



TESIS - TI142307

MODEL KELAYAKAN PENENTUAN JUMLAH PENYISIPAN RANGKAIAN KERETA BARANG TAMBAHAN PADA JADWAL KERETA API TUNGGAL EKSISTING

ARRIFAH RATNA SARI
02411650030007

DOSEN PEMBIMBING
Dr.Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng., CSCP, CLTD

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN MANAJEMEN LOGISTIK DAN RANTAI PASOK
DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



THESIS - TI142307

A FEASIBILITY MODEL FOR DETERMINING THE NUMBER OF INSERTED ADDITIONAL FREIGHT TRAIN IN EXISTING SINGLE-TRACK TRAIN SCHEDULE

ARRIFAH RATNA SARI
02411650030007

SUPERVISOR
Dr.Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng., CSCP, CLTD

MASTER PROGRAM
LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT CONCENTRATION
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

DISCLAIMER

Tesis yang berjudul “Model Kelayakan Penentuan Jumlah Penyisipan Rangkaian Kereta Barang Tambahan pada Jadwal Kereta Api Tunggal Eksisting” ini merupakan dokumen penelitian yang belum dipublikasikan dan merupakan bagian dari *roadmap* penelitian dosen pembimbing utama dalam tesis ini. Segala macam rujukan terhadap penelitian ini harus seizin dosen pembimbing tesis ini dengan mengirimkan email permohonan izin rujukan ke arusdian@ie.its.ac.id. Apabila terdapat publikasi (seminar atau jurnal nasional maupun internasional) yang berdasarkan penelitian ini, maka selayaknya rujukan ditampilkan pada publikasi tersebut.

MODEL KELAYAKAN PENENTUAN JUMLAH PENYISIPAN RANGKAIAN KERETA BARANG TAMBAHAN PADA JADWAL KERETA API TUNGGAL EKSISTING

Nama : Arrifah Ratna Sari

NRP : 02411650030007

Pembimbing : Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng., CSCP, CLTD

ABSTRAK

Pengiriman barang dengan moda kereta api lebih banyak dilakukan pada jadwal malam hari. Sedangkan permintaan pengiriman barang terus meningkat dan masih banyak tersedia jadwal kereta pada siang hari. Penelitian ini akan membangun teknik heuristik menggunakan model matematis *Mixed Integer Linear Programming* (MILP). Teknik heuristik dipilih karena sesuai untuk problem yang spesifik, menghasilkan waktu komputasi lebih cepat dan menghasilkan solusi yang bagus atau mendekati optimal. Sedangkan MILP merupakan model matematis untuk menyelesaikan masalah dengan fungsi obyektif dan konstrain linear namun variabel keputusan bernilai campuran integer dan riil. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan kereta barang yang dapat ditambahkan dengan *overtaking strategy* namun tanpa melanggar jarak aman minimum antar kereta (*minimum headway*). *Overtaking strategy* merupakan strategi yang mengharuskan kereta lambat untuk berhenti di stasiun terdekat menunggu kereta cepat melewatinya. Konsep penambahan kereta pada penelitian ini adalah menggunakan konsep *trainslot* yaitu dengan menyisipkan kereta barang diantara jadwal kereta penumpang yang bersifat tetap. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *minimum headway* berpengaruh terhadap banyaknya kereta barang yang dapat ditambahkan. *Minimum headway* optimal yang dihasilkan adalah 6 menit, nilai ini sesuai dengan *minimum headway* yang telah ditetapkan oleh Kementerian Perhubungan. Dengan *minimum headway* 6 menit, hasil kereta barang yang dapat ditambahkan adalah 20 kereta barang dengan rincian 15 kereta barang sampai di stasiun tujuan tepat waktu dan 5 kereta barang dengan keterlambatan tidak melebihi 3 jam. Penambahan tersebut meningkatkan kapasitas angkut sebesar 1200 TEUs/hari. Jika dibandingkan dengan kapasitas awal, artinya terjadi penambahan kapasitas angkut sebesar 28,57%.

Kata Kunci: *trainslot, grafik space-time, minimum headway, overtaking strategy.*

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

A FEASIBILITY MODEL FOR DETERMINING THE NUMBER OF INSERTED ADDITIONAL FREIGHT TRAIN IN EXISTING SINGLE-TRACK TRAIN SCHEDULES

Name : Arrifah Ratna Sari
NRP : 02411650030007
Supervisor : Dr. Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng., CSCP, CLTD

ABSTRACT

Delivery of goods by rail mode more frequently in the night shift. While demand for goods delivery service are increase and the capacity in afternoon shift is more available. This research will conduct an heuristic technique using mathematical model Mixed Integer Linear Programming (MILP). Heuristic techniques are used because they are capable to solved specific problems, it gives a faster computing time and resulting in a good or near-optimal solution. Furthermore, MILP is a mathematical model to solve a problem with objective and linear constraint functions but the decision variables values are mix of integers and real. This research objective is to determine the freight train that can be added in single-track train schedule with overtaking strategy but without breaking the minimum safety distance between two consecutive trains, called minimum headway. Overtaking strategy is a strategy that requiring a slow train to stop at a nearby station while waiting for a high speed train to pass through. The concept of the addition trains in this study using the concept of trainslot that insert a freight trains between fixed passenger train. The results showed that the minimum headway effect on the number of additional freight trains. The optimum minimum headway is 6 minutes, this value is appropriate with the minimum headway that has been determined by the transportation ministry. The result of 6 minutes minimum headway, the freight train that can be added was 20 trains with details of 15 trains arriving at the destination station on time and the other 5 trains will occur delay which not exceeding 3 hours. The increasing in the carrying capacity is 1200 TEUs / day. When compared with the initial capacity, it means the addition of transport capacity can be reach up to 28.57%.

Keyword: trainslot, space-time graph, minimum headway, overtaking strategy.

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan rezekiNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Tesis yang berjudul “MODEL KELAYAKAN PENENTUAN JUMLAH KERETA BARANG TAMBAHAN PADA JADWAL KERETA API SATU ARAH” dengan baik dan tepat waktu. Tak lupa juga shalawat serta salam tercurahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW yang telah menyampaikan petunjuk kepada umatnya.

Laporan tesis ini diajukan sebagai syarat untuk menyelesaikan studi Strata 2 (S2) di Jurusan Teknik Industri. Selama pelaksanaan dan penyusunan tesis ini, penulis telah menerima bantuan dari berbagai pihak. Oleh sebab itu, pada kesempatan ini, penulis tidak lupa mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan kemudahan, kelancaran dan keyakinan kepada penulis, bahwa penulis mampu menyelesaikan Tesis ini;
2. Kedua orang tua penulis yaitu Bapak Drs. H. Hery Prijambodo dan Ibu Ir. Hj. Lely Tinawati, kakak penulis yaitu Marita Tania, ST, serta saudara kembar penulis yaitu drh. Arrifah Ratna Dewi, M.Vet , yang senantiasa mendoakan dan memotivasi penulis;
3. Bapak Dr.Eng. Ir. Ahmad Rusdiansyah, M.Eng., CSCP, CLTD selaku dosen pembimbing penulis yang telah memberikan pengarahan dan bimbingan selama penulis menyelesaikan Tesis ini;
4. Para Ekspertis yang menjadi narasumber pada FGD dengan penulis: Bapak Drs. Dwi Atmodjo WP, M.Kom (ekspertis *mobile programming*), Ade Novan Wicaksono, S.T. (ekspertis manajemen transportasi masal), Hasan Bisri, S.Si dan Ibu Ir. Dyah Herawatie, M.Si. (ekspertis permodelan matematika).
5. Teman – teman Pasca Sarjana Teknik Industri Periode Ganjil 2016/2017 yang telah memberikan bantuan dan memotivasi penulis dalam menyelesaikan Tesis ini.
6. Teman – teman residensi program magister, doktoral Teknik Industri ITS, program sarjana Teknik Industri ITS yang memberikan masukan dan memotivasi.

Dalam penulisan Tesis ini, penulis merasa masih banyak kekurangan pada teknis penulisan dan materi laporan. Untuk itu, kritik dan saran dari semua pihak sangat diharapkan demi penyempurnaan pembuatan Tesis ini. Penulis berharap semoga Tesis ini dapat bermanfaat bagi objek amatan dan rekan – rekan di Teknik Industri ITS pada khususnya.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	4
1.5.1 Batasan.....	4
1.5.2 Asumsi	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Transportasi dalam <i>Supply Chain</i>	7
2.2 Kereta Api	9
2.3 Permasalahan pada Kereta Api	11
2.3.1 Penjadwalan Kereta Api	12
2.3.2 Model <i>Train Slot</i>	13
2.3.3 <i>Train Control Strategy</i>	16
2.4 Teknik Validasi	18
2.5 Model Acuan	18
2.6 Posisi Penelitian	21
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	31
3.1 Tahap Pengumpulan Data	32
3.2 Tahap Perancangan Alat Bantu Pengambilan Keputusan.....	32
3.2.1 Pengembangan Model Konseptual	32
3.2.2 Pengembangan Model Matematis.....	32
3.2.3 Pembuatan DST (<i>Decision Suport Tools</i>).....	32
3.2.4 Keputusan Hasil <i>Output</i> DST	33

3.2.5	Validasi Model.....	33
3.3	Tahap Analisa dan Pengambilan Keputusan.....	33
3.3.1	Percobaan <i>Software</i> dengan Skenario Tertentu	33
3.3.2	Analisa dan Interpretasi Hasil Pengujian.....	33
3.3.3	Kesimpulan dan Saran	33
BAB 4	PENGEMBANGAN MODEL DAN PERANCANGAN APLIKASI	35
4.1	Pengumpulan Data	35
4.2	Alur Perjalanan Kereta Api.....	38
4.3	Pengembangan Model Konseptual.....	39
4.4	Pembuatan Model Matematis.....	40
4.4.1	Pembuatan Model 1	41
4.4.2	<i>Flowchart</i> Model 1.....	47
4.4.3	Pembuatan Model 2	49
4.4.4	<i>Flowchart</i> Model 2.....	56
4.4.5	Sub Proses <i>Flowchart</i> Model 1 dan 2	57
4.5	Pembuatan Alat Bantu Pengambilan Keputusan.....	62
4.5.1	Pengembangan Sistem <i>Prototype</i>	63
4.5.2	<i>User Interface Input Data</i>	63
4.5.3	<i>User Interface Output Software</i>	65
4.6	Validasi.....	66
4.6.1	Validasi Model 1	67
4.6.2	Validasi Model 2.....	73
BAB 5	ANALISA DAN PENGAMBILAN KEPUTUSAN	79
5.1	Percobaan Model 1	79
5.1.1	Hasil dan Analisis Model 1	79
5.1.2	Analisis Model Matematis Objective 1.....	85
5.1.3	Analisis DST <i>Objective</i> 1.....	86
5.2	Percobaan Model 2.....	88
5.2.1	Hasil dan Analisis Model 2.....	89
5.2.2	Analisis Kepadatan Jadwal dan Penambahan Kapasitas.....	92
BAB 6	KESIMPULAN DAN SARAN	95
6.1	Kesimpulan.....	95
6.2	Saran.....	95
DAFTAR PUSTAKA	97

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Pemilihan Moda Transportasi pada beberapa Sektor Industri Tahun 2014 (Sumber: IndII, 2014).....	2
Gambar 2.1 Pembuatan Keputusan Penentuan Sistem Logistik (Sumber: Ballou, 2003).....	7
Gambar 2.2 Peta Rute Jalur Kereta Api di Pulau Jawa.....	9
Gambar 2.3 Peta Jalur DAOP VIII (sumber: www.id.wikipedia.org).....	10
Gambar 2.4 Representasi <i>Space-time Graph</i> dari 3 Train Slot (Sumber: Kuo et al., 2010).....	14
Gambar 2.5 Kondisi <i>Minimum Headway</i> yang Diiijinkan (Kuo et al., 2010).....	15
Gambar 2.6 Kondisi <i>Minimum Headway</i> yang Diiijinkan (Kuo et al., 2010).....	15
Gambar 2.7 Kondisi Pelanggaran <i>Minimum Headway</i> (Kuo et al., 2010).....	15
Gambar 2.8 Contoh <i>Overtaking Strategy</i>	17
Gambar 2.9 Gambaran Teknik Pengembangan <i>Timetable</i> dengan Contoh (Sumber: Kuo et al., 2010).....	19
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian.....	31
Gambar 4.1 <i>Flowchart</i> Perjalanan Kereta Api.....	38
Gambar 4.2 Model Konseptual Permasalahan Penelitian.....	40
Gambar 4.3 <i>Overview</i> Teknik <i>Trainslot</i> Pengembangan Penelitian.....	41
Gambar 4.4 <i>Flowchart</i> Pembuatan Model 1.....	48
Gambar 4.5 Gambaran Umum Penambahan Kereta pada Model 2.....	49
Gambar 4.6 <i>Flowchart</i> Model 2.....	56
Gambar 4.7 <i>Flowchart</i> Perhitungan Waktu Perjalanan.....	58
Gambar 4.8 <i>Flowchart</i> Perhitungan Waktu Tunggu.....	58
Gambar 4.9 <i>Flowchart</i> Perhitungan Jumlah Kereta Rencana antar Kereta Eksisting.....	59
Gambar 4.10 <i>Flowchart</i> Perhitungan Jumlah Kereta Rencana Keseluruhan.....	59
Gambar 4.11 <i>Flowchart</i> Perhitungan Waktu Berangkat di Stasiun Awal.....	60
Gambar 4.12 <i>Flowchart</i> Perhitungan Waktu Datang dan Waktu Berangkat di Stasiun v.....	60
Gambar 4.13 <i>Flowchart</i> Evaluasi Kereta Rencana.....	61
Gambar 4.14 <i>Flowchart</i> Penjadwalan Kereta yang Melanggar Batasan Headway.....	62
Gambar 4.15 <i>Home Screen</i> DST.....	63
Gambar 4.16 Jadwal <i>Input</i>	64
Gambar 4.17 Tampilan Menu pada DST.....	64
Gambar 4.18 Contoh <i>Output</i> Jadwal.....	65
Gambar 4.19 Proses Pembuatan Grafik.....	66

Gambar 4.20 <i>Dialog Box</i> Apabila Tidak Dapat Dicapai Jadwal.....	66
Gambar 5.1 Grafik <i>Space-time</i> dengan <i>Minimum Headway</i> 6 Menit pada Model 1	80
Gambar 5.2 Jumlah Kereta Tambahan Pada <i>Minimum Headway</i> 6– 24 Menit.....	81
Gambar 5.3 Rangkuman Hasil Total Penambahan Kereta	82
Gambar 5.4 Kereta Tambahan Rencana yang Dibangun pada Setiap <i>Minimum Headway</i>	82
Gambar 5.5 Jumlah Kereta dari Running 1 - 7 pada Percobaan 1 - 3 untuk <i>Min Headway</i> 9 – 24 Menit.....	86
Gambar 5.6 Waktu Komputasi untuk <i>Min Headway</i> 6 - 24 Menit	87
Gambar 5.7 Total Waktu Komputasi untuk <i>Minimum Headway</i> 6 - 24 Menit.....	87
Gambar 5.8 Grafik <i>Space-time</i> pada Model 2.....	90
Gambar 5.9 Contoh Penyusunan pada Model 2.....	92
Gambar 5.10 <i>Blocking Time Diagram</i> Kondisi Eksisting (gambar 1-3) dan Kondisi dengan Kereta Tambahan (gambar 4-6).....	93

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Kelebihan Antar Moda (Sumber: Pujawan, 2010).....	8
Tabel 2.2 Urutan Peringkat Moda Transportasi berdasarkan Nilai Terkecil.....	8
Tabel 2.3 Rangkuman Penelitian Terdahulu.....	23
Tabel 2.4 Rangkuman GAP Penelitian	28
Tabel 2.5 Posisi Penelitian.....	29
Tabel 4.1 Jadwal Kereta Api Jalur SBY-SMG (sumber: GAPEKA 2017)	35
Tabel 4.2 Waktu Perjalanan Kereta Acuan.....	37
Tabel 4.3 Jumlah <i>Constraint</i> yang Digunakan	62
Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Langkah 1 dan 2 untuk Manual dan Aplikasi di Stasiun KLM - SBI	68
Tabel 4.5 Uji Parameter $D(e_1, e_2)(s_1)$	68
Tabel 4.6 Hasil Nilai $X(e_y, e_y + 1)(s_1)$ Perhitungan Manual dan Alikasi.....	69
Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Waktu Keberangkatan kereta Tambahan Rencana	70
Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Manual dan Aplikasi untuk Waktu Keberangkatan dan Kedatangan Kereta Tambahan Rencana 1 di Stasiun 1-3	71
Tabel 4.9 Contoh Evaluasi <i>Minimum Headway</i> di Stasiun 2 Kereta c_1	71
Tabel 4.10 Contoh Evaluasi <i>Minimum Headway</i> di Stasiun 3 Kereta c_1	72
Tabel 4.11 Hasil Evaluasi <i>Minimum Headway</i> Kereta c_1	72
Tabel 4.12 Contoh Penentuan Nilai $Mc1WD(e_y)(v)$	73
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Langkah 3 dan 4 untuk Manual dan Aplikasi di Stasiun KLM – SBI Kereta r_{14}	74
Tabel 4.14 Contoh Evaluasi <i>Minimum Headway</i> di Stasiun 3 Kereta r_{14}	75
Tabel 4.15 Hasil Evaluasi <i>Minimum Headway</i> Kereta r_{14}	75
Tabel 4.16 Hasil Evaluasi <i>Minimum Headway</i> Kereta $(f_1)(r_{14})$	76
Tabel 4.17 Contoh Evaluasi <i>Minimum Headway</i> di Stasiun 3 Kereta $(f_1)(r_{14})$	77
Tabel 5.1 Contoh Pembuatan Kereta Tambahan Rencana Tahap Awal.....	83
Tabel 5.2 Detil Jadwal Keberangkatan Kereta Tambahan pada Setiap <i>Minimum Headway</i>	83
Tabel 5.3 Input Waktu Berangkat di Stasiun Awal	88
Tabel 5.4 Hasil Kereta Tambahan Model 2	89
Tabel 5.5 Contoh Jadwal Kereta Maharani dan Kereta Barang 19.....	91

(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

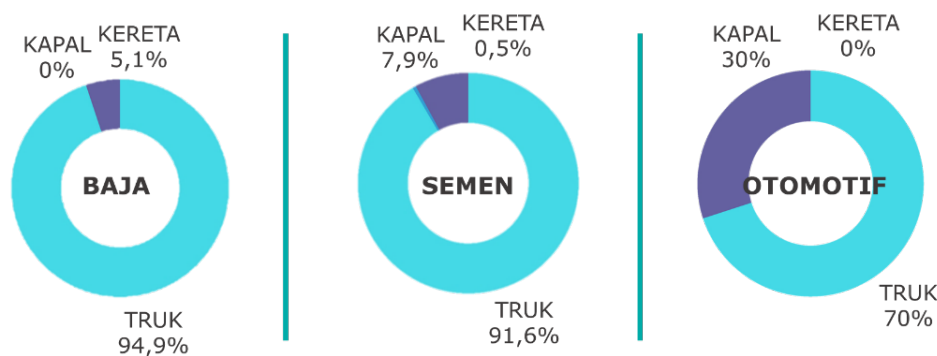
Pada bab ini akan dibahas mengenai latar belakang masalah, perumusan masalah yang diangkat pada penelitian ini, tujuan dilakukannya penelitian ini, manfaat yang didapat dari penelitian, serta ruang lingkup penelitian.

