14) sampai (4.2.25) merupakan batas bawah dari seluruh rangkaian $\forall a = (i, j) \in \mathcal{A}_{\text{train}}$ yang *delay* antar stasiunnya diperhitungkan.

6. Tahap 6

Berdasarkan Persamaan (2.3.4) dengan menggunakan nilai L_{ij} di tahap 1, didapat pertidaksamaan untuk kendala pada tahap 6 ini. M diasumsikan bernilai 100. Berapa pun nilai M yang digunakan tidak akan mempengaruhi solusi optimal.

$$100g_{12} + x'_2 - x'_1 \geq 11 \quad (4.2.26)$$

$$100g_{23} + x'_3 - x'_2 \geq 8 \quad (4.2.27)$$

$$100g_{34} + x'_4 - x'_3 \geq 4 \quad (4.2.28)$$

$$100g_{45} + x'_5 - x'_4 \geq 3 \quad (4.2.29)$$

$$100g_{56} + x'_6 - x'_5 \geq 4 \quad (4.2.30)$$

$$100g_{67} + x'_7 - x'_6 \geq 6 \quad (4.2.31)$$

$$100g_{78} + x'_8 - x'_7 \geq 3 \quad (4.2.32)$$

$$100g_{89} + x'_9 - x'_8 \geq 5 \quad (4.2.33)$$

$$100g_{910} + x'_{10} - x'_9 \geq 3 \quad (4.2.34)$$

$$100g_{1011} + x'_{11} - x'_{10} \geq 6 \quad (4.2.35)$$

$$100g_{1112} + x'_{12} - x'_{11} \geq 6 \quad (4.2.36)$$

$$100g_{1213} + x'_{13} - x'_{12} \geq 3 \quad (4.2.37)$$

Pertidaksamaan (4.2.26) sampai (4.2.37) menyatakan bahwa peristiwa i terjadi lebih dulu sebelum peristiwa j terjadi, maka nilai $g_{ij} = 0$ dan sebaliknya jika peristiwa j yang terjadi lebih dahulu sebelum peristiwa i , maka nilai $g_{ji} = 0$.

7. Tahap 7

Berdasarkan Persamaan (2.3.5), maka diperoleh kendala sebagai berikut:

$$g_{12} + g_{21} = 1 \quad (4.2.38)$$

$$g_{23} + g_{32} = 1 \quad (4.2.39)$$

$$g_{34} + g_{43} = 1 \quad (4.2.40)$$

$$g_{45} + g_{54} = 1 \quad (4.2.41)$$

$$g_{56} + g_{65} = 1 \quad (4.2.42)$$

$$g_{67} + g_{76} = 1 \quad (4.2.43)$$

$$g_{78} + g_{87} = 1 \quad (4.2.44)$$

$$g_{89} + g_{98} = 1 \quad (4.2.45)$$

$$g_{910} + g_{109} = 1 \quad (4.2.46)$$

$$g_{1011} + g_{1110} = 1 \quad (4.2.47)$$

$$g_{1112} + g_{1211} = 1 \quad (4.2.48)$$

$$g_{1213} + g_{1312} = 1 \quad (4.2.49)$$

Persamaan (4.2.38) hingga (4.2.49) menyatakan bahwa tepat satu aktivitas maju pada setiap pasangan peristiwa i dan j yang dipilih.

8. Tahap 8

Berdasarkan Pertidaksamaan (2.3.6) diketahui kendala sebagai berikut :

$$x'_1, x'_2, x'_3, x'_4, x'_5, x'_6, x'_7, x'_8, x'_9, x'_{10}, x'_{11}, x'_{12}, x'_{13} \in \mathbb{N} \quad (4.2.50)$$

Pertidaksamaan (4.2.50) menyatakan bahwa nilai optimal dari peristiwa $i \in \mathcal{E}$ pada jadwal disposisi merupakan bilangan asli.

9. Tahap 9

Berdasarkan Pertidaksamaan (2.3.8) diketahui kendala sebagai berikut:

$$g_{12}, g_{23}, g_{34}, g_{45}, g_{56}, g_{67}, g_{78}, g_{89}, g_{910}, g_{1011}, g_{1112}, g_{1312} \in \{0, 1\} \quad (4.3.51)$$

Pertidaksamaan (4.2.51) menyatakan bahwa nilai $g_{(i,j)}$ merupakan anggota bilangan biner yang bernilai 0 atau 1.

Selanjutnya Model (4.2) dengan kendala (4.2.1) hingga kendala (4.2.51) dapat dihitung dengan menggunakan aplikasi LINGO untuk memperoleh hasil optimal dengan nilai $f(x, g)$ yaitu nilai 455 menit. Nilai ini merupakan waktu disposisi jika terjadi *delay* pada *activity* (d_a). *Delay* hanya terjadi pada beberapa stasiun yang dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Delay pada Waktu Disposisi jika Terjadi Delay pada Activity (d_a) untuk Rute Pulang (Bandara-DJKA)

Stasiun	(x'_1, x'_2)	(x'_2, x'_3)	(x'_3, x'_4)	(x'_6, x'_7)	(x'_7, x'_8)	(x'_8, x'_9)	Total delay
Lama delay	1 menit	1 menit	1 menit	1 menit	1 menit	1 menit	6 menit

