

OPTIMASI PENJADWALAN BUS TRANSJAKARTA DENGAN *MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING* (STUDI KASUS: BRT KORIDOR 2 PADA MASA COVID-19)

ARINI PUTRI WIBOWO



**DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2023**



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Optimasi Penjadwalan Bus Transjakarta dengan *Mixed Integer Linear Programming* (Studi Kasus: BRT Koridor 2 pada Masa COVID-19)” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Januari 2023

Arini Putri Wibowo
G54180017

ABSTRAK

ARINI PUTRI WIBOWO. Optimasi Penjadwalan Bus Transjakarta dengan *Mixed Integer Linear Programming* (Studi Kasus: BRT Koridor 2 pada Masa COVID-19). Dibimbing oleh BIB PARUHUM SILALAH dan HIDAYATUL MAYYANI.

DKI Jakarta merupakan salah satu provinsi di Indonesia dengan jumlah penduduk yang sangat padat. Tingginya mobilitas yang ada menyebabkan provinsi ini tidak lepas dari kemacetan yang melanda pada setiap harinya. Salah satu sarana transportasi umum yang dikembangkan oleh Pemerintah Provinsi DKI Jakarta sebagai upaya mengatasi permasalahan kemacetan adalah PT Transportasi Jakarta (PT TransJakarta). Perusahaan tersebut menggunakan sistem *Bus Rapid Transit* (BRT). Dalam karya ilmiah ini, akan dibahas masalah optimasi penjadwalan BRT TransJakarta di koridor 2 rute Harmoni - Pulogadung 1 pada masa pandemi COVID-19. Masalah penjadwalan BRT TransJakarta diformulasikan ke dalam *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) dan pencarian solusinya akan diselesaikan menggunakan *software* MiniZinc. Model dibuat dengan memperhatikan variasi jadwal dan partisi waktu. Dalam penerapannya, model ini menghasilkan biaya minimum dalam mengoperasikan bus dan banyaknya rit optimum yang kemudian akan digunakan untuk penyusunan jadwal keberangkatan bus.

Kata kunci: BRT, *mixed integer linear programming*, penjadwalan bus, TransJakarta

ABSTRACT

ARINI PUTRI WIBOWO. Optimization of Transjakarta Bus Timetabling with *Mixed Integer Linear Programming* (Case Study: BRT Corridor 2 during the COVID-19 Period). Supervised by BIB PARUHUM SILALAH and HIDAYATUL MAYYANI.

DKI Jakarta is one of the provinces in Indonesia with a very dense population. The high mobility that exists causes this province to be inseparable from the traffic jams that hit every day. One of the public transportation facilities developed by the Provincial Government of DKI Jakarta as an effort to overcome congestion problems is PT Transport Jakarta (PT TransJakarta). The company uses the *Bus Rapid Transit* (BRT) system. In this paper, the problem of optimizing the TransJakarta BRT timetabling in corridor 2 of the Harmoni - Pulogadung 1 route during the COVID-19 pandemic. The TransJakarta BRT timetabling is formulated into *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) and the search for a solution will be completed using the MiniZinc software. The model is made by paying attention to schedule variations and time partitions. In its application, this model produces a minimum cost of operating the bus and the optimum number of trips which will then be used for the preparation of the bus timetabling.

Keywords: BRT, bus timetabling, mixed integer linear programming, TransJakarta



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2023
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

OPTIMASI PENJADWALAN BUS TRANSJAKARTA DENGAN *MIXED INTEGER LINEAR PROGRAMMING* (STUDI KASUS: BRT KORIDOR 2 PADA MASA COVID-19)

ARINI PUTRI WIBOWO

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Matematika pada
Program Studi Matematika

**DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2023**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Penguji pada Ujian Skripsi:
Dr. Ir. Amril Aman, M.Sc.

Perpustakaan IPB University

Judul Skripsi : Optimasi Penjadwalan Bus Transjakarta dengan *Mixed Integer Linear Programming* (Studi Kasus: BRT Koridor 2 pada Masa COVID-19)

Nama : Arini Putri Wibowo

NIM : G54180017

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Dr. Ir. Bib Paruhum Silalahi, M.Kom.

Pembimbing 2:

Hidayatul Mayyani, S.Si., M.Si.

Diketahui oleh

Ketua Departemen Matematika:

Dr. Ir. Endar Hasafah Nugrahani, MS.

NIP 19631228 198903 2 001

Tanggal Ujian: 21 Desember 2022

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Alhamdulillahirobbil'alamin, penulis panjatkan puji dan syukur kepada Allaah *subhaanahu wata'aalaa* atas segala karunia dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Optimasi Penjadwalan Bus Transjakarta dengan *Mixed Integer Linear Programming* (Studi Kasus: BRT Koridor 2 pada Masa COVID-19)”. Penulisan skripsi ini tidak luput dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. kedua orang tua, Bapak Sugeng Purwanto dan Ibu Agus Sрни yang telah memberikan semangat, dukungan, motivasi, dan doa kepada penulis,
2. kakak kandung, Harry Sukma Wibowo, dan saudara sepupu beserta segenap keluarga besar yang telah memberikan doa dan dukungan untuk penulis,
3. Bapak Dr. Ir. Bib Paruhum Silalahi, M.Kom. selaku dosen pembimbing I dan Ibu Hidayatul Mayyani, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan banyak bimbingan, ilmu, saran, dan arahan selama proses penulisan skripsi,
4. Bapak Dr. Ir. Amril Aman, M.Sc. selaku dosen penguji yang telah memberikan banyak masukan, kritik, dan saran untuk skripsi ini,
5. para dosen dan tenaga pendidik Departemen Matematika yang telah memberikan bantuan dan ilmunya kepada penulis selama masa studi,
6. IKMP dan BEM FMIPA IPB atas pengalaman dan ilmu yang bermanfaat selama penulis bergabung organisasi,
7. sahabat dekat (Lisa, Billa, Aini, Fatia, Devani, Hani, Alivia) atas segala ilmu, pengalaman, kenangan, perhatian, dukungan, semangat, dan motivasi selama berkuliah di IPB serta proses penulisan skripsi,
8. teman-teman seperjuangan bimbingan (Diar, Cici, Herliana) yang telah menguatkan, menyemangati, memberikan dukungan, motivasi, dan saling membantu selama proses penulisan skripsi,
9. teman-teman Matematika Angkatan 55 yang saling memberikan dukungan dan semangat satu sama lain,
10. teman-teman SMA yang tetap kebersamai dan saling menguatkan satu sama lain selama masa studi dan proses penulisan skripsi,
11. diri saya sendiri yang tetap semangat berjuang dan tidak menyerah hingga akhir,
12. pihak lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang secara langsung ataupun tidak langsung telah memberikan bantuan dan dukungan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna dan memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis akan sangat terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan menginspirasi banyak orang.

Bogor, Januari 2023

Arini Putri Wibowo

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	x
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 TransJakarta	3
2.2 <i>Bus Rapid Transit</i> (BRT)	3
2.3 Penjadwalan	3
2.4 <i>Linear Programming</i> (LP)	4
2.5 <i>Integer Programming</i> (IP)	4
2.6 <i>Mixed Integer Linear Programming</i> (MILP)	4
III DESKRIPSI DAN FORMULASI MASALAH	6
3.1 Deskripsi Masalah	6
3.2 Formulasi Masalah	7
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	9
V SIMPULAN DAN SARAN	15
5.1 Simpulan	15
5.2 Saran	15
DAFTAR PUSTAKA	16
LAMPIRAN	18
RIWAYAT HIDUP	27



DAFTAR TABEL

1	Rekapitulasi data model	11
2	Pengolahan data untuk penyusunan jadwal bus	11
3	Jumlah rit optimum menggunakan MiniZinc 2.6.3	12
4	Pengolahan data untuk headway optimum di setiap partisi	13
5	Hasil pengoptimuman jadwal bus TransJakarta koridor 2 saat <i>weekday</i>	13
6	Hasil pengoptimuman jadwal bus TransJakarta koridor 2 saat <i>weekend</i>	14

DAFTAR GAMBAR

1	Rute BRT TransJakarta koridor 2 rute Harmoni - Pulogadung 1	9
2	Hasil <i>output</i> pada Minizinc 2.6.3.	23
3	Penulisan durasi <i>headway</i> optimum	24
4	Ilustrasi perhitungan <i>timetable</i> per partisi pada variasi 1	24
5	Ilustrasi lanjutan perhitungan <i>timetable</i> per partisi pada variasi 1	25
6	<i>Timetable</i> pada variasi 1 yang sudah digabung dari seluruh partisi	25
7	Ilustrasi perhitungan <i>timetable</i> per partisi pada variasi 2	25
8	Ilustrasi lanjutan perhitungan <i>timetable</i> per partisi pada variasi 2	25
9	Ilustrasi lanjutan (2) perhitungan <i>timetable</i> per partisi pada variasi 2	25
10	<i>Timetable</i> pada variasi 1 yang sudah digabung dari seluruh partisi	26

DAFTAR LAMPIRAN

1	Daftar halte yang dilalui bus untuk rit Harmoni - Pulogadung 1 - Harmoni dan rit Pulogadung 1 - Harmoni - Pulogadung 1	19
2	<i>Syntax</i> pada <i>software</i> Minizinc 2.6.3 dalam mencari rit optimum dan biaya operasional bus minimum	20
3	Data parameter yang digunakan pada <i>syntax</i> Minizinc 2.6.3	22
4	Hasil <i>output</i> pada Minizinc 2.6.3	23
5	Proses perhitungan perolehan <i>timetable</i>	24

I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

DKI Jakarta merupakan salah satu provinsi di Indonesia dengan jumlah penduduk yang sangat padat. Berdasarkan data hasil sensus penduduk BPS (2020), DKI Jakarta menduduki peringkat keenam sebagai provinsi terpadat dengan jumlah penduduk sebanyak 10.562.088 jiwa. Padatnya penduduk dan tingginya mobilitas yang ada menyebabkan provinsi ini tidak lepas dari kemacetan yang melanda pada setiap harinya. Kemacetan sering terjadi pada jam sibuk, terutama pagi dan sore hari, yaitu saat jam berangkat dan pulang kerja (Hanum *et al.* 2014).