1.1 Latar Belakang

Dalam manajemen rantai pasok, transportasi mengambil peranan yang sangat penting untuk mencapai tujuannya yaitu mendapatkan barang, waktu, tempat, jumlah dan kondisi yang tepat, dengan biaya yang terjangkau pada pelanggan yang tepat. Dalam logistik, transportasi memiliki fungsi sebagai pergerakan produk (*product movement*) dan penyimpanan barang (*product storage*). Fungsi pergerakan produk adalah transportasi sebagai media pemindahan dari tempat asal menuju tujuan. Sedangkan fungsi penyimpanan produk adalah transportasi berperan sebagai penyimpanan sementara dari lokasi asal menuju lokasi tujuan. Pengaturan transportasi yang efektif dan efisien berpengaruh terhadap ketepatan waktu pengiriman, kualitas pengiriman, serta biaya transportasi. Biaya transportasi itu sendiri berpengaruh sekitar 60% terhadap total biaya logistik. Oleh sebab itu transportasi merupakan salah satu aspek yang sangat penting dalam keberhasilan *supply chain* dari suatu organisasi.

Salah satu aspek keberhasilan sistem transportasi dan distribusi suatu organisasi adalah pemilihan moda transportasi. Aspek yang harus diperhatikan dalam pemilihan moda transportasi menurut Nasution (2010) adalah: kecepatan waktu pengantaran, frekuensi pengiriman terjadwal, kendala dalam memenuhi jadwal pada waktunya, kemampuan menangani angkutan dari berbagai barang, banyaknya tempat singgah atau bongkar muat, biaya per ton-kilometer serta jaminan atas kerusakan atau kehilangan.

Terdapat 5 moda transportasi yaitu jalan raya (*truck*), kereta (*railway*), transportasi laut (*sea freight*), transportasi udara (*air freight*) dan penggunaan pipa (*pipeline*). Gambar 1.1 merupakan data pemilihan moda transportasi di Indonesia pada tahun 2014 berdasarkan komoditas.



Gambar 1.1 Pemilihan Moda Transportasi pada beberapa Sektor Industri Tahun 2014 (Sumber: IndII, 2014)

Berdasarkan Gambar 1.1 dapat diketahui bahwa mayoritas moda transportasi yang digunakan di Indonesia pada Tahun 2014 adalah menggunakan truk yaitu mencapai 94%. Dengan terjadinya sentralisasi logistik yang terpusat pada moda truk dapat mengakibatkan penumpukan *inventory*, ketidakpastian waktu pengiriman (*uncertainty deliverytime*), kecelakaan lalu lintas, polusi udara, kemacetan serta biaya – biaya yang timbul seperti biaya bahan bakar, biaya supir serta biaya truk itu sendiri yang dapat memunculkan kerugian baik dari segi produsen maupun konsumen.

Beberapa tahun belakangan, moda kereta mulai dilirik sebagai moda pengiriman barang. Ditambah lagi dengan dibuatnya jalur ganda (*double track*) jalur utara pada tahun 2014. Menurut Setijadi (2013), untuk pengiriman dengan jarak 500 – 1500 km moda transportasi yang sesuai adalah kereta dikarenakan efisiensi biaya transportasi dan logistik. Untuk komoditas bahan mentah dengan volume pengiriman yang besar atau produk akhir yang nilai per unitnya rendah dan tidak sensitif terhadap waktu sangat sesuai menggunakan moda ini. Adapun kelebihan moda kereta barang menurut Cacchiani et al. (2009) adalah:

1. Biaya transportasi moda kereta lebih rendah yaitu mencapai 50% dibanding moda lainnya.
2. Moda kereta lebih aman untuk menghindari resiko terjadinya kecelakaan karena memiliki jalur lintasan sendiri. Kereta api juga memiliki sistem kontrol yang dapat dikendalikan otomatis sehingga dapat mencegah kesalahan manusia dalam pengoperasiannya.
3. Dapat mengurangi kemacetan dan resiko kecelakaan di jalan raya dikarenakan berkurangnya frekuensi pengangkutan petikemas menggunakan moda truk.

Di Indonesia, pada Tahun 2017 kereta penumpang direncanakan memiliki nilai target sebesar 373 juta penumpang dengan realisasi mencapai 389 juta penumpang. Artinya kenaikan

realisasinya mencapai 4,11%. Sebaliknya pada kereta barang yang memiliki angka target sebesar 399 juta ton namun angka realisasinya hanya mencapai 360 juta ton. Artinya penurunan realisasinya mencapai -10,83% (Sukmoro, 2018). Namun, penggunaan kapasitas jalur kereta api saat ini sangatlah rendah, seperti pada jalur Surabaya – Bojonegoro yang hanya menggunakan 56% dari kapasitas jalur kereta api per hari (Forum Civitas Akademika ITS, 2018). Sementara itu setiap tahun pertumbuhan volume angkutan barang ditargetkan mengalami kenaikan sebesar 19% per tahun (Komersial Angkuta KA Barang KAI, 2017). Oleh sebab itu diperlukan adanya penambahan jadwal kereta barang untuk mencapai target yang telah ditentukan

Beberapa penelitian mengenai perjalanan kereta api di Indonesia telah dilakukan sebelumnya. Umbu (2003) melakukan penjadwalan ulang dengan mengubah waktu keberangkatan ± 30 menit dari jadwal asli menggunakan bahasa pemrograman Java. Putra (2011) menggunakan metode *job shop* dalam penjadwalan ulang saat menggunakan *single track*. Supriadi (2015) melakukan penelitian pengukuran waktu antar perlintasan kereta api di beberapa palang pintu perlintasan kereta api *single track* menggunakan simulasi ARENA. Satya (2015) melakukan perhitungan penambahan jumlah kereta barang optimum dengan melakukan pengembangan rute *train control* terkait penyalipan untuk mengurangi *travel time* menggunakan simulasi ARENA.

Kondisi perkereta apian di Indonesia yang menggunakan lintasan *single line double track* memberikan kompleksitas terkait penyalipan (*overtaking*) pada kasus penjadwalan. Oleh sebab itu penelitian ini berfokus pada pengembangan model matematis dalam menentukan jumlah optimal kereta barang yang dapat ditambahkan pada kondisi ideal dan *overtaking*. Teknik heuristik dipilih karena biasanya digunakan untuk problem yang spesifik, dapat menghasikan waktu komputasi lebih cepat namun tidak dijamin kebaikan dari solusinya, tetapi biasanya menghasilkan solusi yang bagus atau mendekati optimal (Santosa, 2011). *Linear programming* merupakan salah satu teknik optimasi proses memaksimalkan atau meminimasi suatu fungsi tujuan dengan tetap memperhatikan pembatas yang ada. Sedangkan pada penelitian ini, untuk meminimumkan waktu perjalanan serta memperhatikan batasan – batasan (*constraint*) yang telah ditentukan nantinya, digunakan pengembangan model *Mixed Integer Linear Programming* (MILP). MILP merupakan masalah dengan fungsi obyektif dan konstrain linear namun variabel keputusan bernilai campuran integer dan riil. Penelitian ini juga membuat alat bantu penentuan kebijakan dengan bantuan *Macro Excel*. Pembuatan alat bantu pada *macro excel* digunakan untuk mengolah data besar secara otomatis sesuai dengan bahasa pemrograman yang diperintahkan. Selain itu, *macro excel* juga memberikan tampilan yang mudah dipahami dan mudah dioperasikan sebagai alat bantu penentuan kebijakan nantinya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, permasalahan yang penting untuk dibahas pada penelitian ini adalah bagaimana mengembangkan model matematis dan merancang alat bantu pengambilan keputusan untuk menentukan jumlah kereta barang yang dapat ditambahkan beserta jadwalnya pada kondisi ideal dan *overtaking*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penulis pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan model matematis dan merancang alat bantu pengambilan keputusan untuk menentukan kelayakan jumlah beserta jadwal kereta barang yang dapat ditambahkan pada kondisi ideal dan *overtaking*.
2. Menganalisis pengaruh nilai *minimum headway* dalam penentuan penambahan jadwal kereta baru.
3. Mengoptimalkan frekuensi jumlah kereta barang yang dapat ditambahkan pada jadwal kereta api satu arah dan mengetahui penambahan kapasitas angkutnya.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang didapatkan bagi objek amatan serta menjadi kontribusi dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghasilkan model penentuan kelayakan penambahan beserta jadwal kereta barang yang optimal pada kondisi ideal dan *overtaking*.
2. Didapatkan alat bantu pengambilan keputusan dalam menentukan penambahan beserta jadwal kereta barang pada kondisi ideal dan *overtaking*.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini membahas mengenai batasan dan asumsi yang digunakan pada penelitian ini. Tujuan dari ditentukannya ruang lingkup ini adalah untuk menjaga agar penelitian ini memiliki *boundary* yang jelas.

1.5.1 Batasan

Adapun batasan yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Penelitian ini berfokus pembuatan studi kelayakan penjadwalan kereta, tidak mempertimbangkan aspek biaya operasional, biaya pengadaan dan aspek pasar.
2. Objek yang diteliti adalah kasus *single line double track* pada kereta barang dan penumpang jalur Surabaya Kalimas – Semarang Poncol.

3. Jadwal yang dibuat adalah jadwal pada kondisi ideal, tidak mempertimbangkan keterlambatan waktu keberangkatan dan kedatangan akibat bencana alam, kerusakan rel atau kecelakaan.
4. Jadwal yang digunakan sebagai acuan adalah jadwal terbaru yaitu GAPEKA (Grafik Perjalanan Kereta API) Tahun 2017.
5. *Minimum headway* yang digunakan pada penelitian ini adalah 6 menit berdasarkan peraturan Kementrian Perhubungan No.53 Tahun 2000.

1.5.2 Asumsi

Adapun asumsi yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

1. Usulan kereta barang merupakan kereta barang *container* dengan muatan penuh 30 GD (Gerbong Datar) dan merupakan kelas kereta paling rendah.
2. Usulan waktu perjalanan kereta barang mengikuti rata-rata waktu perjalanan kereta barang pada GAPEKA 2017 beserta lokasi pemberhentiannya.
3. Kapasitas lintas jalur Surabaya Kalimas – SMG Poncol yang digunakan berdasarkan kapasitas minimum sepanjang jalur tersebut yaitu 70 KA/hari.

1.6 Sistematika Penulisan

Penelitian tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab yang saling berkaitan. Berikut adalah sistematika penulisan yang digunakan pada laporan ini adalah:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi penjelasan mengenai latar belakang penelitian yang menjadi dasar dalam penelitian, perumusan masalah yang diangkat dalam penelitian ini, tujuan dan manfaat yang ingin dicapai, batasan dan asumsi yang digunakan serta sistematika penulisan laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi penjelasan berbagai teori yang digunakan pada pelaksanaan penelitian tesis ini. Teori yang digunakan bersumber dari berbagai referensi seperti jurnal dan buku. Teori yang digunakan adalah transportasi dalam *supply chain*, kereta api, permasalahan pada kereta api termasuk didalamnya konsep *time slot* serta Posisi Penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang urutan pengerjaan atau tahapan – tahapan yang harus dilakukan dalam penelitian ini. Metodologi digunakan agar terbentuk kerangka berpikir yang sistematis dan terstruktur. Agar penelitian tesis tersebut berjalan secara terstruktur dan terarah.

BAB IV PENGEMBANGAN MODEL DAN PERANCANGAN APLIKASI

Pada bab ini dijelaskan mengenai proses pengolahan data mulai dari pengembangan model matematis, pembuatan alat bantu pengambilan keputusan serta validasi.

BAB V ANALISA DAN PENGAMBILAN KEPUTUSAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pengujian beberapa skenario dan interpretasi data beserta analisisnya.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari perhitungan numerik dan analisa yang telah dilakukan berdasarkan tujuan penelitian yang telah dirumuskan sebelumnya. Serta akan membahas saran untuk penelitian selanjutnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas mengenai tinjauan pustaka yang dijadikan acuan dalam penelitian tesis untuk memperkuat pemahaman penulis serta sebagai landasan dalam menentukan metodologi penelitian yang sesuai.

2.1 Transportasi dalam Supply Chain

Supply chain merupakan aktivitas pengiriman produk dari hulu hingga hilir dengan memperhatikan kebutuhan *end customer* serta mempertimbangkan kemampuan sumber daya yang dimiliki. Strategi dalam *supply chain* mencakup 3 tingkatan yaitu operasional, organisasional dan pengontrolan. Pada tingkat perencanaan, untuk mencapai kepuasan konsumen dibutuhkan 3 komponen penting yaitu *inventory strategy*, *location strategy* dan *transportation strategy*, seperti digambarkan pada gambar berikut (Ballou, 2003) :

Berdasarkan Gambar 2.1, aktivitas yang termasuk strategi transportasi adalah pemilihan mode transportasi, rute pengangkutan atau penjadwalan serta ukuran pengiriman atau konsolidasi. Oleh sebab itu, transportasi menjadi aspek yang sangat penting dalam keberhasilan rantai pengiriman. Sistem transportasi yang efektif dapat memberikan kontribusi dalam hal meningkatkan kompetensi pasar, meningkatkan skala ekonomi pada produksi serta mengurangi biaya produk (Ballou, 2003). Salah satu aktivitas penting dalam transportasi adalah pemilihan mode transportasi. Adapun aspek – aspek yang perlu diperhatikan dalam penentuan moda transportasi adalah (1) *speed* : kemampuan untuk pergi dari tempat asal menuju tempat tujuan secepat mungkin, (2) *consistency* : kemampuan pengiriman agar dapat sampai pada waktu yang sama, kapanpun serta (3) *control* : kemampuan untuk membuat perubahan sebelum dan selama perjalanan (contoh: perubahan rute. Adapun dalam penentuan moda transportasi juga harus mempertimbangkan kepentingan dari dua pihak yaitu *shipper* (pihak yang barangnya ingin dikirim) serta *carrier* (pihak penyedia jasa pengiriman) (Pujawan, 2015). Beberapa hal yang umumnya menjadi bahan pertimbangan dalam mengevaluasi mode transportasi adalah (Pujawan, 2010):

1. Dari sudut pengirim (*carrier*) : hal – hal yang perlu dipertimbangkan adalah biaya alat transportasi (biaya beli atau sewa), biaya operasional, biaya *overhead*, kecepatan, kapasitas volume, serta fleksibilitas.
2. Dari sisi *shipper* : biaya transportasi, biaya persediaan, biaya *loading – unloading*, biaya fasilitas, konsekuensi tingkat *service level* dan ketidakpastian waktu, serta *tradeoff* antar

berbagai ongkos terhadap konsekuensi pemilihan moda (misal terdapat moda transportasi yang mahal namun cepat dan mengurangi *inventory*)

Dalam dunia logistik dikenal jenis – jenis moda transportasi yaitu *highway* (truk), *railway* (kereta api), *waterway* (kapal), *airway* (pesawat) serta *pipeline*. Masing – masing moda transportasi memiliki kelebihan dan kelemahan masing – masing. Berikut adalah tabel perbandingan kelebihan dan kekurangan masing – masing moda.

Tabel 2.1 Perbandingan Kelebihan Antar Moda (Sumber: Pujawan, 2010)

Faktor	Moda Transportasi				
	Truk	Kereta	Kapal	Pesawat	Pipa
Kapasitas Volume	Sedang	Sangat banyak	Sangat banyak	Banyak	Sangat banyak
Fleksibilitas waktu kirim	Tinggi	Rendah	Rendah	Rendah	Rendah
Fleksibilitas rute pengiriman	Tinggi	Sangat rendah	Sangat rendah	Sangat rendah	Sangat rendah
Kecepatan	Sedang	Sedang	Rendah	Sangat tinggi	Tinggi
Biaya Pengiriman	Sedang	Rendah	Rendah	Tinggi	Tinggi
Inventory (<i>in transit</i>)	Sedikit	Banyak	Sangat banyak	Rendah	Sangat rendah

Berdasarkan Tabel 2.1 dapat diketahui bahwa masing – masing moda transportasi memiliki kelebihan dan kelemahan masing – masing. Adapun pembobotan moda transportasi menurut Bowersox (2013) berdasarkan aspek kecepatan, ketersediaan, ketergantungan, kapasitas serta frekuensi ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 2.2 Urutan Peringkat Moda Transportasi berdasarkan Nilai Terkecil

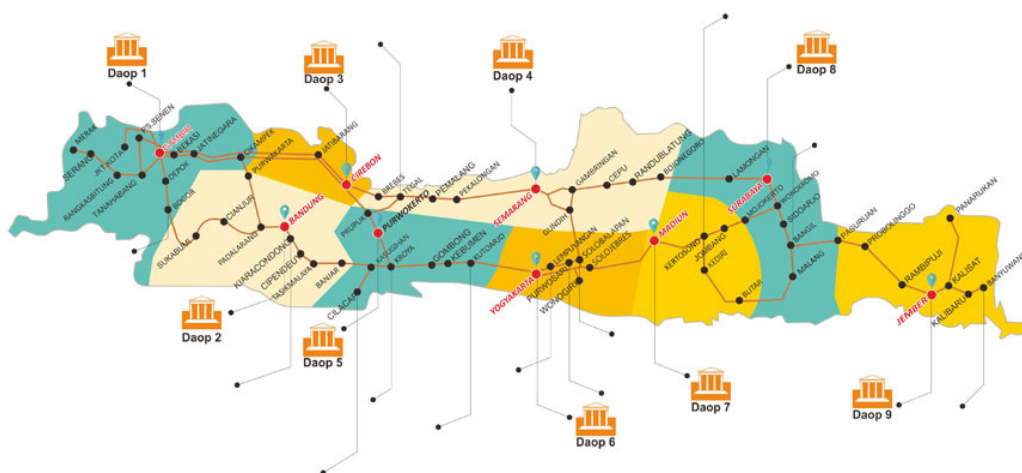
Karakteristik	Rail	Truck	Sea Freight	Pipeline	Air Freight
Speed	3	2	4	5	1
Availability	2	1	4	5	3
Dependability	3	2	4	1	5
Capability	2	3	1	5	4
Frequency	4	2	5	1	3
Total Nilai	14	10	18	17	16
Peringkat	2	1	5	4	3

Tabel 2.2 menunjukkan bahwa berdasarkan aspek - aspek kecepatan, ketersediaan, ketergantungan, kapasitas serta frekuensi didapatkan peringkat tertinggi adalah moda truk dan kereta api. Namun pemilihan moda transportasi tetap didasarkan pada jenis komoditas barang yang akan dikirim.

2.2 Kereta Api

PT. Kereta Api Indonesia memiliki dua bentuk layanan transportasi yaitu kereta penumpang dan kereta barang. Jenis kereta penumpang adalah kereta lokal dan kereta jarak jauh. Sedangkan kelas pada kereta penumpang adalah kelas eksekutif, bisnis, ekonomi AC serta KRL. Adapun untuk kereta barang memiliki 30 GD (Gerbong Datar) dalam satu rangkaian dimana satu gerbong dapat menampung petikemas berkapasitas dua TEUS.

Pada tahun 2000 sampai 2018 terdapat 6.456 km rel kereta api di Indonesia yang masih aktif. Sedangkan jalur di Pulau Jawa mencapai 3.783 km dengan 2.233 km adalah jalur kereta api aktif reguler. Kementerian Perhubungan membuat masterplan perencanaan pembangunan infrastruktur kereta api di Pulau Jawa hingga tahun 2035 yaitu sepanjang 6.168 km. KALOG (Kereta Api Logistik) juga terus meningkatkan jumlah terminal yang disinggahi, Tahun 2005 terdapat total jaringan kantor layanan KALOG sebanyak 79 kantor yang terdiri dari 30 kantor cabang, 25 kantor perwakilan dan 24 kantor agen. Berikut adalah peta rute kereta api di Pulau Jawa untuk jalur utara dan jalur selatan.



Gambar 2.2 Peta Rute Jalur Kereta Api di Pulau Jawa

Pada Gambar 2.2 dapat diketahui bahwa jalur Kereta Api di Pulau Jawa terbagi menjadi 9 Daop (Daerah Operasi). Dimana masing – masing Daop memiliki daerah yang telah dibagi berdasarkan letak geografisnya. Sedangkan Gambar 2.3 merupakan peta wilayah Daerah Operasi VIII yang termasuk salah satu jalur yang akan diteliti.