Berdasarkan Tabel 4.9 dapat dilihat bahwa delay untuk rute pulang (Bandara-DJKA) oleh stasiun 1 ke stasiun 2 selama 1 menit, stasiun 2 ke stasiun 3 selama 1 menit, stasiun 3 ke stasiun 4 selama 1 menit dan seterusnya yang jika dijumlahkan total waktu delay sebesar 6 menit untuk rute pulang. Sedangkan untuk nilai optimal variabel x' masing-masing dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Nilai Optimal Masing-Masing Variabel x' pada Model Permasalahan Delay Management untuk Rute Pulang (Bandara-DJKA)

Variabel (x)	x'_1	x'_2	x'_3	x'_4	x'_5	x'_6	x'_7	x'_8	x'_9	x'_{10}	x'_{11}	x'_{12}	x'_{13}
Nilai	0	23	39	46	52	60	73	79	88	95	106	118	125

Sedangkan nilai untuk variabel g dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Nilai Optimal Masing-Masing Variabel g pada Model Permasalahan Delay Management untuk Rute Pulang (Bandara-DJKA)

Variabel (g)	g_{12}	g_{23}	g_{34}	g_{45}	g_{56}	g_{67}	g_{78}	g_{89}	g_{910}	g_{1011}	g_{1112}	g_{1213}
Nilai	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Berdasarkan Tabel 4.11 dilihat bahwa nilai masing-masing variabel $g_{12}, g_{23}, g_{34}, g_{45}, g_{56}, g_{67}, g_{78}, g_{89}, g_{910}, g_{1011}, g_{1112}, g_{1213}$ bernilai 0 dan bernilai 1 lainnya, hal ini menunjukkan bahwa stasiun 1 terlewat terlebih dahulu sebelum stasiun 2 dan seterusnya.

4.5 Analisis Hasil Akhir

Berdasarkan model *delay management* yang terdapat di Model (4.1) untuk rute pergi DJKA-Bandara didapat nilai fungsi tujuan sebesar 352 menit dan solusi optimum *delay* sebesar 7 menit, dan untuk rute pulang Bandara-DJKA terdapat di Model (4.2) didapat nilai fungsi tujuan sebesar 455 menit dan solusi optimum *delay* sebesar 6 menit, dan g_{ij}^1 bernilai 0 dan 1 untuk lainnya. Hal ini menunjukkan benar bahwa stasiun 1 dilewati terlebih dahulu dari stasiun 2, Stasiun 2 dilewati terlebih dahulu sebelum stasiun 3, dan seterusnya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Model *Delay Management* untuk rute pergi (DJKA-Bandara) (4.1) menghasilkan nilai fungsi tujuan sebesar 325 menit dengan total *delay* 7 menit.
2. Model *Delay Management* untuk rute pulang (Bandara-DJKA) (4.2) menghasilkan nilai fungsi tujuan yang diperoleh sebesar 455 menit dengan total *delay* 6 menit.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk peneliti selanjutnya agar dikembangkan model *Delay Management* dengan menggunakan analisis kendala dan model lainnya.

¹ DAFTAR PUSTAKA

- Aldous, J. M. and Wilson, R.J. (2004). *Graph and Applications An Introductory Approach*. London : Springer-Verlag.
- ¹
Chen, D. S., Batson, R., and Dang, Y. (2010). *Applied Integer Programming Modeling and Solution*. New Jersey: John Willey & Son.
- Hillier, F. S., and Lieberman, G.J. (2012). *Introduction to Operation Research*. San Fransisco : Holden-Day.
- Kesumajati, T., Octarina S., dan Bangun, P. B. J. (2016). ¹
Implementasi algoritma auction pada penjadwalan transportasi publik. Prosiding Seminar dan Rapat Tahunan BKS PTN Barat, FMIPA Universitas Sriwijaya.
- ¹
Schachtebeck, M. (2009). Delay management in public transportation : capacities, robutness, and integration. *Thesis*. Jerman :Universitat Gottingen.
- Schobel, A. (2001). A model for the delay management problem based on mixed-integer-programming. *Jurnal of Electronis Notes in Theoretical Computer Science* 50, No. 1, Agustus 2001 (1-10). Jerman : Universitat Kaiserslautern.
- ¹
Schobel, A. (2006). *Optimization in Public Transportation*. Germany : Springer-Verlag.
- ¹
Schon, C. and Konig, E. (2018). A stochastic dynamic programming approach for delay management of a single train line. *Europian Journal of Operation Research* pp : 1-43.
- Siswanto. (2007). *Operations Research*. Jilid 1. Jakarta : PT. Erlangga.

Model Delay Management Light Rail Transit (LRT) Kota Palembang Berdasarkan Mixed Integer Programming

ORIGINALITY REPORT

26%

SIMILARITY INDEX

4%

INTERNET SOURCES

2%

PUBLICATIONS

27%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

Submitted to Sriwijaya University

Student Paper

25%

2

arizona.openrepository.com

Internet Source

1%

3

ilhoslacky.blogspot.com

Internet Source

1%

Exclude quotes On

Exclude bibliography On

Exclude matches < 1%