Pemerintah Provinsi DKI Jakarta telah melakukan berbagai upaya sebagai solusi untuk mengatasi permasalahan kemacetan, antara lain penerapan sistem *three-in-one*, ganjil-genap, penambahan ruas jalan, pembangunan infrastruktur transportasi umum dan berbagai upaya lainnya (Limantara *et al.* 2017). Salah satu sarana transportasi umum yang dikembangkan oleh Pemerintah Provinsi DKI Jakarta adalah PT Transportasi Jakarta (PT TransJakarta). Perusahaan tersebut menggunakan sistem *Bus Rapid Transit* (BRT), yaitu sebuah sistem layanan operasi yang memiliki jalur khusus untuk bus dan terpisah dari kendaraan lainnya. Layanan BRT yang efisien, aman, dan nyaman, serta terjangkau diharapkan dapat menambah daya tarik masyarakat untuk memilih menggunakan transportasi umum dan mengurangi penggunaan transportasi pribadi (Mayyani *et al.* 2017).

PT Transportasi Jakarta memiliki Standar Pelayanan Minimal, selanjutnya disingkat SPM, yang diatur dalam Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta Nomor 33 Tahun 2017 sebagai landasan dalam melakukan pelayanan untuk meningkatkan kualitas dan menjamin mutu pelayanan, serta memenuhi permintaan dan kebutuhan penumpang. Akan tetapi, berdasarkan pengamatan secara langsung di lapangan, sering terjadi penumpukan penumpang, baik di halte maupun di bus, khususnya pada waktu sibuk. Sedangkan sebaliknya, pada waktu non sibuk, banyak armada bus yang hanya mengangkut sedikit penumpang.

Hal tersebut sangat mengkhawatirkan dikarenakan sejak tahun 2019 hingga kini, terdapat virus jenis baru, yaitu SARS-CoV-2 yang menyebabkan penyakit Corona Virus Disease-2019 (COVID-19). Virus ini menular dengan mudah melalui *droplet* dari hidung atau mulut penderita. *Droplet* yang telah menempel di objek atau permukaan suatu tempat kemudian menjadi media penyebaran jika media tersebut disentuh oleh orang yang sehat. Hal ini mengakibatkan penyakit COVID-19 dapat menyebar dengan cepat (Annas *et al.* 2020). Oleh karena itu, sebagai upaya menghindari dari virus tersebut, pemerintah menghimbau untuk menerapkan protokol kesehatan, seperti menggunakan alat pelindung diri berupa masker, membersihkan tangan secara teratur menggunakan sabun dan *handsanitizer*, menjaga jarak minimal satu meter, dan meningkatkan daya tahan tubuh (Kepmenkes 2020). Selain itu, pemerintah juga mengeluarkan beberapa kebijakan sebagai upaya pencegahan penyebaran, salah satunya Pemberlakuan Pembatasan Kegiatan Masyarakat (PPKM). Penumpukan penumpang yang terjadi di bus dan halte merupakan suatu bentuk pelanggaran terhadap protokol kesehatan dan kebijakan PPKM yang berlaku di Indonesia.

Diperlukan optimasi penjadwalan pada BRT untuk mengatasi penumpukan penumpang di halte dan bus pada masa pandemi. Di dalam penelitian ini, akan

dibahas masalah optimasi penjadwalan BRT TransJakarta di koridor 2 rute Harmoni - Pulogadung 1 pada masa pandemi COVID-19 yang kemudian akan diformulasikan ke dalam *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) dan pencarian solusinya akan diselesaikan dengan bantuan *software* MiniZinc 2.6.3.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana memodelkan masalah penjadwalan BRT TransJakarta koridor 2 rute Harmoni - Pulogadung 1 ke dalam bentuk MILP?
2. Bagaimana menyelesaikan model masalah penjadwalan BRT TransJakarta koridor 2 rute Harmoni - Pulogadung 1 untuk mendapatkan banyak rit optimum?
3. Bagaimana menyelesaikan model masalah penjadwalan BRT TransJakarta koridor 2 rute Harmoni - Pulogadung 1 agar dapat meminimumkan biaya dalam mengoperasikan bus?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah memodelkan masalah penjadwalan BRT TransJakarta koridor 2 rute Harmoni - Pulogadung 1 ke dalam bentuk MILP, kemudian menyelesaikan model masalah untuk mendapatkan banyak rit optimum agar dapat meminimumkan biaya dalam mengoperasikan bus.

II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 TransJakarta

TransJakarta adalah suatu perusahaan yang bergerak di bidang transportasi dan menerapkan sistem *Bus Rapid Transit* (BRT) pertama di Asia Tenggara dan Asia Selatan. TransJakarta memiliki jalur lintasan terpanjang di dunia, yaitu 208 km. TransJakarta resmi beroperasi di Indonesia sejak tanggal 1 Februari 2004. Berdasarkan Keputusan Gubernur DKI Jakarta No. 110/2003, TransJakarta diputuskan berbentuk Badan Pengelola (BP) TransJakarta. Selanjutnya pada tanggal 4 Mei 2006 masa kepemimpinan Gubernur Sutiyoso, BP TransJakarta berubah menjadi Badan Layanan Umum (BLU) TransJakarta yang merupakan Unit Pelaksana Teknis (UPT) di bawah Dinas Perhubungan Provinsi DKI Jakarta. Hal ini juga diatur dalam Peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 48 Tahun 2006. Kemudian pada tanggal 27 Maret 2014, TransJakarta resmi berganti nama menjadi PT Transportasi Jakarta dan berubah status menjadi Badan Usaha Milik Daerah (BUMD). Permintaan yang terus meningkat dari waktu ke waktu membuat PT Transportasi Jakarta semakin berkembang dengan menambahkan bus, jalur, rute, halte, dan infrastuktur lainnya (TransJakarta c2016).

2.2 *Bus Rapid Transit* (BRT)

ITDP (2007) menyatakan bahwa *Bus Rapid Transit* (BRT) adalah suatu sistem bus transit berkualitas tinggi yang memiliki mobilitas cepat, nyaman, dan hemat biaya. BRT menyediakan infrastruktur jalan yang terpisah dengan kendaraan lainnya, beroperasi dengan sering dan cepat, serta unggul dalam *marketing* (pemasaran) dan melayani penumpang.

Menurut Wright (2003), ciri utama dari sistem BRT, antara lain:

1. jalur bus terpisah,
2. cepat,
3. pembelian tiket secara prabayar yang efisien,
4. terminal yang aman dan nyaman,
5. informasi peta rute dan rambu ditampilkan secara *real-time* (serta merta),
6. teknologi GPS yang mendeteksi lokasi bus,
7. moda di stasiun dan terminal terintegrasi, serta
8. unggul dalam *marketing* (pemasaran) dan melayani penumpang.

2.3 Penjadwalan

Menurut Sari (2018), penjadwalan merupakan suatu proses pengambilan keputusan yang berkaitan dengan pengalokasian sumber daya yang terbatas untuk tugas dari waktu ke waktu agar dapat mengoptimalkan satu atau lebih tujuan. Beberapa tujuan dan aktivitas penjadwalan, antara lain:

1. meningkatkan penggunaan sumber daya atau mengurangi waktu tunggu, sehingga total waktu prosesnya berkurang dan produktivitasnya meningkat,
2. mengurangi persediaan barang setengah jadi atau pekerjaan yang tertunda dalam antrean ketika sumber daya yang tersedia masih mengerjakan pekerjaan yang lain,

3. mengurangi keterlambatan dalam pekerjaan yang memiliki tenggat waktu penyelesaian, sehingga *penalty cost* (biaya keterlambatan) dapat diminimumkan, serta
4. membantu pengambilan keputusan terkait perencanaan kapasitas pabrik dan jenis kapasitas yang dibutuhkan, sehingga dapat menghindari penambahan biaya yang mahal.

2.4 Linear Programming (LP)

Supranto (2006) menyatakan bahwa *Linear Programming* (LP) atau pemrograman linear adalah suatu teknik dalam bidang riset dan operasi untuk menyelesaikan masalah optimasi, baik memaksimumkan atau meminimumkan menggunakan persamaan linear ataupun pertidaksamaan linear dengan memperhatikan batasan-batasan yang ada. Menurut Taha (2007), LP di dalam riset operasi terdiri dari tiga komponen utama, antara lain:

1. penentuan variabel keputusan,
2. optimasi fungsi tujuan yang akan dibutuhkan, baik maksimum/minimum, dan
3. kendala untuk mencari solusi yang fisibel.