Hingga tahun 2015 angkutan KA *container* telah beroperasi sebanyak 1.729 hari dengan total muatan 55.498 TEUs atau rata – rata 32 TEUs per hari dengan tingkat okupansi 62%. Adapun upaya – upaya yang dilakukan untuk meningkatkan volume muatan adalah menjalin kerjasama block space/volume, pemanfaatan KA Balen, angkutan multi komoditi, pengembangan relasi yang

mendekati pusat industri atau kawasan bisnis dan evaluasi kebijakan kerjasama dengan konsumen yang saling menguntungkan (*Annual Report KALOG, 2015*).



Gambar 2.3 Peta Jalur DAOP VIII (sumber: www.id.wikipedia.org)

Khusus untuk kereta barang dikelola oleh anak perusahaan PT. KAI yaitu PT.KALog (Kereta Api Logistik) memiliki beberapa penawaran jasa yaitu pengiriman barang dan dokumen (kurir dan kargo), KA *Container*, Bongkar Muat, Terminal Barang, KA Non *Container* serta Pergudangan. Berikut adalah deskripsi untuk masing – masing jasa:

- Kurir dan Kargo
Melayani pengiriman barang dan dokumen pada rute – rute tertentu, yaitu: ONS (Over Night Service) melayani angkutan barang Jakarta – Surabaya (lintas Utara), Kereta Api Bangunkarta melayani angkutan barang Jakarta - Surabaya (lintas Selatan), Kereta Api Logawa - melayani angkutan barang Purwokerto – Jember, Kereta Api Mutiara Selatan - melayani angkutan barang Bandung – Surabaya, Kereta Api Senja Utama melayani angkutan barang Jakarta – Solo, Kereta Api Anggrek Pagi melayani angkutan barang Jakarta – Surabaya, serta Kereta Api Majapahit melayani angkutan barang Jakarta – Malang.
- KA *Container*
Memiliki skema distribusi *door - to - station; station - to - station; station - to - door*; dan *door - to – door*. KALOG telah mengintegrasikan layanannya dengan armada angkutan truk (*trucking*) untuk memaksimalkan pengiriman dan pengambilan barang. Adapun keunggulan yang dimiliki Layanan Angkutan Kontainer Kereta Api dibanding

dengan moda darat lainnya, antara lain: jumlah muatan yang lebih banyak (tonase), waktu tempuh yang cepat, perjalanan terjadwal dan tepat waktu serta tersedianya jaminan keamanan karena KALOG menerapkan model pengawalan rangkaian kereta api, dan biaya per unit yang relatif lebih murah dibandingkan dengan moda lainnya.

Jenis kontainer yang dapat diangkut KALOG mencakup 20" (*feet*) dan 40". Dalam satu rangkaian kereta api dapat memuat hingga 60 kontainer 20". Sementara waktu tempuh *station - to station* dari Jakarta ke Surabaya rata-rata mencapai satu hari perjalanan kereta api. Sampai saat ini KALOG memiliki 5 rangkaian kereta api kontainer dengan relasi sebagai berikut: Sungai Lagoa dan Jakarta Gudang (Jakarta) - Kalimas (Surabaya), Pasoso (Jakarta) - Gedebage (Bandung), JICT (Jakarta) - Cikarang Dry Port (Jawa Barat), serta Jakarta & Surabaya – Semarang. Selain itu, untuk meningkatkan performansi intermoda, KALOG juga telah terhubung dengan Pelabuhan Tanjung Perak melalui Terminal Petikemas Surabaya dan Pelabuhan Tanjung Priok melalui Jakarta *International Container Terminal*.

- **KA Non Container**

KALOG menawarkan distribusi logistik berkapasitas maksimal dengan bentuk pengiriman tanpa kontainer seperti angkutan semen dan angkutan air mineral kemasan galon. Adapun relasi angkutan semen yang saat ini dilayani yaitu Arjawinangun – Brambanan, Arjawinangun – Purwokerto 1, Arjawinangun – Purwokerto 2, Arjawinangun – Semarang Poncol, Nambo – Kalimas, Nambo – Cisaat, Nambo – Brambanan, Nambo – Banyuwangi, Klari – Kretek, Tigagajah – Kertapati. Selain itu KALOG juga melayani angkutan air mineral kemasan galon stamformasi 8 GD atau setara dengan 10.750 galon relasi Cicurug - Jakarta Gudang dengan perjalanan pulang pergi.

2.3 Permasalahan pada Kereta Api

Permasalahan dalam manajemen angkutan kereta api barang dibagi menjadi beberapa sub-permasalahan (Mu et al., 2011) yaitu penjadwalan kru, *blocking problem*, *yard location problem*, *train routing problem*, *locomotive scheduling problem* serta penjadwalan kereta (*Train Timetabling Problem*) dan *dispatching problem*. Terdapat beberapa masalah dalam penjadwalan kereta api barang dikarenakan kereta barang memiliki prioritas lebih rendah dibandingkan kereta penumpang. Kereta penumpang memiliki kecepatan yang lebih tinggi serta jadwal yang tetap.

Penjadwalan direpresentasikan dengan *timetable* yang menunjukkan tempat, waktu keberangkatan dan kedatangan dengan memperhatikan perencanaan pasar. Terdapat dua fase

dalam proses penjadwalan yaitu fase penyusunan jadwal dan fase evaluasi jadwal. Selain itu, permasalahan penjadwalan banyak diintegrasikan dengan permasalahan *route selection* maupun *train slot* untuk kereta barang.

Teknik untuk dapat menetapkan penjadwalan kereta barang adalah dengan meletakkan jadwal kereta barang yang bersifat fleksibel dan tidak tetap diantara jadwal kereta penumpang yang bersifat sukar untuk dirubah (Adhyatma, 2015).

2.3.1 Penjadwalan Kereta Api

Pada umumnya, perencanaan penjadwalan merupakan langkah pertama dalam proses perencanaan operasi perusahaan. Penjadwalan direpresentasikan dengan *timetable* yang menunjukkan tempat, waktu keberangkatan dan kedatangan dengan memperhatikan perencanaan pasar. Tujuan pembuatan *train scheduling* atau *timetabling problem* adalah menentukan *timetable* periodik untuk sekumpulan kereta yang tidak melanggar kapasitas *track* dan memenuhi beberapa batasan operasional (Caprara et al., 2002). Dalam proses penjadwalan terdapat dua fase (Yan & Young, 1996; Yan & Tseng, 2002) yaitu fase penyusunan jadwal dan fase evaluasi jadwal. *Time space* merupakan pendekatan penjadwalan yang termasuk proses penentuan yang dinamis. Dalam *time-space graph* (Steinzen et al., 2010) setiap node merepresentasikan lokasi yang spesifik pada sebuah waktu tertentu ketika setiap *arc* merupakan peralihan waktu dan tempat. Menurut Cirrelet (2007) node pada *time space graph* merepresentasikan lokasi fisik dari titik *supply* dan *demand* dimana setiap node merepresentasikan jumlah tipe moda pada setiap periode dari sebuah waktu perencanaan. *Arc* pada *time space graph* merupakan penghubung rute antar node. Pendekatan *time space graph* juga dapat diimplementasikan dengan setiap jaringan terhubung satu sama lain dan memiliki kemungkinan untuk berpindah antar moda. Model *time-space graph* memiliki tipe *planning horizon*, bisa jadi mingguan atau bulanan, dibagi menjadi periode waktu bisa jadi setiap setengah jam, setiap 1 jam atau beberapa jam (Andersen et al., 2006). Setiap *demand* memiliki periode waktu yang spesifik dalam perencanaan horizon. Variabel *space-time graph* yang digunakan pada penelitian ini adalah variabel waktu yang bersifat kontinu dan tempat yang bersifat diskrit. Variabel waktu bersifat kontinu karena merupakan hasil perhitungan dengan satuan detik dan terus melakukan penambahan hingga jarak waktu yang tak ditentukan.

Terdapat tiga tipe aliran pengiriman pada jaringan fisik. Tipe pertama adalah penentuan rute pengangkutan (*routing traffic*) yang memindahkan dari satu node ke node lainnya dengan tipe moda tertentu. Tipe kedua adalah perpindahan pengangkutan yang merubah moda dari moda satu ke moda lainnya pada node tertentu. Tipe ketiga adalah *supply* atau *demand* akan dikirim pada periode waktu selanjutnya pada node tertentu (Cirrelet, 2007).

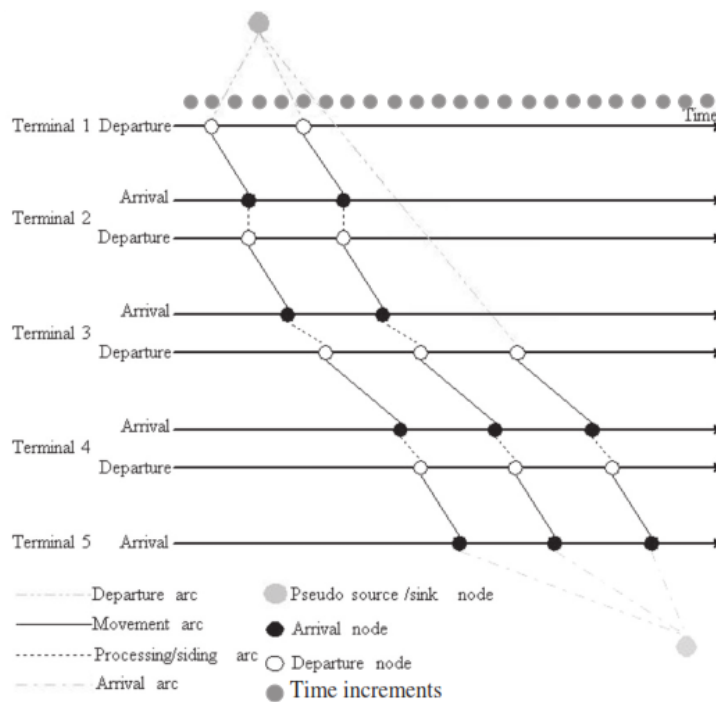
Durasi dari satu durasi waktu dapat menjadi dasar waktu perjalanan untuk setiap moda. Nilainya harus kecil sehingga tidak melebihi jumlah waktu *slack* pada sebuah rute. Perencanaan waktu tidak boleh terlalu pendek agar *time space graph* dapat diaplikasikan, dan juga tidak boleh terlalu panjang karena dapat meningkatkan dimensi dari *time space graph* dan membuat masalah ini menjadi sulit untuk diselesaikan.

2.3.2 *Model Train Slot*

Model ini menggunakan *output* dari pembuatan jadwal awal kereta api lalu memodifikasi kapasitas lintasannya sehingga menghasilkan jadwal kereta yang layak atau kombinasi yang optimal dengan frekuensi mendekati maksimum. Dalam melakukan *time slot* harus mempertimbangkan jadwal kereta penumpang yang memiliki karakteristik jadwal yang tetap. Apabila terjadi perubahan *demand*, *output* jadwal kereta akan direvisi dan dikembangkan dengan prosedur iteratif yang diulang sampai kriteria terpenuhi atau konvergensi tercapai.

Tujuan dari model *train slot* (Kuo et al., 2010) adalah untuk membangun jadwal kereta baru yang meminimumkan biaya operasi dan penundaan kereta. Dari sudut pengirim metode ini dapat membuat jadwal untuk menyediakan layanan tercepat, paling dapat diandalkan dengan biaya terendah. Sedangkan dari sudut operator dapat menentukan jadwal yang memaksimalkan keuntungan.

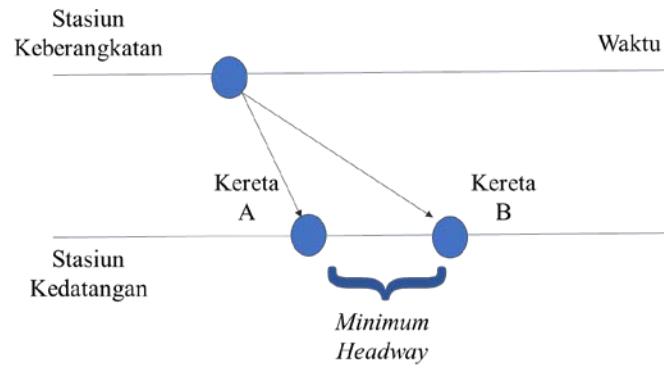
Sebuah *trainslot* terdiri dari *departure arc*, *movement arc*, beberapa *process / siding arc* dan *arrival arc* sepanjang *space-time graph*. *Space-time graph* merupakan grafik yang merepresentasikan waktu pada sumbu X dan lokasi pada sumbu Y. Representasi *space-time* dari tiga *trainslot* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.4 Representasi *Space-time Graph* dari 3 Train Slot (Sumber: Kuo et al., 2010)

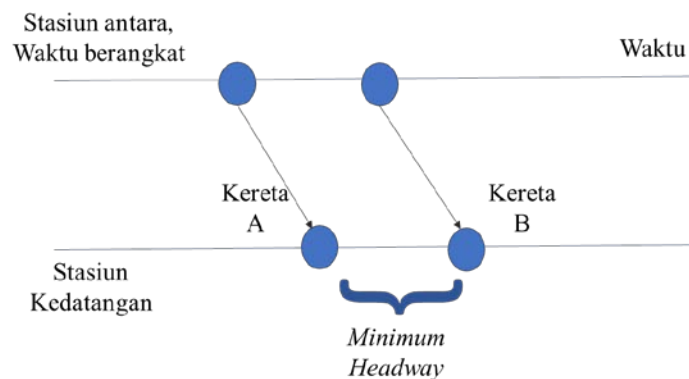
Berdasarkan Gambar 2.5 penjelasan untuk masing – masing aktivitas adalah sebagai berikut: (1) *Departure arc* merupakan *arc* keberangkatan kereta api dari asalnya; (2) *movement arc* mewakili sebuah perpindahan kereta dari terminal u pada waktu q menuju v terminal lain pada waktu r ; (3) *process / siding arc* mewakili proses kereta api atau memilih jalur di stasiun; (4) *arrival arc* mewakili kedatangan kereta api di terminal tujuan.

Aturan pada *time slot* mengharuskan untuk melakukan pengecekan jarak aman atau *minimum headway* didepan dan dibelakang dari kereta yang diamati. Dalam melakukan *time slot* pada penambahan kereta barang perlu juga diketahui kapasitas lintasan. Kapasitas lintasan merupakan kemampuan lintasan rel kereta dalam menampung seluruh perjalanan kereta dalam sehari atau 24 jam. Kapasitas lintasan dapat dihitung dari banyaknya jumlah kereta yang melintas dengan jarak aman atau *minimum headway* yang telah ditentukan. *Minimum headway* adalah kondisi jarak aman antar kereta yang diijinkan dan tidak boleh dilanggar untuk menghindari konflik, seperti kecelakaan (Adhyatma, 2015). Kue et al. (2010) menjelaskan beberapa kondisi pertemuan dua kereta. Seperti pada Gambar 2.5 yang menunjukkan kondisi keberangkatan kereta yang berada pada stasiun yang sama. Kereta A berangkat terlebih dahulu sebelum keberangkatan kereta B. Kereta B berangkat setelah kondisi waktu *minimum headway* terpenuhi dan tetap mempertahankan waktu tersebut sampai lokasi stasiun kedatangan.



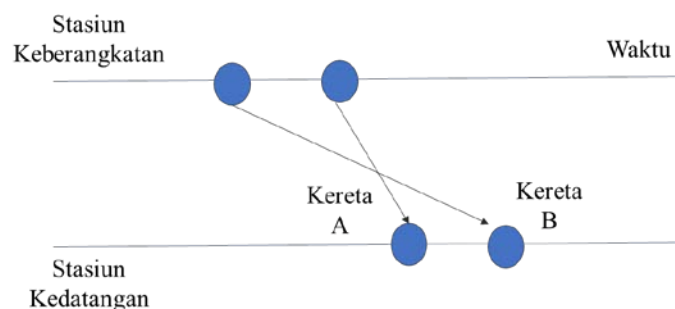
Gambar 2.5 Kondisi *Minimum Headway* yang Dijinkan (Kuo et al., 2010)

Gambar 2.6 menunjukkan kondisi kereta yang berangkat dari stasiun keberangkatan dengan menunggu kondisi jarak aman didepannya. Saat kereta berada di antar stasiun, kedua kereta harus menjaga jarak aman sampai ke stasiun berikutnya. Kereta B diijinkan berangkat setelah kereta A pergi dari stasiun berikutnya. Hal ini rawan terjadi pada kereta yang memiliki kelas yang sama atau kecepatan yang sama.



Gambar 2.6 Kondisi *Minimum Headway* yang Dijinkan (Kuo et al., 2010)

Sedangkan Gambar 2.7 merupakan kondisi *minimum headway* tidak dipenuhi atau dilanggar. Hal ini dapat mengakibatkan konflik pada perjalanan kereta. Kondisi ini rawan terjadi pada kereta yang berbeda jenis kecepatan.



Gambar 2.7 Kondisi Pelanggaran *Minimum Headway* (Kuo et al., 2010)

Rumus untuk menghitung kapasitas lintasan per-hari adalah sebagai berikut (Sujarwo, 2015):

$$N = \frac{1440}{T+(C_1+C_2)} \times eff \quad (2.1)$$

$$T = \frac{D}{V} \quad (2.2)$$

$$V = \frac{(Vp \times Np)+(Vb \times Nb)}{(Np+Nb)} \quad (2.3)$$

Dimana:

- N : Kapasitas lintas kereta Api
- T : Waktu tempuh
- C₁ : Waktu pelayanan blok mekanik (menit)
- C₂ : Waktu pelayanan sinyal mekanik (menit)
- eff : Faktor efisiensi sebesar 60%
- D : Jarak antar stasiun
- V : Kecepatan rata – rata kereta api keseluruhan
- V_p : Kecepatan rata – rata kereta penumpang
- N_p : Jumlah kereta penumpang
- V_b : Kecepatan rata – rata kereta barang
- N_b : Jumlah kereta barang

2.3.3 Train Control Strategy

Train control merupakan bagian terpenting pada penjadwalan kereta api. Dengan pengaturan jarak aman antar kereta yang efektif, keberhasilan dari *train control* merupakan kunci utama pada performansi operasi kereta api. Sun et al. (2014) menjelaskan 4 strategi umum yang dilakukan oleh kereta untuk meminimasi waktu perjalanan tanpa melanggar jarak *minimum headway* yang telah ditentukan, yaitu:

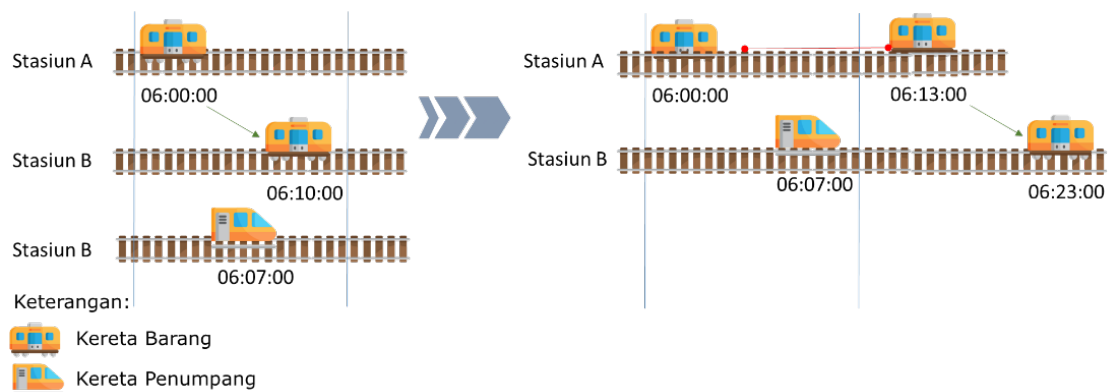
1. Braking Strategy

Strategi yang terjadi ketika kereta barang yang bersifat lambat menerima sinyal bahwa di belakangnya terdapat kereta cepat yang berjalan menuju stasiun yang sama. Kereta lambat harus berhenti apabila jarak antar kedua kereta tidak melebihi jarak aman serta apabila kereta lambat memasuki stasiun dengan jarak antara kereta lambat dengan stasiun tidak melebihi jarak rem dari kereta tersebut.

2. Overtaking Strategy

Strategi penyalipan ketika kereta lambat dan kereta cepat berjalan menuju stasiun yang sama pada waktu yang sama. Kondisi tersebut di gambarkan pada Gambar 2.8. Sebagai

contoh kereta barang berangkat dari stasiun A pukul 06:00:00 WIB dan sampai di stasiun B pukul 06:10:00. Sedangkan kereta penumpang berjalan menuju stasiun B pada pukul 06:07:00 maka kereta barang harus berhenti terlebih dahulu di stasiun A dan menunggu hingga kereta penumpang melewatinya, lalu melanjutkan perjalanannya pukul 06:13:00 dan sampai di stasiun B pukul 06:23:00. Sedangkan kondisi kedua adalah kereta penumpang dan barang sama – sama berhenti dan tinggal di stasiun A.



Gambar 2.8 Contoh *Overtaking Strategy*

Menurut Caprara (2002) batasan kapasitas *track* memaksakan terjadinya *overtaking* antar kereta yang hanya terjadi dalam sebuah stasiun. Kereta akan berhenti pada stasiun perantara (meskipun pada *timetable* ideal tidak terjadi pemberhentian pada stasiun tersebut) untuk memperbolehkan kereta lain melakukan penyusulan atau *overtake*.

3. *Traveling Strategy*

Strategi yang terjadi apabila kereta lambat dan cepat berjalan menuju stasiun yang sama, dimana jarak kereta lambat dengan stasiun cukup jauh dan jarak antar kedua kereta juga jauh. Apabila terjadi kondisi tersebut, kereta barang harus melakukan perjalanan dengan kecepatan maksimum dan stabil apabila tidak terjadi kondisi yang mengharuskan pengereman agar tidak mengganggu perjalanan kereta lainnya. Meskipun dengan kecepatan maksimum, namun kereta barang harus tetap memperhatikan kondisi rel dan mengikuti peraturan batas kecepatan setiap jalur yang telah ditetapkan.

4. *Departing Strategy*

Strategi yang mengharuskan kereta lambat untuk berhenti di stasiun ketika terjadi tiga kondisi, yaitu: i) jika kereta lambat tidak menunggu di stasiun untuk pemberhentian yang tetap (misal: pengurusan administrasi), ii) kereta lambat harus berhenti dan menunggu pada waktu yang tetap jika terdapat kereta lain di bagian depan dengan jarak antar kedua kereta berada pada jarak yang tidak aman, dan iii) kereta lambat harus berhenti dan menunggu pada waktu yang tetap ketika terdapat kereta lain di depan dengan jarak antar

kedua kereta lebih besar dari jarak aman namun terdapat kereta lain berjalan di belakang dan memiliki prioritas lebih tinggi. Namun jika kereta tersebut adalah cepat, maka kereta tersebut harus berhenti hanya ketika kondisi pertama terjadi.

2.4 Teknik Validasi

Validasi merupakan proses pengesahan atau pengujian ketepatan suatu instrumen pengukuran dalam melakukan fungsi ukurnya agar hasil yang diperoleh sesuai dengan tujuan dibuatnya pengukuran tersebut. Jadi sebuah instrumen dikatakan valid apabila mampu mengukur dengan tepat objek yang akan diukur. Kerlinger (1990) membagi validitas menjadi tiga yaitu:

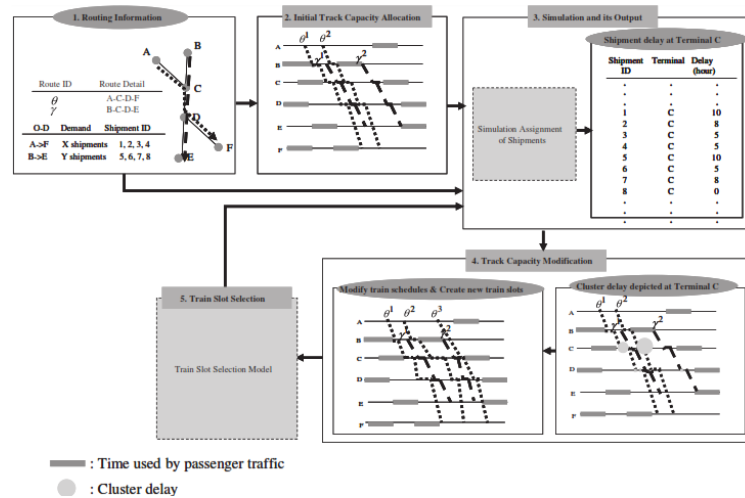
- *Content validity* (validitas isi) terkait dengan analisis rasional terhadap kemampuan suatu instrument untuk mengukur isi (konsep) yang harus diukur.
- *Construct Validity* (validitas konstruk) terkait analisis rasional yang mampu membuktikan apakah hasil pengukuran berkorelasi tinggi dengan konstruk teoritik yang mendasari penyusunan tes tersebut.
- *Criterion-related validity* (validitas berdasarkan kriteria) merupakan tes yang akan divalidasi menghasilkan ukuran yang memiliki korelasi.

Terdapat banyak teknik dalam validasi (Sidi dkk., 2015), antara lain: *equivalence partitioning, comparison testing, sample testing, robustness testing, performance testing, cause effect relationship, limit testing, behaviour testing, requirement testing* serta *endurance testing*. *Comparison testing* merupakan pengujian *output* dari sebuah beberapa aplikasi yang mempunyai kebutuhan yang sama dan membandingkannya. Asumsi yang digunakan adalah spesifikasi benar, karena apabila terjadi kesalahan maka *comparison testing* tidak efektif atau gagal dalam melakukan identifikasi *error* (Jatnika & Yulie, 2018). *Performance testing* dilakukan untuk mengetahui kinerja *software* pada beberapa kali percobaan dalam kontek sistem yang terintegrasi. Sedangkan *cause effect testing* adalah pengujian dari kondisi terhadap aksi yang dilakukan. Pengujia ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh objek terhadap hasil yang diberikan jika dilakukan beberapa perubahan *input*.

2.5 Model Acuan

Penelitian ini menggunakan penelitian Kuo et al. (2010) sebagai acuan dalam konsep pengembangan model *timeslot*. Tujuan dari penelitian Kuo et al. (2010) adalah mengembangkan model pemilihan *trainslot* sehingga didapatkan biaya operasi dan keterlambatan yang minimal serta dapat memenuhi permintaan. Penelitian tersebut menghasilkan solusi pendekatan *simulation-*

based iterative framework menggunakan *column generation-based*. Konsep *trainslot* pada penelitian acuan dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Gambaran Teknik Pengembangan *Timetable* dengan Contoh (Sumber: Kuo et al., 2010)

Kuo et al. (2010) mengembangkan beberapa tahap dalam teknik *timetable*. Petak 1 pada Gambar 2.9 merupakan Informasi detel rute yang dijadikan masukan tahap alokasi kapasitas jalur awal pada petak 2. Dari hasil *train slot* akan dilanjutkan pada petak 3 yaitu perhitungan keterlambatan pengiriman yaitu pengiriman yang menunggu kereta yang sama pada satu terminal. Lalu dilanjutkan dengan pengelompokkan berdasarkan keterlambatan, klasifikasi *yard* dan batasan tabrakan. Hasil dari proses pada petak ke 3 akan menjadi masukkan pada petak 4 yaitu tahap modifikasi kapasitas jalur yaitu dengan menyesuaikan waktu keberangkatan atau kedatangan dan mencari sisa jalur yang masih tersedia. Tahap ini akan menghasilkan *timetable* terbaru dengan keterlambatan pengiriman yang sudah dikurangi. *Timetable* yang terbaru akan dijadikan masukkan pada model pemilihan *train slot* pada petak 5. Tahap ini mampu menghasilkan biaya yang lebih efektif, menjamin terpenuhinya permintaan serta mengurangi keterlambatan. Adapun model matematis dalam membuat *train timetable* awal adalah sebagai berikut.

Notasi:

K = Himpunan rute

I^k = Himpunan calon *trainslot* pada setai rute $k \in K$

A^i = Himpunan *arc* terdiri dari *trainslot* $i \in I^k$ untuk $k \in K$ yang diketahui

x_a = Variabel keputusan biner apakah *arc* $a \in A^i$ digunakan atau tidak pada *train timetable*

c_a = Biaya operasi dari *arc* $a \in A^i$

η_a = Frekuensi saran kereta untuk setiap rute $k \in K$

$d_i^+(n^t)$ = Himpunan kereta yang keluar dari *arc* $a \in A^i$ pada node $n^t \in N_T$

$d_i^-(n^t)$ = Himpunan kereta yang masuk dari *arc* $a \in A^i$ pada node $n^t \in N_T$

h = Himpunan konflik antara seluruh pasangan dari kereta

C = Himpunan konflik untuk pasangan spesifik dari kereta

Objective Function:

$$\text{Min } z(x) = \sum_{k \in K} \sum_{i \in I^k} \sum_{a \in A^i} c_a x_a \quad (2.4)$$

Subject To

$$\sum_{i \in I^k} \sum_{a \in d_i^+(\alpha)} x_a = \eta^k \quad \forall k \in K \quad (2.5)$$

$$\sum_{a \in d_i^+(\alpha)} x_a \leq 1 \quad \forall i \in I^k, \forall k \in K \quad (2.6)$$

$$\sum_{a \in d_i^-(n^t)} x_a = \sum_{a \in d_i^+(n^t)} x_a \quad \forall i \in I^k, \forall k \in K, \forall n^t \in N_T \setminus \{\alpha, \beta\} \quad \forall t \in T \quad (2.7)$$

$$\sum_{a \in d_i^-(\alpha)} x_a \leq 1 \quad \forall i \in I^k, \forall k \in K \quad (2.8)$$

$$\sum_{a \in C} x_a \leq 1 \quad \forall C \in h \quad (2.9)$$

$$x_a \in \{0,1\} \quad \forall a \in A^i, \forall i \in I^k, \forall k \in K \quad (2.10)$$

Tujuan dari penelitian Kuo et al. (2010) adalah meminimasi total biaya pengiriman pada jaringan rute kereta dengan jadwal yang telah ditentukan. Batasan (2.5) menjamin jumlah total *train slot* pada rute yang dioperasikan adalah sama dengan jumlah saran *train slot* yang mungkin dioperasikan. Batasan (2.6) menjamin bahwa paling banyak terdapat satu *arc* keberangkatan dari sebuah kereta yang dipilih untuk meninggalkan *pseudo source-terminal* α . Batasan (2.7) merupakan batasan keseimbangan aliran kereta masuk dan keluar untuk setiap terminal. Batasan ini memaksakan persamaan pada jumlah *movement* atau *processing arc* yang dipilih dari sebuah kereta yang masuk dari terminal. Batasan (2.8) menjamin terdapat paling banyak satu jalur kedatangan dari sebuah kereta yang dipilih untuk datang pada *pseudo sink-terminal* β . Batasan (2.9) untuk mencegah dua kereta yang berurutan pada *arc* yang sama pada waktu yang sama (atau dengan minimal *headway*). Bilangan biner untuk setiap *arc* di tuliskan pada batasan (2.10).

Sedangkan pada tahap pemilihan *train slot* yang bertujuan untuk mencari kombinasi optimal dari *train slot* untuk memenuhi permintaan memiliki model matematis sebagai berikut.

Notasi:

L = Himpunan terminal pengiriman bongkar-muat

c_i = Biaya operasi untuk setiap *train slot* $i \in I^k, k \in K$

$\rho(\mu_i)$ = Biaya penalty dari *train slot* $i \in I^k$ akibat keterlambatan kereta μ_i terjadi

$y_i = \begin{cases} 1, & \text{train slot } i \in I^k \text{ beroperasi} \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases}$

$$\delta_{lt}^i = \begin{cases} 1, & \text{train slot } i \in I^k \text{ mengunjungi terminal } l \text{ pada waktu } t \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases}$$

∂_{lt} = Jumlah maksimal *train slot* yang tersedia untuk mengirim pada terminal bongkar muat $i \in L$ untuk hari $t \in T$

Objective Function

$$\text{Min } z(x) = \sum_{k \in K} \sum_{i \in I^k} c_i y_i + \sum_{k \in K} \sum_{i \in I^k} \rho(\mu_i) \quad (2.11)$$

Subject To

$$\sum_{i \in I^k} y_i = \eta^k \quad \forall k \in K \quad (2.12)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in I^k} \delta_{lt}^i \cdot y_i \leq \partial_{lt} \quad \forall l \in L, \forall t \in T \quad (2.13)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I^k, \forall k \in K \quad (2.14)$$

Tujuan pada rumus (2.11) adalah mencari total biaya operasi yang dibutuhkan untuk pengiriman pada jaringan dan keterlambatan. Batasan (2.12) memastikan jumlah total *train slot* pada jaringan untuk setiap rute yang di operasikan untuk memenuhi frekuensi kereta yang disarankan η^k pada rute k . Batasan (2.13) memaksa agar jumlah *train slot* yang melewati setiap *drop-off/pick-up terminal* l pada selang waktu t tidak boleh lebih besar dari jumlah *train slot* yang tersedia untuk pengiriman pada terminal l di selang waktu t . Batasan (2.12) merupakan keharusan variabel keputusan merupakan bilangan biner.

2.6 Posisi Penelitian

Pada sub bab ini akan dijelaskan penelitian yang membahas penambahan jadwal kereta serta penentuan keberangkatan kereta dengan memperhatikan target waktu. Beberapa penelitian mengenai perjalanan kereta api di Indonesia telah dilakukan sebelumnya. Umbu (2003) melakukan penjadwalan ulang dengan mengubah waktu keberangkatan ± 30 menit dari jadwal asli menggunakan bahasa pemrograman Java. Putra (2011) menggunakan metode *job shop* dalam penjadwalan ulang saat menggunakan *single track*. Agustina (2013) melakukan penjadwalan ulang kereta api jalur Bandung – Cicalengka menggunakan metode *branch and bound*. Model optimasi yang dibangun menghasilkan waktu keterlambatan sebesar 630 menit. Husna (2015) melakukan perhitungan jumlah kereta optimum yang dapat ditambahkan pada lintasan *double track* menggunakan simulasi ARENA. Supriadi (2015) melakukan penelitian pengukuran waktu antar perlintasan kereta api di beberapa palang pintu perlintasan kereta api *single track* menggunakan simulasi ARENA. Satya (2015) melakukan perhitungan penambahan jumlah kereta barang optimum dengan melakukan pengembangan rute *train control* terkait penyalipan untuk mengurangi *travel time* menggunakan simulasi ARENA. Palgunadi (2016) melakukan

penjadwalan kereta untuk mengurangi keterlambatan pada jalur Solo – Yogyakarta. Aturan pengiriman yang digunakan adalah *First Come First Serve* (FCFS) untuk menghitung waktu perjalanan pada setiap bagian *block*. Aturan berikutnya adalah prioritas antrian untuk menyelesaikan masalah *bottleneck* dengan memilih bagian *block* sebagai prioritas tertinggi.

Penelitian Andersen (2006) memiliki tujuan untuk mengembangkan model penjadwalan pada jaringan multikomoditas dengan mempertimbangkan kapasitas, manajemen asset dan koordinari beberapa *fleet*. Masalah yang diangkat terdiri dari pemilihan jasa dan waktu keberangkatannya, mengatur armada kendaraan untuk memenuhi pengiriman yang telah ditentukan, dan penentuan rute berdasarkan permintaan yang telah diketahui.

Tabel 2.3 merupakan daftar penelitian yang telah dilakukan yang diklasifikasikan berdasarkan (1) Tahun publikasi penelitian, (2) Nama penulis, (3) judul penelitian, (4) tujuan dilakukannya penelitian, (5) kesimpulan dan (6) saran untuk penelitian selanjutnya.

Tabel 2.3 Rangkuman Penelitian Terdahulu

Thn	Penulis	Judul	Tujuan	Kesimpulan	Future Research
2008	Chang et al.	<i>Best route selection in international intermodal networks</i>	Mengembangkan permodelan <i>capacitated Multiobjective multicommodity flow problem</i> (MMMFP) sehingga dapat meminimasi total <i>transportation cost</i> dan <i>travel time</i> .	Pada <i>Intermodal routing problem</i> memerlukan <i>multiple objective</i> , penjadwalan moda transportasi, permintaan <i>delivery time</i> dan skala ekonomi.	Mempertimbangkan pengiriman langsung dengan single moda (D2D) dan waktu yang lain seperti <i>transit time</i> .
2006	Andersen et al.	<i>Service Network Design with Management and Coordination of Multiple Fleets</i>	Mengembangkan model penjadwalan pada jaringan multikomoditas dengan mempertimbangkan kapasitas, manajemen asset dan koordinasi beberapa <i>fleet</i> .	Dengan <i>mixed integer programming</i> dapat menghasilkan model yang mampu mengaplikasikan kemungkinan penambahan pengiriman menggunakan kereta api pada jaringan intermodal.	Metode komputasi pada permasalahan jaringan berkapasitas akan lebih sesuai jika menggunakan <i>column generation-based</i> dan metaheuristik.
2008	Lawley et al.	<i>A Time-space scheduling model for optimizing recurring bulk railcar deliveries</i>	Membuat model jaringan untuk penjadwalan pengiriman dengan kereta dari <i>supplier</i> ke konsumen sehingga permintaan demand dapat terpenuhi dan meminimasi waktu tunggu saat bongkar-muat barang	Model dapat menentukan berapa besar kapasitas yang tersedia, berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk memenuhi <i>demand</i> , menyediakan waktu kedatangan dan keberangkatan untuk menyesuaikan <i>demand</i> dan <i>supply</i> .	Penambahan <i>constraint</i> untuk membatasi jumlah kereta

Thn	Penulis	Judul	Tujuan	Kesimpulan	Future Research
2009	Cacchiani et al.	<i>Scheduling Extra Freight Trains on Railway Network</i>	Meminimasi keterlambatan kereta barang dengan menentukan rute optimal untuk menghindari konflik yang mungkin terjadi apabila penambahan kereta barang dilakukan.	Metode yang dikembangkan mampu untuk membangun <i>timetable</i> , menambahkan kereta baru serta membuat <i>schedule</i> dan rute baru pada saat <i>delay</i> atau gangguan terjadi.	Metode yang menyediakan jadwal kereta di dalam node rel kereta api. Sedangkan pada penelitian ini hanya menggunakan jaringan dengan <i>alternative path</i> .
2010	Kuo et al.	<i>Freight Train Scheduling with Elastic Demad</i>	Menentukan penjadwal <i>multi-line</i> dengan menambahkan <i>train slot</i> dengan memperhatikan waktu <i>demand</i> dan destinasi yang tidak pasti	Model yang dikembangkan dapat memberikan hasil biaya operasional yang minimal.	Pengembangan Model yang dapat diaplikasikan untuk mengurangi <i>delay</i> , perubahan biaya infrastruktur rel serta perbaikan teknologi pada waktu pengiriman, <i>market share</i> dan <i>expected revenue</i> .
2010	Murali et al.	<i>A Delay Estimation Technique for Single and Double-track Railroads</i>	Penambahan kereta barang yang bersifat stokastik dengan memperkirakan keterlambatan kereta penumpang.	Menghasilkan model yang dapat memastikan waktu keterlambatan secara tepat sehingga dapat menjadi parameter masukkan.	Dibuatnya simulasi untuk masing – masing bagian dari jaringan.
2011	Mu et al.	<i>Scheduling Fright Trains Traveling on Comple Network</i>	Penambahan jadwal kereta barang pada jaringan yang kompleks dengan metode pemilihan rute.	Menghasilkan jadwal kereta dan pengiriman yang dapat mengurangi keterlambatan.	Untuk jaringan yang besar lebih cocok menggunakan algoritma dekomposisi.
2012	Yalcinkaya et al.	<i>A Feasible Timetable Generator Simulation</i>	Penjadwalan ulang kereta dengan batasan operasional dan tidak melanggar kapasitas <i>track</i> .	Dengan simulasi menghitung rata-rata waktu perjalanan menghasilkan jadwal baru	Model <i>framework</i> simulai dapat dikembangkan dengan: sudut pandang pengguna jasa, objek pada