2.5 Integer Programming (IP)

Menurut Winston (2004), *Integer Programming* (IP) adalah suatu bentuk pemrograman linear yang beberapa atau seluruh variabel keputusannya merupakan *integer* (bilangan bulat). Terdapat tiga jenis IP, yakni:

1. *Pure Integer Programming* (PIP), jika seluruh variabel dalam IP berupa *integer*,
2. *Mixed Integer Programming* (MIP), jika hanya sebagian atau beberapa variabel saja dalam IP yang berupa *integer*, dan
3. *Binary Integer Programming* (BIP) atau 0-1 IP, jika variabel dalam IP bernilai 0 atau 1.

2.6 Mixed Integer Linear Programming (MILP)

Menurut Garrido-Jurado *et al.* (2016), *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) merupakan suatu model pengoptimuman matematis dimana beberapa atau seluruh variabel keputusannya dibatasi menjadi bilangan bulat (*integer*), sedangkan fungsi tujuan dan kendalanya linear. Bentuk kanonik dari MILP adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \text{maximize } c^t x \\ & \text{Subject to} \\ & Ax \leq b \\ & x \geq 0 \\ & x \in \mathbb{Z}, \end{aligned} \tag{1}$$

dimana x adalah vektor dari variabel keputusan, c adalah koefisien vektor dari fungsi tujuan, dan A adalah koefisien matriks dari kendala, serta b adalah vektor konstan. Kendala terakhir membatasi seluruh variabel keputusan berupa bilangan bulat.

Mixed Integer Linear Programming telah banyak digunakan pada beberapa penelitian sebelumnya. Beberapa penelitian yang menggunakan MILP ialah *rescheduling* pada kereta rel listrik (KRL) untuk meminimumkan total *delay* rute KRL Bogor - Jakarta Kota ketika terjadi gangguan selama perjalanan dengan

beberapa skenario (Zenia 2021), kendali model prediktif (MPC) pada masalah pemilihan rute dengan memperhatikan batas kecepatan dan jumlah kendaraan yang akan mempengaruhi waktu tempuh pengemudi (Elen 2015), penentuan lokasi dan jumlah posko untuk bencana banjir di Kota Manado dengan tetap memenuhi permintaan pada setiap titik bencana dan memperhatikan biaya yang disediakan untuk pembangunan posko (Lasut 2019), serta masih banyak lagi.





III DESKRIPSI DAN FORMULASI MASALAH

3.1 Deskripsi Masalah

Bus TransJakarta merupakan salah satu moda transportasi umum yang sering digunakan oleh penduduk Jakarta dan sekitarnya dikarenakan pelayanan serta fasilitasnya yang cukup efektif dan efisien. Selain harga tiketnya yang sangat ekonomis dan terjangkau, bus TransJakarta menjadi salah satu alternatif pilihan masyarakat dikarenakan pelayanannya yang sudah tersebar hampir di seluruh wilayah DKI Jakarta dan sekitarnya. Berdasarkan Pejabat Pengelola Informasi dan Dokumentasi PT Transportasi Jakarta (c2018-2022), sejak tahun 2019 PT TransJakarta sudah melayani sebanyak 247 rute yang menyebar ke wilayah Jakarta, Bogor, Depok, Tangerang, dan Bekasi.

PT Transportasi Jakarta selaku perusahaan penyedia jasa, memiliki landasan dalam melayani penumpang yang telah diatur dalam SPM pada Peraturan Gubernur Provinsi DKI Jakarta Nomor 33 Tahun 2017. SPM tersebut harus dipenuhi untuk mematuhi aturan yang berlaku, namun harus tetap memperhatikan *demand* dari penumpang. Akan tetapi, berdasarkan pengamatan secara langsung di lapangan, pada waktu sibuk, sering terjadi penumpukan penumpang, baik di halte maupun di bus. Sedangkan pada waktu non sibuk, banyak armada bus yang hanya mengangkut sedikit penumpang.

Oleh karena itu, dibutuhkan penjadwalan yang optimum dengan memperhatikan waktu beserta dengan rerata banyaknya penumpang yang naik bus. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan memecah jam operasional selama satu hari menjadi beberapa partisi waktu. Penggunaan partisi dapat membantu mengatasi *demand* penumpang yang berbeda-beda di beberapa waktu tertentu. Selain partisi, akan digunakan suatu variasi penjadwalan. Penggunaan variasi dapat membantu mengatasi perbedaan banyaknya armada bus yang beroperasi saat *weekday* (Senin-Jumat) dan *weekend* (Sabtu-Minggu).

Untuk mengatasi permasalahan, terdapat beberapa asumsi yang digunakan pada model ini, antara lain:

1. penumpang terdistribusi secara merata dalam satu partisi penjadwalan,
2. *headway* bus (selisih (dalam satuan menit) waktu keberangkatan antara satu bus dengan bus berikutnya pada satu rute yang sama) dalam setiap satu partisi adalah sama,
3. rit bus didefinisikan sebagai perjalanan bus dari titik pemberangkatan awal ke titik pemberhentian akhir lalu kembali lagi ke titik pemberangkatan awal (satu rit = awal → akhir → awal),
4. jenis bus homogen, sehingga kapasitas bus adalah sama,
5. setiap bus dapat beroperasi lebih dari satu rit dalam satu hari,
6. tidak ada penumpang yang tidak terangkut bus, dan
7. seluruh halte beroperasi (tidak ada halte yang sedang direvitalisasi), sehingga bus berhenti di seluruh halte.

3.2 Formulasi Masalah

Pada karya ilmiah ini, formulasi masalah model penjadwalan bus optimum dengan model *Mixed Integer Linear Programming* dimodifikasi dari Wihartiko *et al.* (2017). Formulasi masalah didefinisikan dengan indeks dan himpunan, parameter, serta variabel keputusan sebagai berikut:

Indeks dan Himpunan

- v = indeks untuk variasi penjadwalan, $v = 1, 2, \dots, i$
 p = indeks untuk partisi pembagian waktu penjadwalan, $p = 1, 2, \dots, j$
 V = himpunan variasi penjadwalan dalam periode tertentu
 P_v = himpunan partisi pembagian waktu penjadwalan dalam variasi penjadwalan $v \in V$

Parameter

- $b_{v,p}^{pnmp}$ = rata-rata banyaknya penumpang dalam variasi penjadwalan $v \in V$ pada partisi waktu $p \in P_v$
 b_v^{bus} = banyaknya armada bus yang dapat dioperasikan dalam variasi penjadwalan $v \in V$
 b^{kpst} = kapasitas bus (dalam satuan penumpang)
 b^{pram} = banyaknya pramudi bus yang ditugaskan
 $t_{v,p}^{bwh}$ = batas bawah waktu keberangkatan bus dalam variasi penjadwalan $v \in V$ pada partisi waktu $p \in P_v$
 $t_{v,p}^{atas}$ = batas atas waktu keberangkatan bus dalam variasi penjadwalan $v \in V$ pada partisi waktu $p \in P_v$
 $\Delta t_{v,p}$ = selisih antara batas bawah waktu keberangkatan bus dengan batas atas waktu keberangkatan bus dalam variasi penjadwalan $v \in V$ pada partisi waktu $p \in P_v$

$$\Delta t_{v,p} = t_{v,p}^{atas} - t_{v,p}^{bwh} \quad (2)$$

- $T_{v,p}$ = durasi waktu tempuh perjalanan selama satu rit (dalam satuan menit) dalam variasi penjadwalan $v \in V$ pada partisi waktu $p \in P_v$
 $h_{v,p}$ = *headway* bus, didefinisikan sebagai selisih (dalam satuan menit) waktu keberangkatan antara satu bus dengan bus berikutnya pada satu rute yang sama dalam variasi penjadwalan $v \in V$ pada partisi waktu $p \in P_v$

$$h_{v,p} = \left\lceil \frac{T_{v,p}}{b_v^{bus}} \right\rceil \quad (3)$$

- $h_{v,p}^{SPM}$ = *headway* bus ditambahkan dengan toleransi waktu keterlambatan berdasarkan Standar Pelayanan Minimal Layanan Angkutan Umum TransJakarta untuk Sistem BRT dalam variasi penjadwalan $v \in V$ pada partisi waktu $p \in P_v$
 LF = *load factor*, didefinisikan sebagai persentase antara jumlah penumpang yang diangkut dengan kapasitas bus
 j^{max} = jam kerja maksimum pramudi bus per hari (dalam satuan menit)
 j^{min} = jam kerja minimum pramudi bus per hari (dalam satuan menit)
 $k_{v,p}^{LF}$ = banyaknya penumpang yang diharapkan oleh perusahaan penyedia layanan dapat terlayani dalam variasi penjadwalan $v \in V$ pada partisi waktu $p \in P_v$
 k_v = jumlah hari pengulangan jadwal dalam variasi penjadwalan $v \in V$

$r_{v,p}^{max}$ = banyaknya rit maksimum yang mungkin terpenuhi dalam variasi penjadwalan $v \in V$ pada partisi waktu $p \in P_v$

$$r_{v,p}^{max} = \left\lfloor \frac{\Delta t_{v,p}}{h_{v,p}} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{t_{v,p}^{atas} - t_{v,p}^{bwh}}{h_{v,p}} \right\rfloor \quad (4)$$

$r_{v,p}^{min}$ = banyaknya rit minimum yang harus terpenuhi dalam variasi penjadwalan $v \in V$ pada partisi waktu $p \in P_v$

$$r_{v,p}^{min} = \left\lceil \frac{\Delta t_{v,p}}{h_{v,p}^{SPM}} \right\rceil = \left\lceil \frac{t_{v,p}^{atas} - t_{v,p}^{bwh}}{h_{v,p}^{SPM}} \right\rceil \quad (5)$$

$out_{v,p}$ = rata-rata biaya operasional bus yang dibutuhkan untuk setiap rit dalam variasi penjadwalan $v \in V$ pada partisi waktu $p \in P_v$

Variabel Keputusan

$rit_{v,p}$ = banyaknya rit optimum dalam variasi penjadwalan $v \in V$ pada partisi waktu $p \in P_v$

Fungsi Objektif

Fungsi objektif untuk mencari banyaknya rit optimum agar dapat meminimumkan biaya dalam mengoperasikan bus.

$$\min z(x) = \sum_{v \in V} \sum_{p \in P_v} rit_{v,p} \cdot out_{v,p} \quad (6)$$

Kendala

1. Kendala untuk memastikan bahwa semua keberangkatan dapat terlayani dengan tetap memperhatikan jam kerja minimum dan maksimum pramudi.

$$5 \cdot j^{min} \cdot \frac{b^{pram}}{2} \leq \sum_{v \in V} \sum_{p \in P_v} T_{v,p} \cdot k_v \cdot rit_{v,p} \leq 5 \cdot j^{max} \cdot \frac{b^{pram}}{2} \quad (7)$$

2. Kendala untuk memastikan bahwa banyaknya rit yang dilayani tidak melebihi banyaknya armada bus yang ada dan sesuai dengan Standar Pelayanan Minimal Layanan Angkutan Umum TransJakarta untuk Sistem BRT.

$$r_{v,p}^{min} \leq rit_{v,p} \leq r_{v,p}^{max}; \forall v \in V, \forall p \in P_v \quad (8)$$

3. Kendala untuk memastikan bahwa penumpang dapat terlayani sesuai dengan harapan perusahaan.

$$rit_{v,p} \geq \frac{b_{v,p}^{pnmp}}{k_{v,p}^{LF}}; \forall v \in V, \forall p \in P_v \quad (9)$$

4. Kendala integer dan ketaknegatifan

$$rit_{v,p} \in \mathbb{Z}^+ \cup \{0\}; \forall v \in V, \forall p \in P_v \quad (10)$$

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Ruang lingkup data penelitian ini hanya dibatasi pada koridor 2 rute Harmoni - Pulogadung 1 pada masa pandemi COVID-19. Saat penelitian dilakukan, kebijakan yang sedang diterapkan oleh pemerintah adalah PPKM Level 1. Oleh karena itu, pengoperasian bus dilakukan setiap hari mulai pukul 05.00 WIB s.d. 22.00 WIB. Gambar 1 menunjukkan rute di koridor 2.



Sumber: PT Transportasi Jakarta (c2016). <https://transjakarta.co.id/peta-rute/>

Gambar 1 Rute BRT TransJakarta koridor 2 rute Harmoni - Pulogadung 1

Total halte yang dilalui bus selama satu rit adalah sebanyak 36 halte. Daftar halte yang dilalui bus untuk rit Harmoni - Pulogadung 1 - Harmoni dan rit Pulogadung 1 - Harmoni - Pulogadung 1 terdapat pada Lampiran 1.

Data penelitian bersumber dari PT Transportasi Jakarta, Google Maps 2022, dan pengamatan secara langsung di lapangan. Data yang bersumber dari PT Transportasi Jakarta diperoleh dengan mengambil informasi pada laman resmi PT Transportasi Jakarta dan mewawancarai petugas bagian pengendalian dan pramudi bus. Berikut merupakan data yang diperoleh untuk penyusunan jadwal bus:

1. Jumlah armada bus yang beroperasi saat *weekday* dan *weekend* berbeda, yaitu 22 bus saat *weekday* dan 20 bus saat *weekend*. Oleh karena itu, akan digunakan variasi penjadwalan. Terdapat dua variasi penjadwalan, yaitu variasi 1 yang menyatakan *weekday* (Senin s.d. Jumat) dan variasi 2 yang menyatakan *weekend* (Sabtu dan Minggu).
2. Waktu sibuk adalah waktu pada saat penumpang banyak menggunakan jasa layanan bus, yaitu pada pukul 06.00-09.00 WIB dan 16.00-20.00 WIB (Pergub 2017). Oleh karena itu, pada masing-masing variasi akan dibentuk partisi waktu penjadwalan berdasarkan waktu sibuk dan non sibuk, beserta dengan sebaran rata-rata banyaknya penumpang. Variasi 1 dibagi menjadi tujuh partisi waktu penjadwalan, yaitu pukul 05.00-06.00, 06.00-09.50, 09.50-12.30, 12.30-13.50, 13.50-15.20, 15.20-20.30, dan 20.30-22.00. Sedangkan untuk variasi 2 dibagi menjadi tiga partisi waktu penjadwalan, yaitu pukul 05.00-10.30, 10.30-19.30, dan 19.30-22.00.
3. Toleransi waktu keterlambatan pada waktu sibuk dan non sibuk masing-masing adalah sebesar 5 menit dan 10 menit. Sedangkan *headway* bus pada waktu sibuk adalah 7 menit, sedangkan pada waktu non sibuk adalah 15 menit (Pergub 2017). Oleh karena itu, $h_{v,p}^{SPM}$ untuk waktu sibuk adalah 5 menit + 7 menit = 12 menit, sedangkan $h_{v,p}^{SPM}$ untuk waktu non sibuk adalah 10 menit + 15 menit = 25 menit.
4. Normalnya kapasitas bus adalah 80 penumpang. Akan tetapi, dikarenakan adanya kebijakan PPKM level 1, maka kapasitas bus adalah 60 penumpang.
5. *Load factor* bus pada masa PPKM level 1 adalah sebesar 75%, sehingga banyaknya penumpang yang diharapkan oleh perusahaan dapat terlayani ($k_{v,p}^{LF}$) adalah 60 penumpang.
6. Jumlah pramudi yang bekerja di koridor 2 per harinya sebanyak 46 orang.
7. Pramudi bekerja sebanyak 5 hari per pekan dengan jam kerja selama 8 hingga 9 jam per harinya. Dalam satu hari, terdapat dua *shift*, yaitu pagi dan siang.
8. Rit didefinisikan sebagai perjalanan dari titik awal ke titik akhir, lalu kembali ke titik awal. Jarak tempuh untuk rute Harmoni - Pulogadung 1 dihitung menggunakan bantuan Google Maps 2022, yaitu 26,6 km.
9. Biaya operasional bus yang dibutuhkan untuk setiap rit diperoleh dari mengalikan biaya operasional bus per kilometer dengan jarak tempuh per rit. Biaya operasional bus per kilomernya adalah sebesar Rp11.100,00/km. Oleh karena itu biaya operasional bus yang dibutuhkan untuk setiap rit per bus adalah Rp295.260,00.

Tabel 1 menunjukkan hasil rekapitulasi data yang akan digunakan untuk penyusunan jadwal bus yang optimum.

Tabel 1 Rekapitulasi data model

No	v	p_v	k_v	$t_{v,p}^{bwh}$	$t_{v,p}^{atas}$	$\Delta t_{v,p}$	$b_{v,p}^{pnmp}$	$T_{v,p}$	$h_{v,p}$	$h_{v,p}^{SPM}$
1	1	1	5	05.00	06.00	60	390	75	4	25
2	1	2	5	06.00	09.50	230	1103	122	6	12
3	1	3	5	09.50	12.30	160	880	101	5	25
4	1	4	5	12.30	13.50	80	493	109	5	12
5	1	5	5	13.50	15.20	90	420	104	5	25
6	1	6	5	15.20	20.30	310	1680	115	6	12
7	1	7	5	20.30	22.00	90	145	82	4	25
8	2	1	2	05.00	10.30	330	908	91	5	25
9	2	2	2	10.30	19.30	540	1980	103	6	12
10	2	3	2	19.30	22.00	150	178	78	4	25

Kemudian data yang tersedia pada Tabel 1 akan digunakan untuk mencari $T_{v,p} \cdot k_v$ dan $\frac{b_{v,p}^{pnmp}}{k_{v,p}^{LF}}$, serta jumlah rit maksimum yang mungkin dipenuhi dan rit minimum yang harus terpenuhi dengan menggunakan persamaan (4) dan (5). Contohnya untuk variasi 1 partisi 1 (*weekday* pukul 05.00-06.00), rit minimum dan rit maksimum diperoleh dengan persamaan $r_{1,1}^{min} = \left\lceil \frac{60}{25} \right\rceil = 3$ dan $r_{1,1}^{max} = \left\lfloor \frac{60}{4} \right\rfloor = 15$. Hasil perhitungan keseluruhan terdapat pada Tabel 2.