Thn	Penulis	Judul	Tujuan	Kesimpulan	Future Research
		<i>Modelling Framework for Train Scheduling Problem</i>		yang mampu mengatasi gangguan dengan data nyata. Untuk menghindari <i>deadlock</i> , juga dibuat algoritma pencegahan <i>blockage</i> .	bagian <i>double track</i> , tipe kereta yang berbeda yang memiliki prioritas, kecepatan dan stasiun yang berbeda.
2014	Chen et al.	<i>A Time-space Network Model for Allocating the Container Storage Space in Express Depot</i>	Mengalokasikan penyimpanan kontainer dengan ketidakpastian permintaan untuk meningkatkan <i>revenue</i> dan kompetitifitas pada industri.	Membangun model <i>time space network</i> berdasarkan alokasi petikemas yang dinamis, kapasitas kendaraan dan ketidakpastian permintaan dari kontainer. Model dapat diaplikasikan pada masalah alokasi lainnya seperti pada tempat tidur rumah sakit dan tempat penyimpanan kayu.	Menggunakan data <i>real-word</i> agar mampu menunjukkan pengaruh dari model secara lebih baik serta data permintaan menggunakan metode prediksi, bukan stokastik.
2015	Satya, W, A	Model Simulasi Diskrit untuk Penjadwalan Kereta Barang dengan Pengembangan Algoritma Penyalipan Kereta di Jalur Ganda Utara Pulau Jawa, Indonesia	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengembangkan <i>train control</i> terkait penyalipan berdasarkan aturan <i>min. headway</i>. 2. Mengoptimalkan frekuensi jumlah kereta barang 3. Mengembangkan model simulasi diskrit perjalanan kereta. 	Perjalanan kereta menggunakan model simulasi pengembangan lebih cepat dibandingkan model simulasi eksisting. Penambahan maksimal kereta barang adalah 3 kereta dengan slot jam malam hari.	Pembuatan model dengan memperhatikan jumlah stasiun dan jarak antar stasiun yang tepat akan memberikan hasil yang lebih akurat. Perlu dilakukan survey untuk mengetahui teknis perjalanan yang lebih detail.
2016	Palgunadi et al.	<i>Job-Shop Scheduling Model</i>	Penjadwalan kereta untuk mengurangi keterlambatan	Model penjadwalan dengan algoritma <i>job-shop</i>	Perlu mempertimbangkan keterlambatan

Thn	Penulis	Judul	Tujuan	Kesimpulan	<i>Future Research</i>
		<i>for Optimization of the Double Track Railway Scheduling</i>	dengan aturan <i>First Come First Serve</i> (FCFS) untuk menghitung waktu perjalanan pada setiap bagian <i>block</i> .	dengan FCFS dan prioritas antrian menghasilkan hampir semua kereta mengalami keterlambatan dikarenakan rata-rata keterlambatan lebih besar dari pada jadwal actual.	keberangkatan kereta, metode untuk menyelesaikan konflik antar kereta, penjadwalan ulang dengan memperhatikan kebijakan seperti pembatalan dan pemesanan ulang serta perhitungan waktu perjalanan yang presisi dengan mempertimbangkan kecepatan pada setiap blok.

Penelitian ini berfokus pada pembuatan model matematis dan perancangan alat bantu pengambilan keputusan (*Decision Support Tools*) yang memiliki tujuan untuk menentukan jumlah optimum beserta jadwal kereta barang yang dapat ditambahkan dengan mempertimbangkan terjadinya *overtaking*. Objek penelitian yang digunakan adalah jalur Surabaya – Semarang dengan karakteristik lintasan *single line double track*. Karakteristik lintasan seperti ini mempunyai rute yang tetap sehingga mengakibatkan penyalipan kereta tidak dapat dilakukan pada jalur kereta api, namun pada stasiun. Sehingga setiap stasiun mempunyai peran penting dalam mengontrol perjalanan kereta agar tidak terjadi konflik. Sedangkan pada penelitian sebelumnya, yang banyak dilakukan di negara – negara Eropa memiliki karakteristik lintasan *network double track* yang dapat melakukan pemilihan rute yang mempunyai fungsi untuk penyalipan pada lintasan, contohnya pada kasus kereta barang yang harus mencari rute lain dikarenakan rute tersebut dilalui oleh kereta penumpang yang memiliki kecepatan lebih tinggi. Tabel 2. 4 merupakan rangkuman perbedaan (*gap*) penelitian ini dengan penelitian terdahulu.

Tabel 2.4 Rangkuman GAP Penelitian

Penulis	Track			Objective		Data Waktu Perjalanan	Pengembangan Model Matematis	Pembuatan Grafik <i>Space-Time</i>	Metode
	N S T	S L D T	N D T	Penambahan Kereta	Penjadwalan Ulang				
Lawley et al., (2006)	√			x	√	-	√	x	<i>Heuristic</i> dengan konsep penambahan kereta menggunakan sistem <i>Train slot</i>
Cacchiani et al., (2009)	√			√	√	<i>Realcase</i>	√	x	<i>Lagrangian Heuristic</i>
Kuo et al., (2010)			√	√	x	-	√	x	<i>Coloumn Generation Based</i>
Murali et al., (2010)	√			x	√	Stokastik	√	x	<i>Regression Analysis</i>
Mu at al., (2011)	√			√	√	Pendekatan Distribusi Kecepatan	√	x	<i>Greedy heuristic, global neighborhood search algorithm</i>
Yalcinkaya et al. (2012)	√			x	√	Pendekatan Distribusi Kecepatan	x	√	<i>Stochastic Simulation</i>
Satya, W, A (2015)		√		√	x	Pendekatan Distribusi Kecepatan di stasiun besar	x	x	Simulasi Diskrit dengan konsep penambahan kereta menggunakan sistem renumerasi
Penelitian ini		√		√	x	<i>Realcase</i> di setiap stasiun kecil	√	√	<i>Heuristic</i> dengan konsep penambahan kereta menggunakan sistem <i>Train slot</i> , perancangan <i>Decision Support Tools</i>

Keterangan:

NST: *Network Single Track*

SLDT: *Single Line Double Track*

Berdasarkan Tabel 2.5 hampir semua penelitian terdahulu memiliki tujuan khusus dalam permasalahan pengiriman barang menggunakan kereta api. Dengan mempertimbangkan karakteristik jalur kereta api di Indonesia, penelitian ini memiliki tujuan untuk melakukan penambahan kereta dengan *timeslot* menggunakan konsep Kuo et al. (2010). Konsep batasan pada penelitian ini juga mengambil dari penelitian Chacciani (2010). Tabel 2.5 merupakan daftar batasan dan konsep dari penelitian acuan yang diharapkan mampu menggambarkan posisi penelitian.

Tabel 2.5 Posisi Penelitian

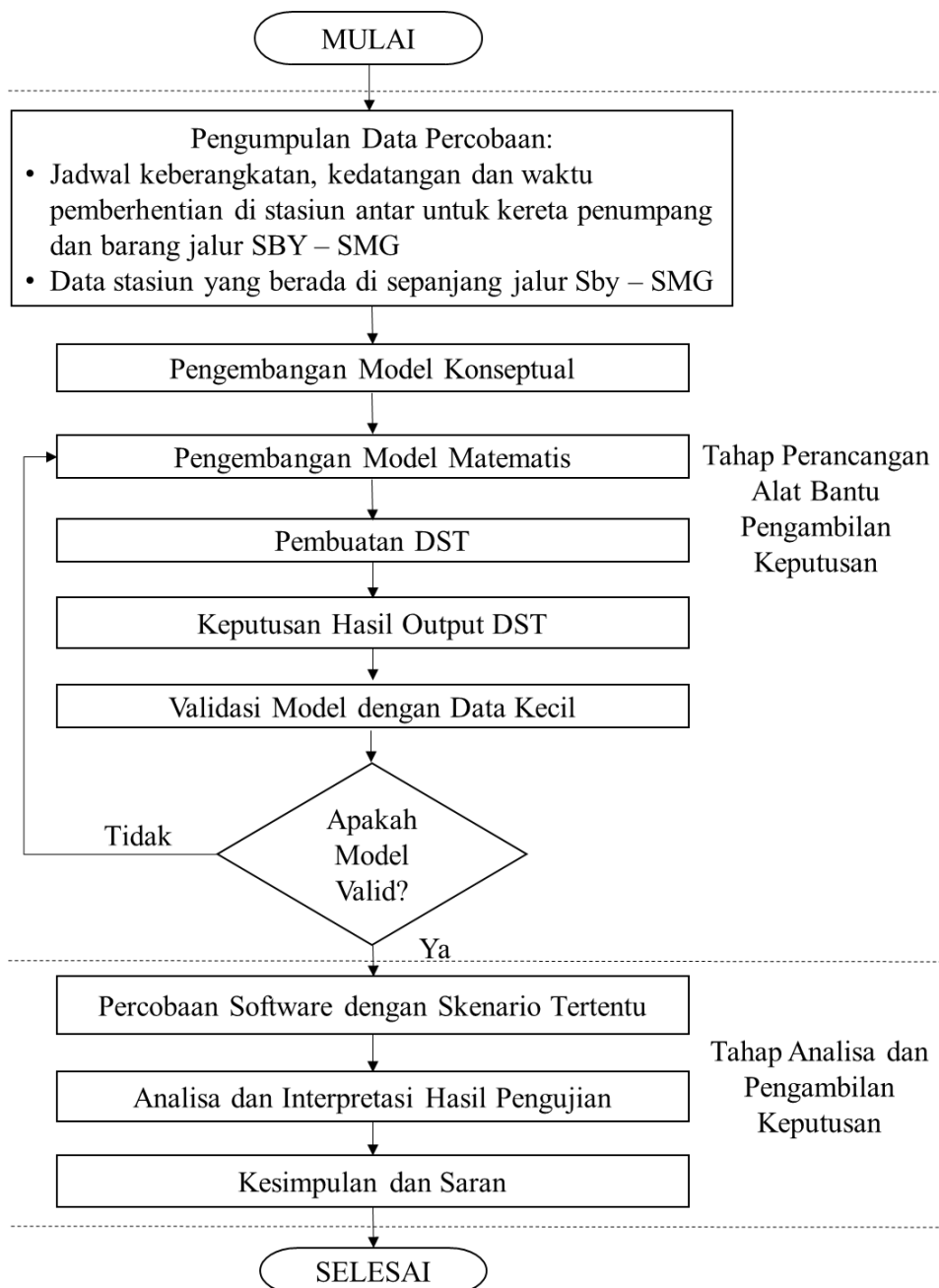
Jenis Batasan	Kuo et al., (2010)	Chacciani et al., (2010)	Penelitian ini
Konsep Model <i>TrainSlot</i>	√	x	√
Batasan Kapasitas Track	√	√	Modifikasi
Batasan 1 jadwal untuk 1 keberangkatan & kedatangan	√	√	Modifikasi
Batasan Keseimbangan aliran pada tiap stasiun	√	√	Modifikasi
Batasan min.headway	√	x	Modifikasi
Batasan <i>reduce cost</i>	√	x	x
Batasan Waktu Keberangkatan dan waktu Kedatangan	x	√	Modifikasi
<i>Overtacking constraint</i>	x	√	Modifikasi

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini telah diberikan gambaran kerangka berpikir dalam pelaksanaan penelitian ini yang terdiri dari beberapa tahapan yang saling berurutan. Adanya kerangka berpikir bertujuan agar tahapan dalam mengerjakan penelitian lebih terstruktur dan terarah. Tahapan tersebut dimulai dari tahapan identifikasi, tahapan pengumpulan data, tahapan perancangan alat bantu, tahapan analisis dan pengambilan keputusan, serta tahapan kesimpulan dan saran.



Gambar 3.1 *Flowchart* Metodologi Penelitian

3.1 Tahap Pengumpulan Data

Langkah pertama yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengumpulan data penunjang. Data – data yang digunakan pada penelitian ini adalah data stasiun – stasiun sepanjang jalur Surabaya Kalimas – Semarang Poncol, kelas pada kereta, jadwal kereta lengkap mulai dari jadwal keberangkatan, kedatangan, waktu perjalanan, lokasi pemberhentian stasiun serta lama pemberhentian. Seluruh data ini harus dikumpulkan baik untuk kereta penumpang dan kereta barang.

3.2 Tahap Perancangan Alat Bantu Pengambilan Keputusan

Pada tahap ini akan dilakukan pengembangan model penentuan jadwal kereta optimum yang dapat ditambahkan dengan mempertimbangkan terjadinya *overtaking*. Model ini nantinya akan menjadi alat bantu pengambilan keputusan untuk mendapatkan objektif yang telah ditentukan.

3.2.1 Pengembangan Model Konseptual

Pada tahap ini akan dilakukan pengembangan model yang sesuai dengan kondisi nyata dimana terdapat syarat dan kondisi – kondisi tertentu yang harus diperhatikan, yaitu: waktu keberangkatan, lama perjalanan, stasiun transit serta *minimum headway*.

3.2.2 Pengembangan Model Matematis

Setelah model konseptual telah dirancang, langkah selanjutnya adalah melakukan pengembangan model matematis terkait tujuan yang ingin dicapai. Model acuan yang digunakan telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Berdasarkan model acuan yang telah dipilih, pada tahap ini akan dilakukan perubahan atau modifikasi batasan dan tujuan yang sesuai dengan permasalahan yang diangkat. Dimulai dari perhitungan waktu perjalanan kereta yang digunakan sebagai acuan, pembuatan jadwal tambahan beserta waktu perjalanannya serta evaluasi kereta tersebut sehingga didapatkan jadwal kereta tambahan yang valid. Langkah – langkah tersebut dituliskan pada model matematis yang detail untuk mendapatkan hasil perhitungan yang valid.

3.2.3 Pembuatan DST (Decision Support Tools)

Pada langkah ini akan dibuat alat bantu menggunakan *macro excel. Tools* ini dipilih karena mampu menyelesaikan data besar secara otomatis sesuai dengan bahasa yang sudah diperintahkan serta memberikan tampilan yang mudah dipahami bagi pengguna nantinya. Perintah yang dituliskan pada *macro excel* mengikuti tahap – tahap yang telah dibuat pada model konseptual dan model matematis sehingga hasil yang diberikan pada DST dan model matematis memberikan nilai yang sama.

3.2.4 Keputusan Hasil Output DST

Setelah pembuatan DST akan didapatkan *output* dari model yang diinginkan. *Output* model yang diharapkan yaitu penentuan jumlah optimum jadwal kereta barang yang dapat ditambahkan dengan mempertimbangkan terjadinya *overtacking*.

3.2.5 Validasi Model

Tahap validasi model bertujuan untuk membandingkan hasil perhitungan model matematis dengan output pada DST. Perhitungan manual yang dilakukan adalah menggunakan data kecil yang akan dibandingkan dengan hasil DST. Jika hasil yang diberikan adalah sama maka model yang dibangun valid sehingga dapat dikatakan bahwa model matematis dan alat bantu yang dibangun dapat merepresentasikan kasus nyata pada penelitian ini.

3.3 Tahap Analisa dan Pengambilan Keputusan

Pada tahap ini dilakukan analisa dan interpretasi terhadap *output* hasil eksperimen serta pengambilan kesimpulan dan saran terhadap penelitian yang dilakukan.

3.3.1 Percobaan Software dengan Skenario Tertentu

Pada tahap ini dilakukan percobaan numerik dengan mengubah beberapa parameter bervariasi untuk mengetahui performansi model yang dikembangkan. Pengujian dilakukan dengan beberapa skenario perubahan *input parameter*. *Input parameter* yang dapat di ubah – ubah pada adalah waktu *minimum headway*. Dengan perubahan *minimum headway* ini dapat diketahui pengaruhnya terhadap jadwal kereta tambahan yang dihasilkan serta kuantitasnya.

3.3.2 Analisa dan Interpretasi Hasil Pengujian

Pada tahap ini akan dijelaskan hasil dari percobaan skenario beserta analisisnya, analisa model matematis serta analisa alat bantu yang dibuat. Hasil percobaan yang telah dilakukan akan dianalisis untuk mengetahui pengaruh dari beberapa skenario terhadap hasil dari DST yang dibuat.

3.3.3 Kesimpulan dan Saran

Pada tahap ini telah dilakukan penarikan kesimpulan berdasarkan tujuan penelitian yang telah dirumuskan pada bab selanjutnya. Dari penarikan kesimpulan ini peneliti dapat mengetahui apa saja yang telah didapatkan dari penelitian. Sementara untuk penelitian yang akan datang akan diberikan saran sebagai masukan untuk penelitian selanjutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 4

PENGEMBANGAN MODEL DAN PERANCANGAN APLIKASI

Pada bab ini akan dijelaskan pengembangan model sistem penentuan jumlah optimum kereta barang yang dapat ditambahkan dengan mempertimbangkan terjadinya *overtacking*. Model ini nantinya akan digunakan sebagai alat bantu pembuatan keputusan terkait tujuan tersebut berdasarkan kriteria dan syarat – syarat yang telah ditentukan.

4.1 Pengumpulan Data

Permasalahan penjadwalan kereta yang dikembangkan memiliki tujuan untuk menentukan jumlah serta jadwal kereta barang yang dapat ditambahkan dengan mempertimbangkan terjadinya *overtacking*. Jadwal awal yang digunakan sebagai acuan adalah GAPEKA (Grafik Perjalanan Kereta API) Tahun 2017. Kondisi eksisting lintasan kereta api dari Stasiun Kalimas Surabaya hingga Stasiun Semarang Poncol sejauh 437 km terdiri dari 38 stasiun. Dalam satu hari terdapat 44 jadwal perjalanan dengan rincian 26 kereta penumpang dan 18 kereta barang (1 kereta parcel, 2 kereta semen dan 15 kereta Petikemas). Tabel 4.1 adalah jadwal keberangkatan kereta yang melewati jalur Stasiun Kalimas Surabaya hingga Stasiun Semarang Poncol berdasarkan GAPEKA (Grafik Perjalanan Kereta API) Tahun 2017. Jadwal lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran A.