Tabel 2 Pengolahan data untuk penyusunan jadwal bus

No	v	p_v	$T_{v,p} \cdot k_v$	$r_{v,p}^{min}$	$r_{v,p}^{max}$	$\frac{b_{v,p}^{pnmp}}{k_{v,p}^{LF}}$
1	1	1	375	3	15	7
2	1	2	610	20	38	19
3	1	3	505	7	32	15
4	1	4	545	7	16	9
5	1	5	520	4	18	7
6	1	6	575	26	51	28
7	1	7	410	4	22	3
8	2	1	182	14	66	16
9	2	2	206	45	90	33
10	2	3	156	6	37	3

Model penentuan jumlah rit optimum dengan *Mixed Integer Linear Programming* berdasarkan data pada Tabel 1 dan Tabel 2 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & 295260rit_{1,1} + 295260rit_{1,2} + 295260rit_{1,3} + 295260rit_{1,4} + \\ & 295260rit_{1,5} + 295260rit_{1,6} + 295260rit_{1,7} + 295260rit_{2,1} + \\ & 295260rit_{2,2} + 295260rit_{2,3} \end{aligned} \quad (11)$$

Terhadap

$$\begin{aligned} \bullet \quad & 55200 \leq 375rit_{1,1} + 610rit_{1,2} + 505rit_{1,3} + 545rit_{1,4} + 520rit_{1,5} + \\ & 575rit_{1,6} + 410rit_{1,7} + 182rit_{2,1} + 206rit_{2,2} + 156rit_{2,3} \leq 62100 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \bullet 3 \leq rit_{1,1} \leq 15 & \bullet 14 \leq rit_{2,1} \leq 66 & \bullet rit_{1,5} \geq 7 \\
 & \bullet 20 \leq rit_{1,2} \leq 38 & \bullet 45 \leq rit_{2,2} \leq 90 & \bullet rit_{1,6} \geq 28 \\
 & \bullet 7 \leq rit_{1,3} \leq 32 & \bullet 6 \leq rit_{2,3} \leq 37 & \bullet rit_{1,7} \geq 3 \\
 & \bullet 7 \leq rit_{1,4} \leq 16 & \bullet rit_{1,1} \geq 7 & \bullet rit_{2,1} \geq 16 \\
 & \bullet 4 \leq rit_{1,5} \leq 18 & \bullet rit_{1,2} \geq 19 & \bullet rit_{2,2} \geq 33 \\
 & \bullet 26 \leq rit_{1,6} \leq 51 & \bullet rit_{1,3} \geq 15 & \bullet rit_{2,3} \geq 3 \\
 & \bullet 4 \leq rit_{1,7} \leq 22 & \bullet rit_{1,4} \geq 9 & \\
 & rit_{1,1}, rit_{1,2}, rit_{1,3}, rit_{1,4}, rit_{1,5}, rit_{1,6}, rit_{1,7}, rit_{2,1}, rit_{2,2}, rit_{2,3} \in \mathbb{Z}^+ \cup \{0\}
 \end{aligned}$$

Kemudian model (11) disederhanakan menjadi sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Min} \quad & 295260rit_{1,1} + 295260rit_{1,2} + 295260rit_{1,3} + 295260rit_{1,4} + \\
 & 295260rit_{1,5} + 295260rit_{1,6} + 295260rit_{1,7} + 295260rit_{2,1} + \\
 & 295260rit_{2,2} + 295260rit_{2,3}
 \end{aligned} \tag{12}$$

Terhadap

$$\begin{aligned}
 & \bullet -375rit_{1,1} - 610rit_{1,2} - 505rit_{1,3} - 545rit_{1,4} - 520rit_{1,5} - 575rit_{1,6} - \\
 & 410rit_{1,7} - 182rit_{2,1} - 206rit_{2,2} - 156_{2,3} \leq -55200 \\
 & \bullet 375rit_{1,1} + 610rit_{1,2} + 505rit_{1,3} + 545rit_{1,4} + 520rit_{1,5} + 575rit_{1,6} + \\
 & 410rit_{1,7} + 182rit_{2,1} + 206rit_{2,2} + 156_{2,3} \leq 62100 \\
 & \bullet -rit_{1,1} \leq -7 & \bullet -rit_{1,6} \leq -28 \\
 & \bullet rit_{1,1} \leq 15 & \bullet rit_{1,6} \leq 51 \\
 & \bullet -rit_{1,2} \leq -20 & \bullet -rit_{1,7} \leq -4 \\
 & \bullet rit_{1,2} \leq 38 & \bullet rit_{1,7} \leq 22 \\
 & \bullet -rit_{1,3} \leq -15 & \bullet -rit_{2,1} \leq -16 \\
 & \bullet rit_{1,3} \leq 32 & \bullet rit_{2,1} \leq 66 \\
 & \bullet -rit_{1,4} \leq -9 & \bullet -rit_{2,2} \leq -45 \\
 & \bullet rit_{1,4} \leq 16 & \bullet rit_{2,2} \leq 90 \\
 & \bullet -rit_{1,5} \leq -7 & \bullet -rit_{2,3} \leq -6 \\
 & \bullet rit_{1,5} \leq 18 & \bullet rit_{2,3} \leq 37 \\
 & \bullet rit_{1,1}, rit_{1,2}, rit_{1,3}, rit_{1,4}, rit_{1,5}, rit_{1,6}, rit_{1,7}, rit_{2,1}, rit_{2,2}, rit_{2,3} \in \mathbb{Z}^+ \cup \{0\}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan pengolahan data menggunakan bantuan *software* MiniZinc 2.6.3 (*syntax* pada Lampiran 2). *Output* terdapat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Jumlah rit optimum menggunakan MiniZinc 2.6.3

No	$rit_{v,p}$	Nilai
1	$rit_{1,1}$	7
2	$rit_{1,2}$	20
3	$rit_{1,3}$	15
4	$rit_{1,4}$	9
5	$rit_{1,5}$	7
6	$rit_{1,6}$	28
7	$rit_{1,7}$	4
8	$rit_{2,1}$	16
9	$rit_{2,2}$	45
10	$rit_{2,3}$	6

Total rit optimum untuk koridor 2 adalah 90 rit per hari saat *weekday* dan 67 rit per hari saat *weekend*. Sedangkan biaya operasional minimum yang harus dikeluarkan perusahaan dalam mengoperasikan bus di koridor 2 dalam periode sepekan adalah sebesar Rp46.355.820,00. Sebelumnya telah diasumsikan bahwa *headway* bus dalam setiap satu partisi adalah sama. Oleh karena itu akan dicari *headway* optimum dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Headway optimum} = \frac{\Delta t_{v,p}}{rit_{v,p}} \quad (13)$$

Dengan menggunakan persamaan (13), diperoleh *headway* optimum dari setiap partisinya yang terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4 Pengolahan data untuk *headway* optimum di setiap partisi

No	v	p_v	$t_{v,p}^{bwh}$	$t_{v,p}^{atas}$	$\Delta t_{v,p}$	$rit_{v,p}$	Headway Optimum	Keterangan Headway	
								Menit	Detik
1	1	1	05.00	06.00	60	7	8,571429	8	34,28571
2	1	2	06.00	09.50	230	20	11,5	11	30
3	1	3	09.50	12.30	160	15	10,66667	10	40
4	1	4	12.30	13.50	80	9	8,888889	8	53,33333
5	1	5	13.50	15.20	90	7	12,85714	12	51,42857
6	1	6	15.20	20.30	310	28	11,07143	11	4,285714
7	1	7	20.30	22.00	90	4	22,5	22	30
8	2	1	05.00	10.30	330	16	20,625	20	37,5
9	2	2	10.30	19.30	540	45	12	12	0
10	2	3	19.30	22.00	150	6	25	25	0

Headway optimum setiap partisi yang tersedia pada Tabel 4 akan digunakan untuk mencari penjadwalan waktu keberangkatan bus di koridor 2 pada saat *weekday* dan *weekend*. Contohnya untuk variasi 2 partisi 3 (*weekend* pukul 19.30-22.00), *headway* optimum yang diperoleh adalah 25 menit dengan batas bawah waktu keberangkatan adalah 19.30. Oleh karena itu, dapat dituliskan jadwal waktu keberangkatan bus pada variasi 2 partisi 3 adalah pukul 19.30, 19.55, 20.20, 20.45, 21.10, dan 21.35. Keseluruhan *timetable* waktu keberangkatan bus TransJakarta koridor 2 pada *weekday* dan *weekend* terdapat pada Tabel 5 dan Tabel 6. Proses perhitungan untuk perolehan *timetable* terdapat pada Lampiran 5.