Tabel 4.1 Jadwal Kereta Api Jalur SBY-SMG (sumber: GAPEKA 2017)

KODE KERETA	STASIUN ASAL	STASIUN TUJUAN	DEPART TIME	ARRIVAL TIME
KA 2503 (PETIKEMAS)	KALIMAS	SMG PONCOL	00:05:00	05:32:00
KA 2507 (PETIKEMAS)	KALIMAS	SMG PONCOL	00:50:00	07:07:00
ARGO SINDORO	SMG TAWANG	GAMBIR	06:00:00	12:00:00
KA 2513 (PETIKEMAS)	KALIMAS	SMG PONCOL	01:55:00	07:31:00
BLORA JAYA	CEPU	SMG PONCOL	05:00:00	07:49:00
KOMUTER 1	PS TURI	LAMONGAN	04:35:00	05:38:00
MENOREH	SMG TAWANG	PS SENEN	08:00:00	14:30:00
KALIJAGA	SOLO BALAPAN	SMG PONCOL	05:20:00	08:15:00
KEDUNG SEPUR 1	NGROMBO	SMG PONCOL	07:70:00	09:30:00
KA 2511 (PETIKEMAS)	KALIMAS	SMG PONCOL	05:10:00	10:53:00
MAHARANI	PS TURI	SMG PONCOL	06:00:00	10:41:00
KAMANDAKA 2	SMG TAWANG	TEGAL	11:00:00	16:04:00
ARGO ANGGREK 1	PS TURI	SMG TAWANG	08:00:00	11:30:00
KA 2517 (PETIKEMAS)	KALIMAS	SMG PONCOL	08:00:00	13:30:00
KA 2713 (SEMEN)	BANYUWANGI	SMG PONCOL	19:00:00	15:00:00
KA 2709 (SEMEN)	KALIMAS	SMG PONCOL	10:00:00	15:24:00

KODE KERETA	STASIUN ASAL	STASIUN TUJUAN	DEPART TIME	ARRIVAL TIME
ARGO MURIA	SMG TAWANG	GAMBIR	16:00:00	22:08:00
KA 2515 (PETIKEMAS)	KALIMAS	SMG PONCOL	10:15:00	16:47:00
KRD BJJ	PS TURI	BOJONEGORO	10:00:00	13:10:00
KAMANDAKA 3	SMG TAWANG	TEGAL	17:00:00	21:53:00
AMBARAWA	PS TURI	SMG TAWANG	13:10:00	17:33:00
CIREMAI	SMG TAWANG	TEGAL	17:35:00	01:11:00
JAYABAYA	PS TURI	SMG PONCOL	11:45:00	18:51:00
KEDUNG SEPUR 2	NGROMBO	SMG PONCOL	17:55:00	19:34:00
KA 2545 (PETIKEMAS)	MESIGIT	SMG PONCOL	14:15:00	20:45:00
GUMARANG	PS TURI	SMG TAWANG	15:30:00	19:55:00
HARINA	PS TURI	SMG TAWANG	16:30:00	20:57:00
BRANTAS	BLITAR	PS SENEN	12:50:00	03:54:00
KA 2519 (PETIKEMAS)	KANDANGAN	SMG PONCOL	14:35:00	21:48:00
KOMUTER 2	PS TURI	LAMONGAN	16:40:00	17:43:00
SEMBRANI	PS TURI	SMG TAWANG	17:50:00	22:00:00
KA 2543 F (PETIKEMAS)	KALIMAS	SMG PONCOL	16:50:00	23:15:00
KA 2501 (PETIKEMAS)	KALIMAS	SMG PONCOL	18:25:00	00:14:00
ARGO ANGGREK 2	PS TURI	SMG TAWANG	20:00:00	23:30:00
KA 2537F (PETIKEMAS)	BRUMBUNG	SMG PONCOL	23:55:00	00:36:00
KA 131 (PARCEL)	PS TURI	SMG PONCOL	20:25:00	01:36:00
KERTAJAYA	PS TURI	SMG TAWANG	21:00:00	01:42:00
MATARMAJA	MALANG	PS SENEN	17:30:00	
KA 2533F (PETIKEMAS)	KALIMAS	SMG PONCOL	21:45:00	03:18:00
MAJAPAHIT	MALANG	PS SENEN	18:30:00	10:08:00
KA 2535F (PETIKEMAS)	KALIMAS	BRUMBUNG	22:40:00	03:32:00
KA 2505 (PETIKEMAS)	KALIMAS	SMG PONCOL	21:10:00	04:31:00
KA 2509 (PETIKEMAS)	KALIMAS	SMG PONCOL	23:30:00	04:52:00
KAMANDAKA 1	SMG TAWANG	TEGAL	05:00:00	09:27:00

Setiap kereta memiliki kelas yang berbeda – beda. Setiap kelas juga memiliki ketentuan kecepatan dan stasiun pemberhentian yang berbeda - beda. Urutan kelas berdasarkan prioritas paling tinggi adalah kelas komersial, ekonomi, KRL, dan barang. Kereta dengan kelas tertinggi memiliki prioritas utama untuk sampai di stasiun tujuan, sedangkan kereta dengan prioritas terendah harus menunggu. Untuk kelas komersial kecepatan maksimum mencapai 100 Km/Jam, kereta ekonomi mencapai 90 Km/Jam, KRL mencapai 70 Km/Jam, dan kereta barang mencapai 90 km/Jam.

Pada penelitian ini, kereta yang akan ditambahkan pada jadwal eksisting adalah jenis kereta barang *container*. Kereta barang merupakan kelas paling rendah. Sesuai dengan asumsi yang telah disebutkan, waktu perjalanan kereta tambahan mengikuti rata – rata waktu perjalanan kereta barang pada GAPEKA 2017 yang dibulatkan keatas. Berikut adalah data rata- rata waktu perjalanan kereta barang acuan beserta dengan stasiun yang di lalui dan stasiun yang harus berhenti untuk melakukan pemeriksaan.

Tabel 4.2 Waktu Perjalanan Kereta Acuan

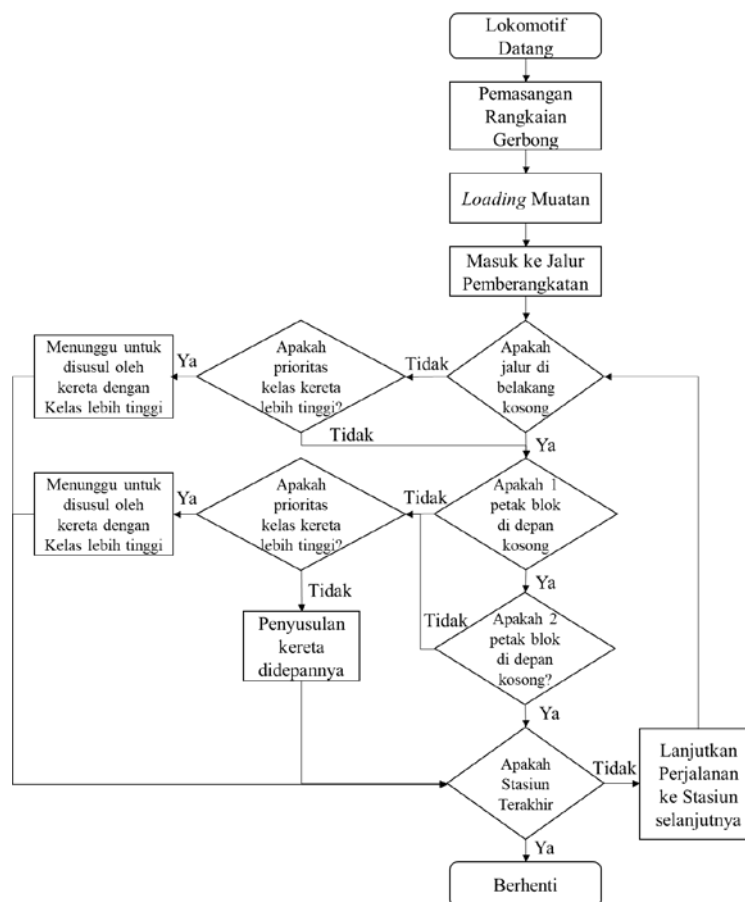
ORI	DEST	DEPART TIME	ARRIVAL TIME
KALIMAS	MESIGIT	10:00:00	10:07:00
MESIGIT	PS TURI (SBI)	10:09:00	10:13:00
PS TURI (SBI)	TANDES (TES)	10:13:00	10:22:00
TANDES (TES)	KANDANGAN (KDA)	10:22:00	10:25:00
KANDANGAN (KDA)	BENOWO (BNW)	10:25:00	10:30:00
BENOWO (BNW)	CERME (CME)	10:30:00	10:35:00
CERME (CME)	DUDUK SAMPEYAN (DD)	10:35:00	10:44:00
DUDUK SAMPEYAN (DD)	LAMONGAN (LMG)	10:44:00	10:55:00
LAMONGAN (LMG)	SURABAYAN (SBN)	10:55:00	11:02:00
SURABAYAN (SBN)	PUCUK (PC)	11:02:00	11:11:00
PUCUK (PC)	GEMBONG (GEB)	11:11:00	11:16:00
GEMBONG (GEB)	BABAT (BBT)	11:16:00	11:22:00
BABAT (BBT)	BOWERNO (BWO)	11:22:00	11:30:00
BOWERNO (BWO)	SUMBERJO (SRJ)	11:30:00	11:41:00
SUMBERJO (SRJ)	KAPAS (KPS)	11:41:00	11:48:00
KAPAS (KPS)	BOJONEGORO (BJ)	11:48:00	11:54:00
BOJONEGORO (BJ)	KALITIDU (KIT)	11:54:00	12:14:00
KALITIDU (KIT)	TOBO (TBO)	12:14:00	12:27:00
TOBO (TBO)	CEPU (CU)	12:27:00	12:36:00
CEPU (CU)	KAPUAN (KPA)	12:49:00	12:57:00
KAPUAN (KPA)	WADU (WDU)	12:57:00	13:03:00
WADU (WDU)	RANDUBLATUNG (RBG)	13:03:00	13:13:00
RANDUBLATUNG (RBG)	DOPLANG (DPL)	13:13:00	13:25:00
DOPLANG (DPL)	SULUR (SL)	13:25:00	13:32:00
SULUR (SL)	KRADENAN (KNN)	13:32:00	13:40:00
KRADENAN (KNN)	PANUNGGALAN (PNL)	13:40:00	13:49:00
PANUNGGALAN (PNL)	JAMBON (JBN)	13:49:00	13:54:00
JAMBON (JBN)	GAMBRINGAN (GBN)	13:54:00	14:04:00
GAMBRINGAN (GBN)	NGROMBO (NBO)	14:04:00	14:06:00
NGROMBO (NBO)	SEDADI (SDI)	14:06:00	14:11:00
SEDADI (SDI)	KARANGJATI (KGT)	14:11:00	14:19:00
KARANGJATI (KGT)	GUBUG (GUB)	14:19:00	14:31:00
GUBUG (GUB)	TEGOWANU (TGW)	14:31:00	14:38:00

ORI	DEST	DEPART TIME	ARRIVAL TIME
TEGOWANU (TGW)	BRUMBUNG (BBG)	14:38:00	14:47:00
BRUMBUNG (BBG)	ALASTUA (ATA)	14:47:00	14:53:00
ALASTUA (ATA)	SMG TAWANG (SMT)	14:53:00	15:02:00
SMG TAWANG (SMT)	SMG PONCOL (SMC)	15:02:00	15:08:00

Tabel 4.2 merupakan waktu berangkat dan waktu datang kereta acuan di setiap stasiun. Dimana stasiun dengan blok warna oranye adalah stasiun yang mengalami pemberhentian, yaitu Stasiun Mesigit, Cepu dan Semarang Poncol. Sedangkan yang lain hanya melewati (langsung). Tabel 4.2 adalah waktu yang digunakan sebagai kereta acuan dimana memiliki total waktu perjalanan 5 jam 8 menit.

4.2 Alur Perjalanan Kereta Api

Prinsip utama dalam melakukan penjadwalan adalah seluruh kereta memiliki aturan dasar yang sama dalam melewati suatu lintasan. Aturan dasar tersebut adalah setiap kereta harus memastikan tidak ada kereta pada satu stasiun di depan dan dibelakangnya. Berikut adalah alur perjalanan kereta api yang berlaku di Indonesia.



Gambar 4.1 Flowchart Perjalanan Kereta Api

Alur perjalanan kereta api sesuai pada Gambar 4.1 menjelaskan bahwa setiap kereta yang akan melintasi sebuah lintasan harus memastikan kondisi di stasiun depan dan belakangnya telah aman. Sebagai contoh kereta penumpang Z berangkat dari stasiun X, maka kereta penumpang Z harus memastikan kondisi di lintasan di stasiun belakangnya (X-1) dan lintasan menuju stasiun di depannya (X+1) telah aman. Apabila masih terdapat kereta Y yang melakukan perjalanan di lintasan depan maka kereta penumpang Z harus menunggu kereta Y hingga sampai di stasiun berikutnya (X+1). Apabila kereta Y telah sampai di stasiun (X+1), maka harus dipastikan terlebih dahulu kelas dari kereta Y. Apabila kereta Y adalah kereta barang, maka kereta Y harus berhenti di stasiun (X+1) dan kereta penumpang Z diperbolehkan untuk berjalan dan melakukan penyalipan. Apabila kereta Y adalah kereta penumpang, maka kereta Y diperbolehkan untuk terus berjalan, dan kereta Z harus memastikan apakah stasiun (X+1) sudah aman. Apabila kereta Y sudah melewati, maka kereta Z boleh melewatinya.

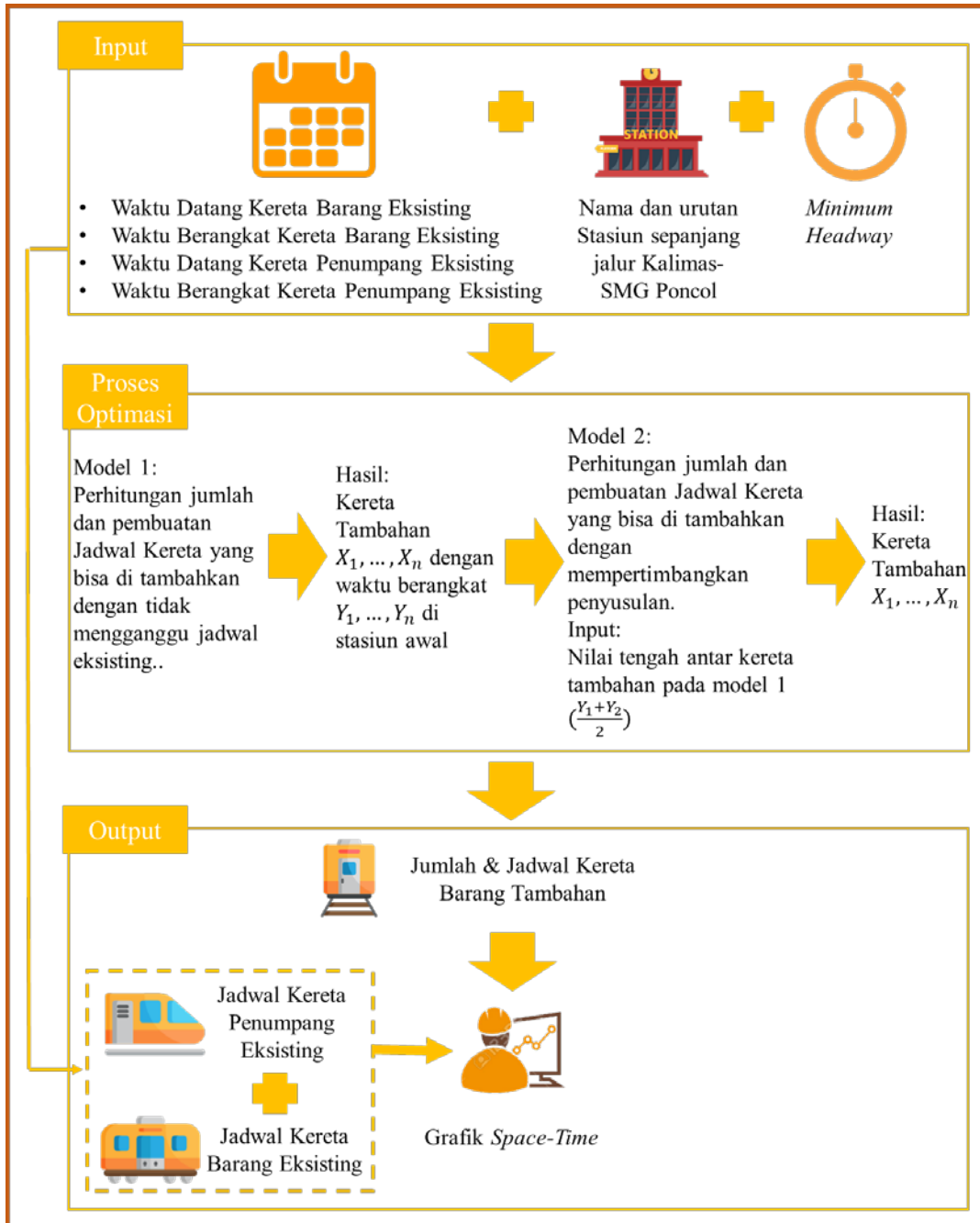
Contoh lain apabila kereta Z adalah kereta barang. Kereta barang adalah kereta dengan kelas paling rendah. Sehingga dalam setiap perjalanannya harus menunggu kereta penumpang untuk melakukan penyalipan. Kereta Z boleh melakukan perjalanan apabila telah memastikan bahwa di stasiun depan dan belakangnya memang benar-benar kosong.

4.3 Pengembangan Model Konseptual

Pada sub bab ini akan dilakukan pengembangan model konseptual agar terbangun kerangka model yang sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai. Menurut Restyandito (2010) tujuan dilakukannya pengembangan model konseptual adalah untuk membangun sebuah model sesuai dengan keinginan pengguna sistem dengan saling berinteraksi dengan *system image*.

Berdasarkan Gambar 4.2 menunjukkan permasalahan pada penelitian ini membutuhkan *input* waktu berangkat kereta penumpang eksisting, waktu datang kereta penumpang eksisting, waktu berangkat kereta barang eksisting, waktu datang kereta barang eksisting, stasiun sepanjang jalur Surabaya Kalimas – Semarang Poncol serta waktu *minimum headway*. *Input* ini diolah sesuai dengan *objective* yang ingin dicapai sehingga hasil yang didapatkan adalah jumlah beserta jadwal kereta baru yang terdiri dari jadwal kereta eksisting dan jadwal kereta barang tambahan. Adapun pada penelitian ini dibagi menjadi 2 model yang sama – sama memiliki tujuan untuk menentukan jumlah beserta jadwal kereta tambahan. Model 1 memiliki batasan agar kereta tambahan tidak melanggar jadwal eksisting. Jadwal hasil dari model 1 pada stasiun awal, di ambil nilai tengahnya untuk dijadikan input pada model 2. Pada model 2 akan memeriksa kembali apakah terdapat *slot* yang dapat disisipkan. Apabila masih dapat disisipkan namun mengganggu jadwal kereta eksisting

dan kereta tambahan pada model 1, maka pada model 2 diperbolehkan adanya penyusulan oleh kereta eksisting. Sehingga dari model 1 dan model 2 dapat dihasilkan jumlah jadwal kereta yang benar – benar memaksimalkan kapasitas lintasan kereta api.



Gambar 4.2 Model Konseptual Permasalahan Penelitian

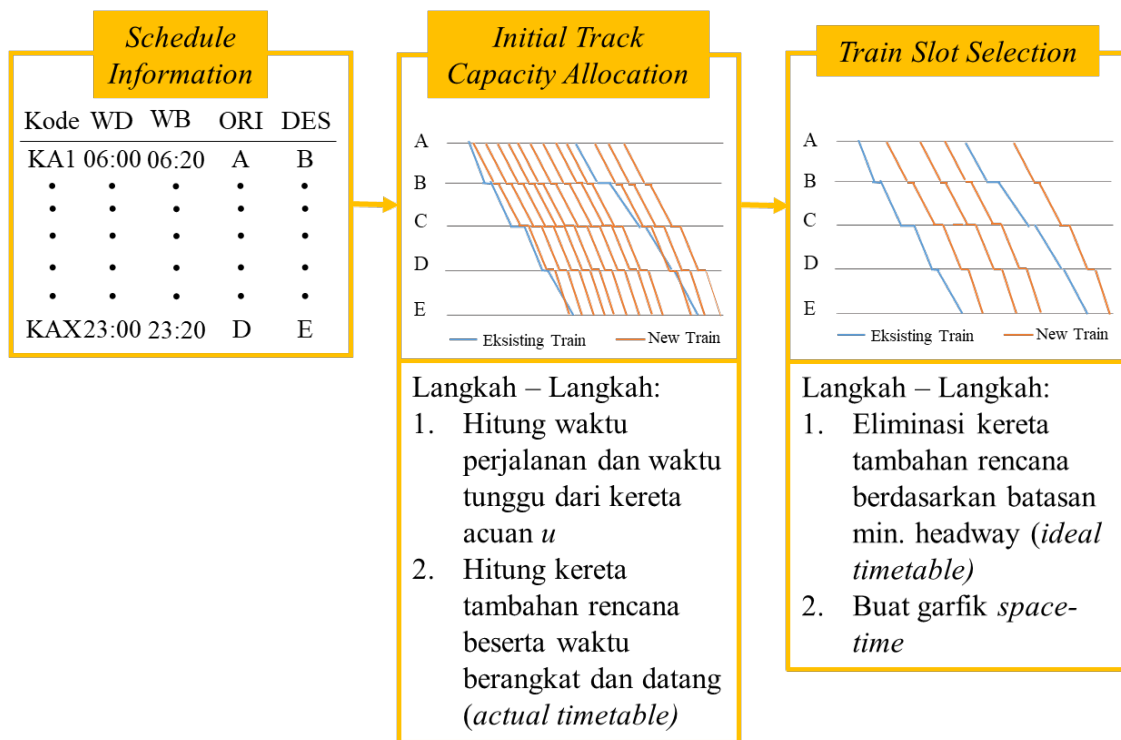
4.4 Pembuatan Model Matematis

Pada sub bab ini akan dijelaskan pengembangan model matematis beserta penjelasannya untuk setiap langkah dalam mendapatkan tujuan penelitian ini.

4.4.1 Pembuatan Model 1

Model *trainslot* yang dikembangkan pada penelitian ini berdasarkan pada model pada penelitian Kuo et al., (2010). Gambaran umum teknik *trainslot* pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.3.

Gambar 4.3 menjelaskan gambaran umum teknik pengembangan *trainslot* yang digunakan pada penelitian ini. Dimulai dari Petak 1 merupakan informasi jadwal kereta eksisting baik kereta penumpang dan kereta barang pada jalur SBY – SMG untuk setiap stasiun besar dan kecil. Pada Petak 2 merupakan langkah pembuatan jadwal kereta tambahan rencana dengan memperhatikan jadwal eksisting dan *minimum headway*. Petak 3 adalah proses eliminasi kereta tambahan rencana yang melanggar batasan – batasan yang telah ditentukan.



Gambar 4.3 Overview Teknik Trainslot Pengembangan Penelitian

Setelah dilakukan eliminasi atau pemilihan jadwal kereta tambahan rencana yang tidak melanggar batasan, langkah selanjutnya adalah menggambarkan jadwal kereta eksisting dan jadwal kereta barang tambahan pada grafik *space-time*. Berikut merupakan notasi dan model matematis untuk penelitian ini.

Indeks :

u = indeks dari kereta acuan

v = indeks dari stasiun

- x = indeks dari kereta tambahan rencana
 y = indeks dari kereta barang eksisting yang akan disisipkan

Parameter:

- \hat{V} = banyaknya stasiun
 \hat{X} = Banyaknya kereta tambahan rencana dari kereta eksisting e_y hingga kereta $e_{\hat{Y}}$
 \hat{Y} = banyaknya kereta barang eksisting yang akan disisipkan
 a_u = kereta acuan ke- u , dimana $u = 1$
 s_v = stasiun ke- v , dimana $\forall v \in \hat{V}$
 c_x = kereta tambahan rencana ke- x , dimana $\forall x \in \hat{X}$
 e_y = kereta barang eksisting ke- y yang akan disisipkan, dimana $\forall y \in \hat{Y}$
 \hat{Z} = banyaknya kereta tambahan valid
 h = *minimum headway*
 $M_{(c_x)(s_v)}$ = Nilai kereta tambahan rencana x di stasiun v , $\{0,1\}$
 $M_{(c_x)}$ = Nilai kereta tambahan rencana x , $\{0,1\}$
 $WD_{(a_u)(s_v)}$ = Waktu Datang kereta acuan a_u di stasiun s_v
 $WB_{(a_u)(s_v)}$ = Waktu Berangkat kereta acuan a_u di stasiun s_v
 $WD_{(e_y)(s_v)}$ = Waktu Datang kereta eksisting e_y di stasiun s_v
 $WB_{(e_y)(s_v)}$ = Waktu Berangkat kereta eksisting e_y di stasiun s_v

Variabel Keputusan:

- $WP_{(a_u)(s_v, s_{v+1})}$ = Waktu Perjalanan kereta acuan a_u dari stasiun s_v ke s_{v+1}
 $WT_{(a_u)(s_v)}$ = Waktu Tunggu kereta acuan a_u di stasiun s_v
 $X_{(e_y, e_{y+1})(s_v)}$ = Banyaknya kereta tambahan rencana diantara jadwal kereta eksisting y dengan kereta $y + 1$
 $WB_{(c_x)(e_y, e_{y+1})(s_v)}$ = Waktu Berangkat kereta tambahan rencana x diantara jadwal kereta eksisting y dengan kereta $y + 1$ di stasiun v
 $WD_{(c_x)(e_y, e_{y+1})(s_v)}$ = Waktu Datang kereta tambahan rencana x diantara jadwal kereta eksisting y dengan kereta $y + 1$ di stasiun v
 \hat{M} = Banyaknya kereta tambahan valid yang tidak melanggar batasan *headway*

Langkah 1: Hitung waktu perjalanan dari kereta acuan a_u di setiap stasiun s_v

Objective Function:

$$\text{Min } WP_{(a_u)(s_v, s_{v+1})} \quad (4.1)$$

Subject To:

$$WP_{(a_u)(s_v, s_{v+1})} = \frac{(WD_{(e_1)(s_{v+1})} - WB_{(e_1)(s_v)}) + \dots + (WD_{(e_{\hat{Y}})(s_{v+1})} - WB_{(e_{\hat{Y}})(s_v)})}{\hat{Y}}$$

$$a = 1; \forall v \in \hat{V}; \forall y \in \hat{Y} \quad (4.2)$$

Langkah 2: Hitung waktu tunggu dari kereta acuan a_u di setiap stasiun s_v .

Objective Function:

$$\text{Min } WT_{(a_u)(s_v)} \quad (4.3)$$

Subject To:

$$WT_{(a_u)(s_v)} = \frac{(WB_{(e_1)(s_v)} - WD_{(e_1)(s_v)}) + \dots + (WB_{(e_{\hat{Y}})(s_v)} - WD_{(e_{\hat{Y}})(s_v)})}{\hat{Y}}$$

$$u = 1; v = 2, 3, \dots, \hat{V}; \forall y \in \hat{Y} \quad (4.4)$$

Ulangi langkah ke 1 dan 2 hingga waktu perjalanan dan waktu tunggu kereta acuan a_u didapatkan untuk seluruh stasiun s_v dimana $\forall v \in \hat{V}$.

Langkah 3: Hitung banyaknya kereta tambahan rencana di antara kereta eksisting e_y dengan kereta eksisting e_{y+1} di stasiun awal.

Objective Function:

$$\text{Max } X_{(e_y, e_{y+1})(s_v)} \quad (4.5)$$

Subject To:

$$WB_{(e_y)(s_v)} + (x)(h) < WB_{(e_{y+1})(s_v)} \quad v = 1; \forall y \in \hat{Y} \quad (4.6)$$

$$x = X_{(e_y, e_{y+1})(s_v)} \quad (4.7)$$

$X_{(e_y, e_{y+1})(s_v)}$ integer

Langkah 4: Hitung banyaknya kereta tambahan rencana dari kereta eksisting e_y hingga kereta $e_{\hat{Y}}$

Objective Function:

$$\text{Max } \hat{X} \quad (4.8)$$

Subject To:

$$\hat{X} = X_{(e_y, e_{y+1})(s_v)} + X_{(e_{y+1}, e_{y+2})(s_v)} + \dots + X_{(e_{\hat{Y}-1}, e_{\hat{Y}})(s_v)} \quad v = 1; \forall y \in \hat{Y} \quad (4.9)$$

$$\hat{X} \geq 1, \text{ dan integer} \quad (4.10)$$

Langkah 5: Hitung waktu berangkat kereta tambahan rencana c_x di stasiun awal

Objective Function:

$$\text{Min } WB_{(c_x)(e_y, e_{y+1})(s_v)} \quad (4.11)$$

Subject To:

$$WB_{(c_x)(e_y, e_{y+1})(s_v)} = WB_{(e_y)(s_v)} + (x) \cdot (h)$$

$$v = 1; y \in \hat{Y}; x = 1, 2, \dots, X_{(e_y, e_{y+1})(s_v)} \quad (4.12)$$

Langkah 6: Hitung waktu datang kereta tambahan rencana c_x di setiap stasiun s_v

Objective Function:

$$\text{Min } WD_{(c_x)(e_y, e_{y+1})(s_v)} \quad (4.13)$$

Subject To:

$$WD_{(c_x)(e_y, e_{y+1})(s_v)} = WB_{(c_x)(e_y, e_{y+1})(s_{v-1})} + WP_{(a_u)(s_{v-1}, s_v)}$$

$$u = 1; v = 2, 3, \dots, \hat{V}; \forall y \in \hat{Y}; \forall x \in \hat{X} \quad (4.14)$$

Langkah 7: Hitung waktu berangkat kereta tambahan rencana c_x di setiap stasiun s_v

Objective Function:

$$\text{Min } WB_{(c_x)(e_y, e_{y+1})(s_v)} \quad (4.15)$$

Subject To:

$$WB_{(c_x)(e_y, e_{y+1})(s_v)} = WD_{(c_x)(e_y, e_{y+1})(s_v)} + WT_{(a_u)(s_v)}$$

$$u = 1; v = 2, 3, \dots, \hat{V}; \forall y \in \hat{Y}; \forall x \in \hat{X} \quad (4.16)$$

Ulangi langkah ke 5 dan 6 hingga jadwal keberangkatan dan kedatangan untuk seluruh kereta tambahan rencana c_x di dapatkan untuk seluruh stasiun s_v dimana $\forall v \in \hat{V}$.

Langkah 8: Evaluasi kereta tambahan rencana berdasarkan batasan *min.headway*

$$WD_{(e_y)(s_v)} + h \leq WD_{(c_x)(e_y, e_{y+1})(s_v)} \quad \forall v \in \hat{V}; \forall y \in \hat{Y}; \forall x \in \hat{X} \quad (4.17)$$

$$WD_{(c_x)(e_y, e_{y+1})(s_v)} \leq WD_{(e_{y+1})(s_v)} - h \quad \forall v \in \hat{V}; \forall y \in \hat{Y}; \forall x \in \hat{X} \quad (4.18)$$

$$WB_{(e_y)(s_v)} + h \leq WB_{(c_x)(e_y, e_{y+1})(s_v)} \quad \forall v \in \hat{V}; \forall y \in \hat{Y}; \forall x \in \hat{X} \quad (4.19)$$

$$WB_{(c_x)(e_y, e_{y+1})(s_v)} \leq WB_{(e_{y+1})(s_v)} - h \quad \forall v \in \hat{V}; \forall y \in \hat{Y}; \forall x \in \hat{X} \quad (4.20)$$

Langkah 9: Menentukan Banyaknya kereta tambahan valid dari kereta eksisting e_y hingga kereta $e_{\hat{Y}}$

Decision Variable:

$$M_{c_x(WD_{(e_y)}(s_v))} \begin{cases} 1 & \text{Jika Batasan 4.17 Terpenuhi} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$$

$$M_{c_x(WD_{(e_{y+1})}(s_v))} \begin{cases} 1 & \text{Jika Batasan 4.18 Terpenuhi} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$$

$$M_{c_x(WB_{(e_y)}(s_v))} \begin{cases} 1 & \text{Jika Batasan 4.19 Terpenuhi} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$$

$$M_{c_x(WB_{(e_{y+1})}(s_v))} \begin{cases} 1 & \text{Jika Batasan 4.20 Terpenuhi} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$$

Objective:

$$\text{Max } \hat{M} \quad (4.21)$$

Subject to:

$$M_{(c_x)(s_v)} = \left(M_{c_x(WD_{(e_y)}(s_v))} \right) \left(M_{c_x(WD_{(e_{y+1})}(s_v))} \right) \left(M_{c_x(WB_{(e_y)}(s_v))} \right) \left(M_{c_x(WB_{(e_{y+1})}(s_v))} \right) \\ \forall v \in \hat{V}; \forall x \in \hat{X}; M_{c_x(s_v)} = \{0,1\} \quad (4.22)$$

$$M_{(c_x)} = \left(M_{c_x(s_v)} \right) \left(M_{c_x(s_{v+1})} \right) \left(M_{c_x(s_{v+2})} \right) \dots \left(M_{c_x(s_{\hat{V}})} \right) \\ \forall v \in \hat{V}; \forall x \in \hat{X}; M_x = \{0,1\} \quad (4.23)$$

$$\hat{M} = \left(M_{c_x} \right) + \left(M_{c_{x+1}} \right) + \left(M_{c_{x+2}} \right) + \dots + \left(M_{c_{\hat{X}}} \right) \quad (4.24)$$

$$\hat{M} \geq 1, \text{ dan integer} \quad (4.25)$$

Langkah 10: Buat *trainslot* pada grafik *space-time*

- Rekap jadwal kereta eksisting dengan jadwal kereta tambahan yang valid.
- Pilih jadwal terawal, buat *departure arc*, *movement arc*, *processing arc* dan *arrival arc* berdasarkan seluruh stasiun dan waktu yang telah dihitung.
- Pilih jadwal selanjutnya, lakukan hal yang sama hingga seluruh jadwal tergambar.

Langkah pertama pada kasus 1 adalah menentukan waktu perjalanan dari kereta acuan a_u di setiap stasiun s_v . Tujuan (4.1) adalah meminimasi waktu perjalanan kereta acuan a_u di setiap stasiun s_v dimana $\{v = 1, 2, \dots, \hat{V}\}$. Dimana waktu perjalanan (4.2) merupakan rata – rata dari seluruh waktu datang kereta eksisting $\{y = 1, 2, \dots, \hat{Y}\}$ di stasiun (s_{v+1}) dikurangi waktu berangkat kereta eksisting $\{y = 1, 2, \dots, \hat{Y}\}$ di stasiun s_v . Langkah kedua adalah menentukan waktu tunggu dari kereta acuan a_u di setiap stasiun s_v . Tujuan (4.3) adalah menghitung waktu tunggu kereta acuan a_u di setiap stasiun s_v dimana $\{v = 1, 2, \dots, \hat{V}\}$. Waktu tunggu (4.4) merupakan rata – rata dari seluruh waktu berangkat kereta eksisting $\{y = 1, 2, \dots, \hat{Y}\}$ di stasiun (s_v) dikurangi waktu

datang kereta eksisting $\{y = 1, 2, \dots, \hat{Y}\}$ di stasiun (s_v) . Ulangi langkah ke 1 dan 2 hingga waktu perjalanan dan waktu tunggu kereta acuan a_u didapatkan untuk seluruh stasiun $s_v \{v = 1, 2, \dots, \hat{V}\}$

Langkah selanjutnya adalah menentukan banyaknya kereta tambahan rencana di antara kereta eksisting e_y dengan kereta eksisting e_{y+1} di stasiun awal. Tujuan (4.5) adalah memaksimalkan banyaknya kereta tambahan rencana di antara kereta eksisting e_y dengan kereta e_{y+1} di stasiun s_v dimana $(v = 1)$. Batasan (4.6) memastikan bahwa banyaknya kereta tambahan rencana c_x tidak boleh melebihi batas waktu berangkat kereta eksisting e_{y+1} . Batasan (4.7) merupakan ketentuan hasil dari $X_{(e_y, e_{y+1})(s_v)}$ adalah bilangan integer dan lebih dari sama dengan 1. Setelah didapatkan banyaknya kereta tambahan rencana, langkah selanjutnya adalah menentukan banyaknya kereta tambahan rencana dari kereta eksisting e_y hingga kereta $e_{\hat{Y}}$. Tujuan (4.8) adalah memaksimalkan banyaknya kereta tambahan rencana dari kereta eksisting e_y hingga kereta $e_{\hat{Y}}$. Dimana batasan (4.9) digunakan untuk menentukan nilai \hat{X} yaitu penjumlahan dari $X_{(e_y, e_{y+1})(s_v)}$ diseluruh jadwal eksisting e_y dimana $\forall y \in \hat{Y}$. Batasan (4.10) menjamin bahwa nilai \hat{X} adalah bilangan bulat dan nilainya lebih besar sama dengan 1.

Langkah 5 adalah menentukan waktu berangkat kereta tambahan rencana c_x di stasiun awal. Tujuan (4.11) adalah minimasi waktu berangkat kereta tambahan rencana c_x di antara kereta eksisting e_y dengan kereta e_{y+1} di stasiun s_v dimana $(v = 1)$ dan $x \in \hat{X}$. Untuk mendapatkan $WB_{(c_x)(e_y, e_{y+1})(s_v)}$ (4.12) adalah dengan menjumlahkan waktu berangkat kereta eksisting e_y di stasiun s_v dengan *minimum headway* yang dikali dengan indeks dari kereta tambahan rencana. Langkah ini dilakukan untuk seluruh waktu berangkat kereta tambahan rencana c_x yang didapatkan.

Langkah selanjutnya adalah menentukan waktu datang kereta tambahan rencana c_x di setiap stasiun s_v . Tujuan (4.13) adalah minimasi waktu datang kereta tambahan rencana c_x di antara kereta eksisting e_y dengan kereta e_{y+1} di stasiun s_v dimana $\{v = 2, 3, \dots, \hat{V}\}$ dan $x \in \hat{X}$. Batasan (4.14) memastikan bahwa $WD_{(c_x)(e_y, e_{y+1})(s_v)}$ didapatkan dari penjumlahan antara waktu berangkat kereta tambahan rencana c_x di stasiun s_{v-1} dengan waktu perjalanan kereta acuan a_u dari stasiun s_{v-1} menuju stasiun s_v . Langkah ke 7 adalah menentukan waktu berangkat kereta tambahan rencana c_x di setiap stasiun s_v . Tujuan (4.15) adalah minimasi waktu berangkat kereta tambahan rencana c_x di antara kereta eksisting e_y dengan kereta e_{y+1} di stasiun s_v dimana $\{v = 2, 3, \dots, \hat{V}\}$ dan $x \in \hat{X}$. Sedangkan batasan (4.16) menjamin $WB_{(c_x)(e_y, e_{y+1})(s_v)}$ didapatkan dari waktu datang kereta tambahan rencana c_x di stasiun s_v yang ditambah dengan waktu tunggu kereta

acuan a_u di stasiun s_v . Ulangi langkah ke 5 dan 6 hingga jadwal keberangkatan dan kedatangan untuk seluruh kereta tambahan rencana c_x di dapatkan untuk seluruh stasiun s_v dimana $\forall v \in \hat{V}$.

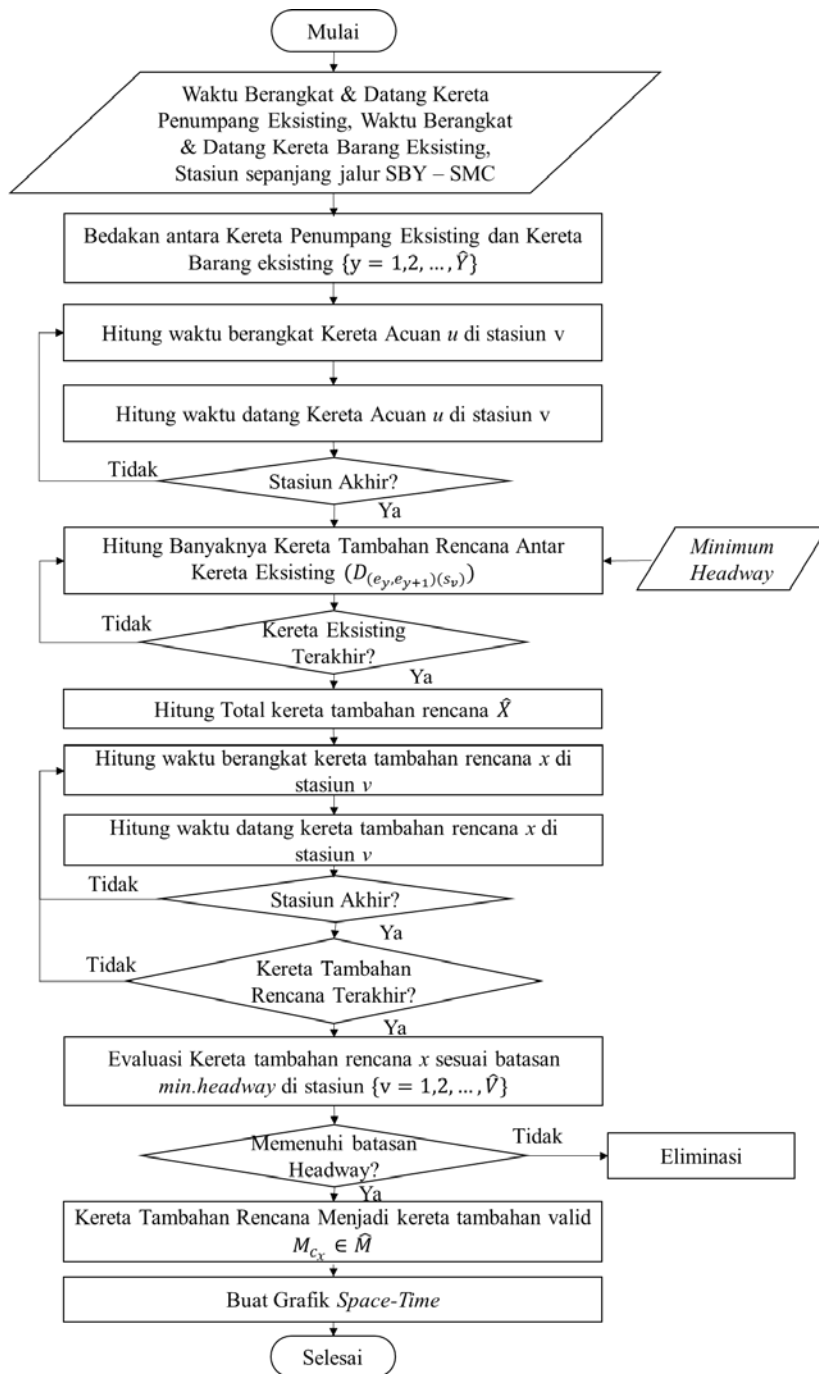
Langkah ke 8 pada penelitian ini adalah evaluasi kereta tambahan rencana berdasarkan batasan *minimum headway*. Batasan (4.17) merupakan ketentuan bahwa waktu datang kereta eksisting e_y yang ditambah dengan *minimum headway* tidak boleh melebihi waktu datang kereta tambahan rencana c_x . Batasan (4.18) merupakan ketentuan bahwa waktu datang kereta tambahan rencana c_x tidak boleh melebihi waktu datang kereta eksisting e_{y+1} yang dikurangi *minimum headway*. Sedangkan batasan (4.19) dan (4.20) berlaku untuk batasan waktu keberangkatan.