Tabel 5 Hasil pengoptimuman jadwal bus TransJakarta koridor 2 saat *weekday*

Timetable (Waktu Keberangkatan)									
05.00	05.08	05.17	05.25	05.34	05.42	05.51	06.00	06.11	06.23
06.34	06.46	06.57	07.09	07.20	07.32	07.43	07.55	08.06	08.18
08.29	08.41	08.52	09.04	09.15	09.27	09.38	09.50	10.00	10.11
10.22	10.32	10.43	10.54	11.04	11.15	11.26	11.36	11.47	11.58
12.08	12.19	12.30	12.38	12.47	12.56	13.05	13.14	13.23	13.32
13.41	13.50	14.02	14.15	14.28	14.41	14.54	15.07	15.20	15.31
15.42	15.53	16.04	16.15	16.26	16.37	16.48	16.59	17.10	17.21
17.32	17.43	17.55	18.06	18.17	18.28	18.39	18.50	19.01	19.12
19.23	19.34	19.45	19.56	20.07	20.18	20.30	20.52	21.15	21.37

Tabel 6 Hasil pengoptimuman jadwal bus TransJakarta koridor 2 saat *weekend*

<i>Timetable</i> (Waktu Keberangkatan)									
05.00	05.20	05.41	06.01	06.22	06.43	07.03	07.24	07.45	08.05
08.26	08.46	09.07	09.28	09.48	10.09	10.30	10.42	10.54	11.06
11.18	11.30	11.42	11.54	12.06	12.18	12.30	12.42	12.54	13.06
13.18	13.30	13.42	13.54	14.06	14.18	14.30	14.42	14.54	15.06
15.18	15.30	15.42	15.54	16.06	16.18	16.30	16.42	16.54	17.06
17.18	17.30	17.42	17.54	18.06	18.18	18.30	18.42	18.54	19.06
19.18	19.30	19.55	20.20	20.45	21.10	21.35			

Jadwal bus TransJakarta koridor 2 rute Harmoni - Pulogadung 1 pada Tabel 5 dan Tabel 6 merupakan jadwal hasil optimasi dengan mempertimbangkan biaya operasional bus, jam sibuk dan non sibuk saat *weekday* dan *weekend*, sebaran rerata jumlah penumpang, serta standar pelayanan minimal yang telah diatur. Akan tetapi, jadwal kerja pramudi, jadwal keberangkatan antar halte, penentuan jumlah bus optimal, serta penentuan jumlah pramudi optimal tidak dibahas dalam penelitian ini.

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, dapat dilihat bahwa model *Mixed Integer Linear Programming* dan *software* Minizinc 2.6.3 dapat menyelesaikan masalah penjadwalan pada bus dengan baik. Model yang ada juga dapat memberikan solusi banyaknya rit optimum dan biaya minimum dalam mengoperasikan bus. Seluruh kendala sudah terpenuhi dan mendapatkan hasil yang optimal.

V SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Pada karya ilmiah ini, telah dibahas penyelesaian masalah optimasi penjadwalan *bus rapid transit* TransJakarta koridor 2 pada masa pandemi COVID-19. Masalah ini diformulasikan dengan model MILP dan penyelesaiannya dibantu dengan menggunakan *software* Minizinc 2.6.3. Model yang digunakan tetap memenuhi Standar Pelayanan Minimal (SPM) TransJakarta. Hasil *output* pada model menunjukkan bahwa jumlah rit optimum pada saat *weekday* dan *weekend* per harinya berturut-turut adalah sebanyak 90 dan 67 rit. Adapun biaya minimum dalam mengoperasikan bus di koridor 2 dalam periode sepekan adalah sebesar Rp46.355.820,00. Jumlah rit optimal dan *headway* yang telah diperoleh kemudian dijadikan acuan untuk mendapatkan jadwal keberangkatan (*timetable*) bus optimal dengan mempertimbangkan standar pelayanan minimal, biaya operasional bus, jam sibuk dan jam non sibuk saat *weekday* dan *weekend*, beserta sebaran rerata jumlah penumpang.

5.2 Saran

Pada karya ilmiah ini, hanya dibahas pencarian jadwal optimum bus menggunakan model MILP. Saran untuk penulisan karya ilmiah selanjutnya adalah gunakan jenis data lain, seperti non BRT, *shuttle bus*, bus antar kota, bus *feeder*, dan sebagainya. Selain itu, pada karya ilmiah ini terdapat beberapa data hipotetik yang digunakan, seperti sebaran rata-rata banyaknya penumpang yang naik di setiap partisinya. Saran untuk penulisan karya ilmiah selanjutnya adalah penggunaan data yang *real*. Penelitian ini juga dapat dikembangkan dengan memperhatikan optimasi penyusunan jadwal kerja pramudi, dan sebagainya.



DAFTAR PUSTAKA

- Annas S, Pratama MI, Rifandi M, Sanusi W, Side S. 2020. Stability analysis and numerical simulation of SEIR model for pandemic COVID-19 spread in Indonesia. *Chaos, Solitons and Fractals*. 139:1-7. doi:10.1016/j.chaos.2020.110072.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2020. Jumlah Penduduk Hasil Sensus Penduduk menurut Wilayah dan Jenis Kelamin, Indonesia 2020 [internet]. [diakses 2021 Sep 28]. <https://sensus.bps.go.id/topik/tabular/sp2020/83/175748/0>.
- Garrido-Jurado S, Muñoz-Salinas R, Madrid-Cuevas FJ, Medina-Carnicer R. 2016. Generation of fiducial marker dictionaries using mixed integer linear programming [editorial]. *Pattern Recognition*. 51:481-491. doi:10.1016/j.patcog.2015.09.023.
- Elen K. 2015. Kendali model prediktif pada masalah pemilihan rute menggunakan program linear bilangan bulat campuran [skripsi]. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Hanum F, Aman A, Bakhtiar T, Chahyadi I. 2014. Model pengoptimuman dispatching bus pada transportasi perkotaan: studi kasus pada beberapa koridor TransJakarta. Di dalam: Widyaningsih P, Respatiwan, Kuntari S, Kurdhi NA, Utomo PH, Winarno B, editor. Peranan Matematika dan Statistika dalam Menyikapi Perubahan Iklim. Prosiding Seminar Nasional Matematika, Statistika, Pendidikan Matematika, dan Komputasi; 2014 Okt 18; Surakarta, Indonesia. Surakarta: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sebelas Maret Surakarta. hlm 306-314; [diakses 2021 Okt 21]. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/76465>.
- [ITDP] Institute for Transportation and Development Policy. 2007. *Bus Rapid Transit Guide Planning*. [diakses 2021 Okt 10]. https://nacto.org/docs/usdg/brt_guide_itdp.pdf.
- [Kepmenkes] Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor HK.01.07/MENKES/382/2020 Tentang Protokol Kesehatan Bagi Masyarakat Di Tempat Dan Fasilitas Umum Dalam Rangka Pencegahan Dan Pengendalian *Corona Virus Disease* 2019 (COVID-19). 2020.
- Lasut AC. Penentuan posko untuk bencana banjir di Kota Manado menggunakan metode mixed integer linear programming (MILP) [skripsi]. Manado: Universitas Katolik De La Salle Manado.
- Limantara AD, Krisnawati LD, Winardi S, Mudjanarko SW. 2017. Solusi pengawasan kebijakan mengatasi kemacetan jalan dan parkir kota berbasis internet cerdas. Di dalam: Cholissodin I, Herlambang AD, Mariana DO, Ardana NG, editor. Rekayasa Teknologi Informasi untuk Teknologi Ramah Lingkungan dan Lingkungan yang Berkelanjutan. Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa Informasi (SENTRIN) 2017; 2017 Nov 24-25; Batu, Indonesia. Malang: Fakultas Ilmu Komputer Universitas Brawijaya. hlm 1-6; [diakses 2021 Okt 22]. http://file-filkom.ub.ac.id/fileupload/assets/upload/file/PTIHK/jurnal/2017030046/2018-06/IN/DR00001201806_FIN.pdf.
- Mayyani H, Silalahi BP, Aman A. 2017. Frequency determination of Bus Rapid Transit (BRT) applied on service system of Trans Mataram Metro bus to

@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

minimize the operational cost. *International Journal of Engineering and Management Research (IJEMR)*. 7:134-140.

[Pergub] Peraturan Gubernur Provinsi Daerah Khusus Ibukota Jakarta Nomor 33 Tahun 2017 Tentang Standar Pelayanan Minimal Layanan Angkutan Umum TransJakarta. 2017.

[PPIDTJ] Pejabat Pengelola Informasi dan Dokumentasi PT Transportasi Jakarta. c2018-2022. Pertumbuhan Rute dan Pelanggan TransJakarta Tahun 2017-2019 [internet]. [diakses 2022 Mei 09]. <https://ppid.transjakarta.co.id/lihat/20200910154558>.

Sari DN. 2018. Simulasi penjadwalan bus trans mebidang menggunakan metode repetitive scheduling. *Jurnal Pelita Informatika*. [diakses 2021 Okt 12]; 6(3):297-301. Tersedia pada: <https://www.ejurnal.stmik-budidarma.ac.id/index.php/pelita/article/view/550/507>.

Supranto J. 2006. Riset Operasi untuk Pengambilan Keputusan Edisi Revisi. Jakarta (ID): UI-Press.

Taha HA. 2007. *Operations Research an Introduction*. Ed ke-8. New Jersey (US): Prentice Hall.

[TransJakarta] PT Transportasi Jakarta. c2016. Peta Per Rute [internet]. [diakses 2022 Feb 19]. <https://transjakarta.co.id/peta-rute/>

[TransJakarta] PT Transportasi Jakarta. c2016. Sekilas Sejarah PT Transportasi Jakarta [internet]. [diakses 2021 Okt 10]. <https://transjakarta.co.id/tentang-transjakarta/sejarah/>.

Wihartiko FD, Buono A, Silalahi BP. 2017. Integer programming model for optimizing bus timetable using genetic algorithm. *IOP Conference Series: Material Science and Engineering*. Vol. 166:012016. doi:10.1088/1757-899X/166/1/012016.

Winston WL. 2004. *Operation Research Applications and Algorithm*. Ed ke-4. New York (US): Duxbury.

Wright L. 2003. *Angkutan Bus Cepat, Transportasi Berkelanjutan: Panduan Bagi Pembuat Kebijakan di Kota-Kota Berkembang*. Miftahuljannah S, penerjemah; Breithaupt M, editor. Germany: Eschborn. Terjemahan dari: *Sustainable Urban Transport Sourcebook for Policy-makers in Developing Cities*.

Zenia D. 2021. Prinsip rescheduling pada kereta untuk meminimumkan total delay menggunakan metode mixed integer linear programming [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.



@Hak cipta milik *IPB University*

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

LAMPIRAN

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Lampiran 1 Daftar halte yang dilalui bus untuk rit Harmoni - Pulogadung 1 - Harmoni dan rit Pulogadung 1 - Harmoni - Pulogadung 1

Daftar halte yang dilalui bus untuk rit Harmoni Pulogadung 1 Harmoni:

- | | |
|------------------------|-------------------------|
| 1. Harmoni | 19. Pulo Mas |
| 2. Monas | 20. ASMI |
| 3. Balaikota | 21. Pedongkelan |
| 4. Gambir 2 | 22. Cempaka Timur |
| 5. Kwitang | 23. Rumah Sakit Islam |
| 6. Senen | 24. Cempaka Tengah |
| 7. Galur | 25. Pasar Cempaka Putih |
| 8. Rawa Selatan | 26. Rawa Selatan |
| 9. Pasar Cempaka Putih | 27. Galur |
| 10. Cempaka Tengah | 28. Senen |
| 11. Rumah Sakit Islam | 29. Atrium |
| 12. Cempaka Timur | 30. RSPAD |
| 13. Pedongkelan | 31. Deplu |
| 14. ASMI | 32. Gambir 1 |
| 15. Pulo Mas | 33. Istiqlal |
| 16. Bermis | 34. Juanda |
| 17. Pulogadung 1 | 35. Pecenongan |
| 18. Bermis | 36. Harmoni |

Daftar halte yang dilalui bus untuk rit Pulogadung 1 - Harmoni - Pulogadung 1:

- | | |
|------------------------|-------------------------|
| 1. Pulogadung 1 | 19. Pecenongan |
| 2. Bermis | 20. Harmoni |
| 3. Pulo Mas | 21. Monas |
| 4. ASMI | 22. Balaikota |
| 5. Pedongkelan | 23. Gambir 2 |
| 6. Cempaka Timur | 24. Kwitang |
| 7. Rumah Sakit Islam | 25. Senen |
| 8. Cempaka Tengah | 26. Galur |
| 9. Pasar Cempaka Putih | 27. Rawa Selatan |
| 10. Rawa Selatan | 28. Pasar Cempaka Putih |
| 11. Galur | 29. Cempaka Tengah |
| 12. Senen | 30. Rumah Sakit Islam |
| 13. Atrium | 31. Cempaka Timur |
| 14. RSPAD | 32. Pedongkelan |
| 15. Deplu | 33. ASMI |
| 16. Gambir 1 | 34. Pulo Mas |
| 17. Istiqlal | 35. Bermis |
| 18. Juanda | 36. Pulogadung 1 |

Lampiran 2 *Syntax* pada *software* Minizinc 2.6.3 dalam mencari rit optimum dan biaya operasional bus minimum

```
% Use this editor as a MiniZinc scratch book
%indeks
int : v; %banyaknya variasi penjadwalan
int : p; %banyaknya partisi pembagian waktu penjadwalan

%himpunan
set of int : variasi = 1..v; %himpunan variasi
%penjadwalan
set of int : partisi = 1..p; %himpunan partisi pembagian
%waktu penjadwalan

%parameter
array [variasi,partisi] of int : bpnmp; %rata-rata
%banyaknya penumpang
array [variasi] of int : bbus; %banyaknya armada bus
%yang dapat dioperasikan pada rute r
int : bkpst; %kapasitas bus (dalam satuan penumpang)
int : bpram; %banyaknya pramudi bus yang ditugaskan
array [variasi,partisi] of int : T; %durasi waktu tempuh
%perjalanan selama satu rit (dalam satuan menit)
int : jmax; %jam kerja maksimum pramudi bus (dalam satuan
%menit)
int : jmin; %jam kerja minimum pramudi bus (dalam satuan
%menit)
int : klf; %banyaknya penumpang yang diharapkan dapat
%terlayani
array [variasi] of int : k; %banyaknya pengulangan jadwal
array [variasi,partisi] of int : rmax; %
array [variasi,partisi] of int : rmin; %

%variabel keputusan
array [variasi,partisi] of var int : rit; %banyaknya rit
%optimum
array [variasi,partisi] of int : out; %rata-rata biaya
%operasional bus yang dibutuhkan untuk setiap rit

%fungsi objektif
var int: z = sum (v in variasi,p in
partisi) (rit[v,p]*out[v,p]);
solve minimize z;

%kendala
constraint sum ([ T[v,p]*k[v]*rit[v,p] | v in variasi,p
in partisi ]) >= 5*jmin*bpram/2;
constraint sum ([ T[v,p]*k[v]*rit[v,p] | v in variasi,p
in partisi ]) <= 5*jmax*bpram/2;
```

```

constraint forall ([ rit[v,p] >= rmin[v,p] | v in
variasi,p in partisi ]);
constraint forall ([ rit[v,p] <= rmax[v,p] | v in
variasi,p in partisi ]);
constraint forall ([ rit[v,p] >= bpnmp[v,p]/klf | v in
variasi,p in partisi ]);
constraint forall ([ rit[v,p] >= 0 | v in variasi,p in
partisi ]);

```

```

%output
output[ "rit"++show(v)++""++show(p)++"="++show(rit[v,p])
++"\n"|v in variasi,p in
partisi]++[ "biayaoperasional="++show(z) ];

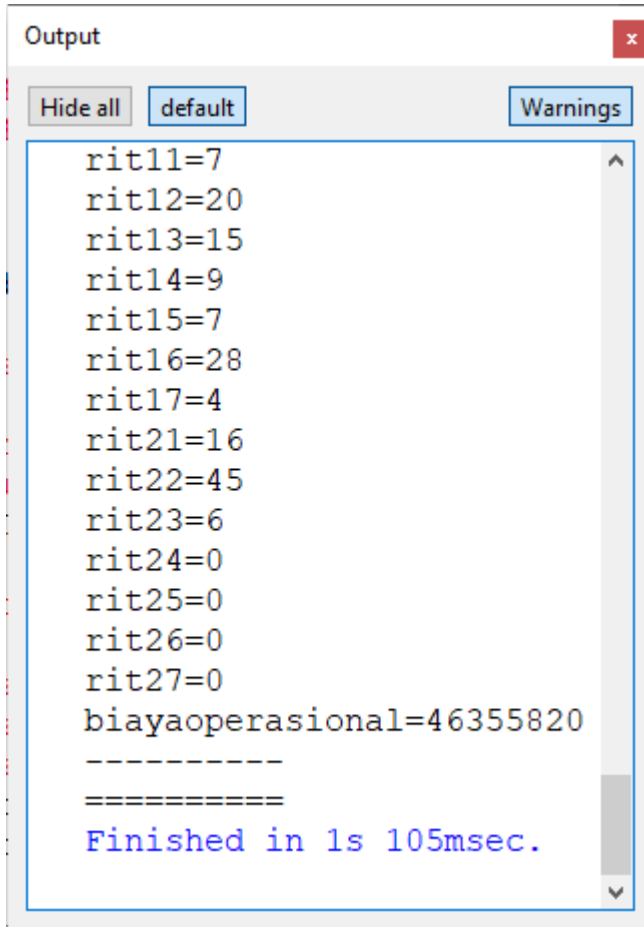
```



Lampiran 3 Data parameter yang digunakan pada *syntax* Minizinc 2.6.3

```
T = [|75,122,101,109,104,115,82|91,103,78,0,0,0,0|]
bbus = [22,20]
bcpst = 60
@bnpmp =
[|390,1103,880,493,420,1680,145|908,1980,178,0,0,0,0|]
bpram = 46
rmax = 540
rmin = 480
x = [5,2]
klf = 60
out =
[|295260,295260,295260,295260,295260,295260,295260|2952
60,295260,295260,0,0,0,0|]
p = 7
rmax = [|15,38,32,16,18,51,22|66,90,37,0,0,0,0|]
rmin = [|3,20,7,7,4,26,4|14,45,6,0,0,0,0|]
v = 2
```

Lampiran 4 Hasil *output* pada Minizinc 2.6.3



The screenshot shows the 'Output' window of Minizinc 2.6.3. The window has a title bar with a close button (X). Below the title bar are three buttons: 'Hide all', 'default' (which is selected), and 'Warnings'. The main area of the window displays the following text:

```

rit11=7
rit12=20
rit13=15
rit14=9
rit15=7
rit16=28
rit17=4
rit21=16
rit22=45
rit23=6
rit24=0
rit25=0
rit26=0
rit27=0
biayaoperasional=46355820
-----
=====
Finished in 1s 105msec.

```

Gambar 2 Hasil *output* pada Minizinc 2.6.3.

Lampiran 5 Proses perhitungan perolehan *timetable*

Langkah-langkah perolehan *timetable* menggunakan Microsoft Excel sebagai berikut:

1. Durasi *headway* optimum dituliskan dalam bentuk jam : menit : detik seperti pada kolom Y di Gambar 3.

@Hak cipta milik IPB University

O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
No	v	p_v	$t_{v,p}^{bwh}$	$t_{v,p}^{aras}$	$\Delta t_{v,p}$	$rit_{v,p}$	Headway Optimum	Ktrgn Headway		
								Menit	Detik	
1	1	1	05:00	06:00	60	7	8,571429	8	34,28571	00:08:34,3
2	1	2	06:00	09:50	230	20	11,5	11	30	00:11:30,0
3	1	3	09:50	12:30	160	15	10,66667	10	40	00:10:40,0
4	1	4	12:30	13:50	80	9	8,888889	8	53,33333	00:08:53,3
5	1	5	13:50	15:20	90	7	12,85714	12	51,42857	00:12:51,4
6	1	6	15:20	20:30	310	28	11,07143	11	4,285714	00:11:04,3
7	1	7	20:30	22:00	90	4	22,5	22	30	00:22:30,0
8	2	1	05:00	10:30	330	16	20,625	20	37,5	00:20:37,5
9	2	2	10:30	19:30	540	45	12	12	0	00:12:00,0
10	2	3	19:30	22:00	150	6	25	25	0	00:25:00,0

Gambar 3 Penulisan durasi *headway* optimum

2. Akan dilakukan pencarian *timetable* untuk variasi 1 (*weekday*) terlebih dahulu. Batas bawah setiap partisi pada variasi 1 dituliskan menjadi waktu keberangkatan pertama di partisi tersebut. Contohnya untuk variasi 1 partisi 1, batas bawahnya ialah pukul 05.00. Oleh karena itu, untuk variasi 1 partisi 1 (*weekday* pukul 05.00-06.00), waktu keberangkatan pertama pada partisi tersebut ialah pukul 05.00. Begitu pun pada partisi 2 s.d. 7. Kemudian seluruh batas bawah setiap partisi ditandai dengan warna kuning seperti pada Gambar 4.
3. Untuk waktu keberangkatan kedua di masing-masing partisi, diperoleh dengan cara menambahkan waktu keberangkatan pertama dengan *headway* optimum. Contohnya untuk keberangkatan kedua di partisi 1, diperoleh dari menambahkan 05.00 dengan 8 menit dan 34,3 detik. Perhitungan di Microsoft Excel bisa diperoleh dari menambahkan *cell* sebelah kiri (*cell* P18) dan *headway* optimum (*cell* O18). *Cell* O18 harus dikunci dengan menyisipkan tanda *dollar* (\$) di sebelum huruf O dan angka 18. Begitu pun untuk waktu keberangkatan ketiga dan seterusnya dengan melakukan *drag* hingga akhir rit (rit ke-7, sebab rit optimum pada partisi 1 variasi 1 adalah 7 rit). Ilustrasi perhitungan lengkap terdapat pada Gambar 4 dan 5.

[illegible]

Gambar 4 Ilustrasi perhitungan *timetable* per partisi pada variasi 1

	O	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ
15															
16															
17	HEADWAY	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
18	00:08:34,3														
19	00:11:30,0	08:41	08:52	09:04	09:15	09:27	09:38								
20	00:10:40,0	12:19													
21	00:08:53,3														
22	00:12:51,4														
23	00:11:04,3	17:55	18:06	18:17	18:28	18:39	18:50	19:01	19:12	19:23	19:34	19:45	19:56	20:07	20:18
24	00:22:30,0														
25															

Gambar 5 Ilustrasi lanjutan perhitungan *timetable* per partisi pada variasi 1

4. Setelah semua *timetable* setiap partisi selesai dihitung, gabungkan seluruh *timetable* menjadi satu tabel seperti pada Gambar 6.

05:00	05:08	05:17	05:25	05:34	05:42	05:51	06:00	06:11	06:23
06:34	06:46	06:57	07:09	07:20	07:32	07:43	07:55	08:06	08:18
08:29	08:41	08:52	09:04	09:15	09:27	09:38	09:50	10:00	10:11
10:22	10:32	10:43	10:54	11:04	11:15	11:26	11:36	11:47	11:58
12:08	12:19	12:30	12:38	12:47	12:56	13:05	13:14	13:23	13:32
13:41	13:50	14:02	14:15	14:28	14:41	14:54	15:07	15:20	15:31
15:42	15:53	16:04	16:15	16:26	16:37	16:48	16:59	17:10	17:21
17:32	17:43	17:55	18:06	18:17	18:28	18:39	18:50	19:01	19:12
19:23	19:34	19:45	19:56	20:07	20:18	20:30	20:52	21:15	21:37

Gambar 6 *Timetable* pada variasi 1 yang sudah digabung dari seluruh partisi

5. Ulangi langkah 2 s.d. 4 untuk menghitung *timetable* per partisi pada variasi 2 (*weekend*). Ilustrasi perhitungan lengkap terdapat pada Gambar 7 s.d. 9. Sedangkan hasil perhitungan akhir untuk *timetable* variasi 2 terdapat pada Gambar 10.

	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD
37																
38	HEADWAY	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
39	00:20:37,5	05:00	05:20	05:41	06:01	06:22	06:43	07:03	07:24	07:45	08:05	08:26	08:46	09:07	09:28	09:48
40	00:12:00,0	10:30	10:42	10:54	11:06	11:18	11:30	11:42	11:54	12:06	12:18	12:30	12:42	12:54	13:06	13:18
41	00:25:00,0	19:30	19:55	20:20	20:45	21:10	21:35									
42																

Gambar 7 Ilustrasi perhitungan *timetable* per partisi pada variasi 2

	O	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM	AN	AO	AP	AQ	AR	AS
37																
38	HEADWAY	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
39	00:20:37,5	10:09														
40	00:12:00,0	13:30	13:42	13:54	14:06	14:18	14:30	14:42	14:54	15:06	15:18	15:30	15:42	15:54	16:06	16:18
41	00:25:00,0															
42																

Gambar 8 Ilustrasi lanjutan perhitungan *timetable* per partisi pada variasi 2

	O	AT	AU	AV	AW	AX	AY	AZ	BA	BB	BC	BD	BE	BF	BG	BH
37																
38	HEADWAY	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
39	00:20:37,5															
40	00:12:00,0	16:30	16:42	16:54	17:06	17:18	17:30	17:42	17:54	18:06	18:18	18:30	18:42	18:54	19:06	19:18
41	00:25:00,0															
42																

Gambar 9 Ilustrasi lanjutan (2) perhitungan *timetable* per partisi pada variasi 2

05:00	05:20	05:41	06:01	06:22	06:43	07:03	07:24	07:45	08:05
08:26	08:46	09:07	09:28	09:48	10:09	10:30	10:42	10:54	11:06
11:18	11:30	11:42	11:54	12:06	12:18	12:30	12:42	12:54	13:06
13:18	13:30	13:42	13:54	14:06	14:18	14:30	14:42	14:54	15:06
15:18	15:30	15:42	15:54	16:06	16:18	16:30	16:42	16:54	17:06
17:18	17:30	17:42	17:54	18:06	18:18	18:30	18:42	18:54	19:06
19:18	19:30	19:55	20:20	20:45	21:10	21:35			

Gambar 10 *Timetable* pada variasi 1 yang sudah digabung dari seluruh partisi

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RIWAYAT HIDUP

Penulis memiliki nama lengkap Arini Putri Wibowo, dilahirkan di Jakarta pada tanggal 26 Juli 2001 sebagai anak kedua dari pasangan Sugeng Purwanto dan Agus Sрни. Penulis memiliki kakak laki-laki bernama Harry Sukma Wibowo. Pada tahun 2018, penulis lulus dari SMA Negeri 1 Jakarta. Pada tahun yang sama, penulis diterima sebagai mahasiswa program sarjana di Departemen Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Institut Pertanian Bogor (IPB) melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN).

Selama berkuliah, penulis aktif di berbagai organisasi, di antaranya adalah Ikatan Keluarga Muslim PPKU (IKMP) sebagai Staf Divisi Keputrian (2018-2019), serta Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) FMIPA IPB sebagai Staf Departemen Advokasi dan Kesejahteraan Mahasiswa (2019-2020) dan Bendahara Departemen Advokasi dan Kesejahteraan Mahasiswa (2020-2021). Selain itu, penulis juga turut aktif di kepanitiaan, beberapa di antaranya ialah Masa Pengenalan Kampus Mahasiswa Baru (MPKMB) sebagai Sekretaris Panglima Penanggung Jawab Kelompok Armada 1 (2019), *G-Faculty Familiarity* (G-FAM) sebagai Sekretaris Divisi Acara (2020), serta Pesta Sains Nasional (PSN) sebagai Staf Divisi Sponsorship (2019) dan Staf Divisi Koordinator (2020).

Penulis juga melakukan kegiatan Magang di Dinas Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta selama tiga bulan pada tahun 2021 dan Bank Negara Indonesia (BNI) selama enam bulan pada tahun 2022. Selain itu, penulis juga menerima beasiswa Kartu Jakarta Mahasiswa Unggul (KJMU) pada tahun 2018-2022.