Langkah selanjutnya adalah menentukan banyaknya kereta tambahan rencana dari kereta eksisting e_y hingga kereta e_p . Berikan nilai 1 atau 0 berdasarkan ketentuan yang telah ditentukan. Fungsi tujuan (4.21) adalah memaksimal banyaknya kereta tambahan valid yang tidak melanggar batasan *headway*. Batasan (4.22) menjamin bahwa nilai $M_{x(s_v)}$ merupakan perkalian nilai kereta tambahan rencana x di stasiun v pada waktu berangkat dan datang. Batasan (4.23) menjamin bahwa nilai kereta tambahan rencana x di seluruh stasiun v merupakan perkalian antara nilai kereta tambahan rencana x dari stasiun v hingga \hat{V} . Batasan (4.24) menjamin bahwa nilai \hat{M} merupakan penjumlahan nilai kereta tambahan rencana x hingga \hat{X} . Batasan (4.25) menjamin agar nilai \hat{M} adalah bilangan bulat dan lebih besar sama dengan 1.

Langkah terakhir adalah merekap kembali jadwal eksisting dengan jadwal kereta tambahan yang valid kemudian memetakannya pada grafik *space-time* yang telah di contohkan pada penelitian sebelumnya.

4.4.2 Flowchart Model 1

Pembuatan *flowchart* bertujuan untuk menentukan logika berfikir sehingga dapat mempermudah dalam pembuatan perintah pada *software*. *Flowchart* logika berpikir pembuatan alat bantu pengambilan keputusan untuk kasus pertama dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.4 *Flowchart* Pembuatan Model 1

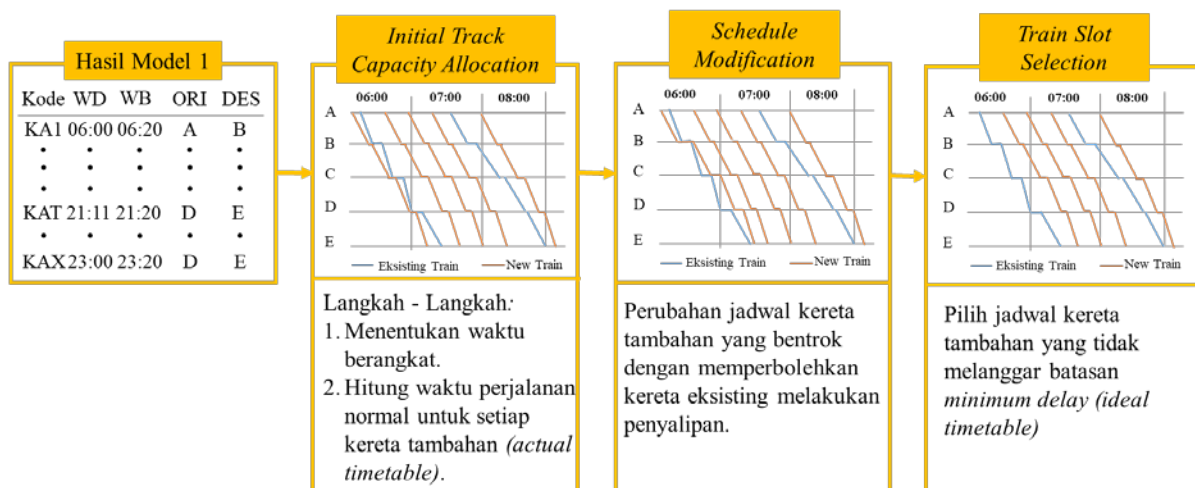
Pengerjaan model pertama dimulai dengan menyiapkan data - data masukkan pada perhitungan matematis dan aplikasi. Data tersebut adalah waktu berangkat kereta penumpang eksisting, waktu datang kereta penumpang eksisting, waktu berangkat kereta barang eksisting, waktu datang kereta barang eksisting, stasiun sepanjang jalur Surabaya Kalimas – Semarang Poncol serta waktu *minimum headway*. Langkah pertama adalah membedakan kereta penumpang dan kereta barang, hal ini harus dilakukan karena hanya kereta barang yang dapat disisipkan

jadwal. Langkah selanjutnya adalah menghitung waktu berangkat dan waktu datang kereta acuan dari stasiun awal hingga stasiun akhir. Kereta acuan ini yang akan ditiru waktu perjalanannya untuk kereta tambahan rencana.

Langkah selanjutnya adalah menghitung banyaknya kereta tambahan rencana dari kereta eksisting 1 hingga kereta eksisting akhir. Jumlahkan kereta tambahan rencana hingga didapatkan total kereta tambahan rencana \hat{X} . Masing – masing kereta tambahan rencana x harus dihitung waktu berangkat dan waktu datang di setiap stasiun. Kemudian di evaluasi apakah melanggar batasan *headway* atau tidak. Jika melanggar batasan, maka kereta rencana tersebut harus di eliminasi. Sedangkan jika tidak melanggar batasan maka kereta rencana menjadi kereta valid. Langkah terakhir adalah menggambarkan grafik *space time* yang terdiri dari jadwal kereta eksisting dan kereta tambahan.

4.4.3 Pembuatan Model 2

Hasil kereta tambahan pada model 1 menjadi masukkan pada model 2. Dimana pada model ini akan mencoba mencari kembali jadwal kereta yang masih kosong dengan memperbolehkan adanya penyalipan pada kereta eksisting menggunakan *overtaking strategy* seperti yang telah dijelaskan pada sub bab 2.3.3. Gambaran umum langkah pengerjaan model 2 dapat dilihat pada Gambar 4.5. Pada model 2 dimulai dari masukkan jadwal keberangkatan hasil dari model 1. Langkah selanjutnya adalah menghitung waktu perjalanan normal untuk setiap kereta tambahan, apabila terjadi bentrok maka dilakukan *overtaking strategy* yaitu mengharuskan kereta barang tambahan untuk berhenti di stasiun terdekat dan membiarkan kereta penumpang melewatinya. Barulah kereta barang tambahan diperbolehkan untuk melanjutkan perjalanan.



Gambar 4.5 Gambaran Umum Penambahan Kereta pada Model 2

Kereta tambahan tersebut akan dievaluasi berdasarkan total waktu perjalanannya. Apabila melebihi batas total waktu perjalanan yang telah ditentukan, maka jadwal tersebut harus dieliminasi, dan sebaliknya. Kereta tambahan yang valid akan digambarkan pada grafik *space-time* bersama dengan jadwal kereta eksisting dan kereta tambahan hasil dari model 1.

Indeks:

- u = indeks dari kereta acuan
- v = indeks dari stasiun
- x = indeks dari kereta tambahan rencana
- y = indeks dari kereta barang eksisting yang akan disisipkan
- i = indeks dari target waktu di stasiun awal
- j = indeks dari kereta dengan waktu keberangkatan normal
- b = indeks dari kereta valid yang tidak melanggar batasan *headway*
- q = indeks dari kereta yang melanggar batasan *headway* di stasiun v

Parameter:

- a_u = kereta acuan ke- u , dimana $u = 1$
- \hat{V} = banyaknya stasiun
- \hat{X} = Banyaknya kereta tambahan rencana dari kereta eksisting e_y hingga kereta $e_{\hat{Y}}$
- \hat{Y} = banyaknya kereta barang eksisting yang akan disisipkan
- s_v = stasiun ke- v , dimana $v = 1, 2, \dots, \hat{V}$
- c_x = kereta tambahan rencana ke- x , dimana $x = 1, 2, \dots, \hat{X}$
- e_y = kereta barang eksisting ke- y yang akan disisipkan, dimana $y = 1, 2, \dots, \hat{Y}$
- k_b = kereta valid ke- b yang tidak melanggar batasan *headway*, dimana $b = 1, 2, \dots, \hat{B}$
- f_q = kereta dengan waktu berangkat yang dijadwalkan ulang ke- q di stasiun v , dimana $q = 1, 2, \dots, \hat{Q}$
- h = *minimum headway*
- $WD_{(r_i)}$ = Waktu Datang kereta target ke- i di stasiun awal s_1 , dimana $i = 1, 2, \dots, \hat{I}$
- $WD_{(a_u)(s_v)}$ = Waktu Datang kereta acuan a_u di stasiun s_v
- $WB_{(a_u)(s_v)}$ = Waktu Berangkat kereta acuan a_u di stasiun s_v
- $WD_{(e_y)(s_v)}$ = Waktu Datang kereta eksisting e_y di stasiun s_v
- $WB_{(e_y)(s_v)}$ = Waktu Berangkat kereta eksisting e_y di stasiun s_v

Variabel Keputusan:

$WB_{(r_i)(s_v)}$ = Waktu Berangkat kereta dengan target waktu r_i di stasiun s_v

$WD_{(r_i)(s_v)}$ = Waktu Datang kereta dengan target waktu r_i di stasiun s_v

$WB_{(f_q)(r_i)(s_v)}$ = Waktu Berangkat kereta f_q dari target waktu r_i di stasiun s_v

$WD_{(f_q)(r_i)(s_v)}$ = Waktu Datang kereta f_q dari target waktu r_i di stasiun s_v

Langkah 1: Masukkan hasil model 1 sebagai input

Langkah 2: Masukkan $WB_{(r_i)(s_v)}$ di stasiun awal s_1

Langkah 3: Menentukan waktu datang kereta r_i di setiap stasiun s_v

Objective Function:

$$\text{Min } WD_{(r_i)(s_v)} \quad (4.26)$$

Subject to:

$$WD_{(r_i)(s_v)} = WB_{(r_i)(s_{v-1})} + WP_{(a_u)(s_{v-1}, s_v)} \quad \forall v \in \hat{V}; \forall i \in \hat{I} \quad (4.27)$$

Langkah 4: Menentukan waktu berangkat kereta r_i di setiap stasiun s_v

Objective Function:

$$\text{Min } WB_{(r_i)(s_v)} \quad (4.28)$$

Subject to:

$$WB_{(r_i)(s_v)} = WD_{(r_i)(s_v)} + WT_{(a_u)(s_v)} \quad \forall v \in \hat{V}; \forall i \in \hat{I} \quad (4.29)$$

Lakukan langkah 3 dan 4 terus menerus hingga di dapatkan waktu keberangkatan dan kedatangan di stasiun akhir \hat{V} .

Langkah 5: Evaluasi kereta r_i berdasarkan batasan *min.headway*

Decision Variable:

$$M_{r_i(WB_{(e_y)(s_v)})} \begin{cases} 1 & \text{Jika Batasan 4.30 Terpenuhi} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$$

$$M_{r_i(WB_{(e_{y+1})(s_v)})} \begin{cases} 1 & \text{Jika Batasan 4.31 Terpenuhi} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$$

$$M_{r_i(WD_{(e_y)(s_v)})} \begin{cases} 1 & \text{Jika Batasan 4.32 Terpenuhi} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$$

$$M_{r_i(WD_{(e_{y+1})(s_v)})} \begin{cases} 1 & \text{Jika Batasan 4.33 Terpenuhi} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$$

$$WB_{(e_y)(s_v)} + h \leq WB_{(r_i)(s_v)} \quad \forall v \in \hat{V}; \forall i \in \hat{I}; \forall y \in \hat{Y} \quad (4.30)$$

$$WB_{(r_i)(s_v)} \leq WB_{(e_{y+1})(s_v)} - h \quad \forall v \in \hat{V}; \forall i \in \hat{I}; \forall y \in \hat{Y} \quad (4.31)$$

$$WD_{(e_y)(s_v)} + h \leq WD_{(r_i)(s_v)} \quad \forall v \in \hat{V}; \forall i \in \hat{I}; \forall y \in \hat{Y} \quad (4.32)$$

$$WD_{(r_i)(s_v)} \leq WD_{(e_{y+1})(s_v)} - h \quad \forall v \in \hat{V}; \forall i \in \hat{I}; \forall y \in \hat{Y} \quad (4.33)$$

Misal: Jika $M_{r_i(WB_{(e_y)(s_v)})} = 0$ atau $M_{r_i(WD_{(e_y)(s_v)})} = 0$ a (tidak memenuhi batasan) maka notasi kereta dengan target waktu menjadi f_q yang harus berhenti di stasiun tersebut dan menunggu hingga kereta e_y atau e_{y+1} melewatinya. Sehingga waktu berangkat kereta f_q menjadi:

Langkah 6a: Menentukan waktu berangkat kereta f_q di stasiun s_v yang melanggar batasan 4.30 dan 4.32

Objective Function:

$$\text{Min } WB_{(f_q)(r_i)(s_v)} \quad (4.34)$$

Subject to:

$$WB_{(f_q)(r_i)(s_v)} = WB_{(e_y)(s_v)} + h \quad \forall q \in \hat{Q} \quad (4.35)$$

Langkah 6b: Menentukan waktu berangkat kereta f_q di stasiun s_v yang melanggar batasan 4.31 dan 4.33

Objective Function:

$$\text{Min } WB_{(f_q)(r_i)(s_v)} \quad (4.36)$$

Subject to:

$$WB_{(f_q)(r_i)(s_v)} = WB_{(e_{y+1})(s_v)} + h \quad \forall q \in \hat{Q} \quad (4.37)$$

Langkah 7: Menentukan waktu datang kereta f_q di stasiun s_v yang melanggar batasan 4.30-4.33

Objective Function:

$$\text{Min } WD_{(f_q)(r_i)(s_v)} \quad (4.38)$$

Subject to:

$$WD_{(f_q)(r_i)(s_v)} = WB_{(f_q)(r_i)(s_v)} - WT_{(a_u)(s_v)} \quad \forall q \in \hat{Q} \quad (4.39)$$

Langkah 8: Menentukan waktu berangkat kereta f_q di stasiun s_{v-1} yang melanggar batasan 4.30-4.33

Objective Function:

$$\text{Min } WB_{(f_q)(r_i)(s_{v-1})} \quad (4.40)$$

Subject to:

$$WB_{(f_q)(r_i)(s_{v-1})} = WD_{(f_q)(r_i)(s_v)} - WP_{(a_u)(s_{v-1},s_v)} \quad \forall q \in \hat{Q} \quad (4.41)$$

Langkah 9: Menentukan waktu datang kereta f_q di setiap stasiun s_v

Objective Function:

$$\text{Min } WD_{(f_q)(r_i)(s_v)} \quad (4.42)$$

Subject to:

$$WD_{(f_q)(r_i)(s_v)} = WB_{(f_q)(r_i)(s_{v-1})} + WP_{(a_u)(s_{v-1}, s_v)} \quad \forall q \in \hat{Q}; \forall v \in \hat{V}; \forall i \in \hat{I}; u = 1 \quad (4.43)$$

Langkah 10: Menentukan waktu berangkat kereta f_q di setiap stasiun s_v

Objective Function:

$$\text{Min } WB_{(f_q)(r_i)(s_v)} \quad (4.44)$$

Subject to:

$$WB_{(f_q)(r_i)(s_v)} = WD_{(f_q)(r_i)(s_v)} + WT_{(a_u)(s_v)} \quad \forall q \in \hat{Q}; \forall v \in \hat{V}; \forall i \in \hat{I}; u = 1 \quad (4.45)$$

Lakukan langkah 9 dan 10 terus menerus hingga di dapatkan waktu keberangkatan dan kedatangan di stasiun akhir \hat{V} .

Langkah 11: Evaluasi kereta f_q berdasarkan batasan *min.headway*

Decision Variable:

$$M_{f_q(WB_{(e_y)(s_v)})} \begin{cases} 1 & \text{Jika Batasan 4.46 Terpenuhi} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$$

$$M_{f_q(WB_{(e_{y+1})(s_v)})} \begin{cases} 1 & \text{Jika Batasan 4.47 Terpenuhi} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$$

$$M_{f_q(WD_{(e_y)(s_v)})} \begin{cases} 1 & \text{Jika Batasan 4.48 Terpenuhi} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$$

$$M_{f_q(WD_{(e_{y+1})(s_v)})} \begin{cases} 1 & \text{Jika Batasan 4.49 Terpenuhi} \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases}$$

$$WB_{(e_y)(s_v)} + h \leq WB_{(f_q)(r_i)(s_v)} \quad \forall v \in \hat{V}; \forall i \in \hat{I}; \forall y \in \hat{Y} \quad (4.46)$$

$$WB_{(f_q)(r_i)(s_v)} \leq WB_{(e_{y+1})(s_v)} - h \quad \forall v \in \hat{V}; \forall i \in \hat{I}; \forall y \in \hat{Y} \quad (4.47)$$

$$WD_{(e_y)(s_v)} + h \leq WD_{(f_q)(r_i)(s_v)} \quad \forall v \in \hat{V}; \forall i \in \hat{I}; \forall y \in \hat{Y} \quad (4.48)$$

$$WB_{(f_q)(r_i)(s_v)} \leq WD_{(e_{y+1})(s_v)} - h \quad \forall v \in \hat{V}; \forall i \in \hat{I}; \forall y \in \hat{Y} \quad (4.49)$$

Misal: Jika $M_{f_q(WB_{(e_y)(s_v)})} = 0$ atau $M_{f_q(WD_{(e_y)(s_v)})} = 0$ (tidak memenuhi batasan) maka notasi kereta rencana menjadi f_{q+1} yang harus berhenti di stasiun v dan menunggu hingga kereta e_y atau e_{y+1} melewatinya. Sehingga waktu berangkat kereta $f_q + 1$ harus dihitung kembali seperti langkah 6 - 10 kemudian di evaluasi kembali seperti langkah 11. Ulangi ketiga langkah tersebut hingga didapatkan waktu datang di stasiun akhir \hat{V} . Kereta f_q yang telah dihitung waktu perjalanannya hingga stasiun akhir berubah notasinya menjadi kereta valid k_b yang kemudian dihitung total waktu perjalanannya.

Langkah 12: Hitung total waktu perjalanan kereta valid k_b .

Objective Function:

$$\text{Min } \sum_s (WP_{(k_b)(r_i)(s_v, s_{v+1})} + WT_{(k_b)(r_i)(s_v)}) \quad (4.50)$$

Subject To:

$$\begin{aligned} WP_{(k_b)(r_i)(s_v, s_{v+1})} &= WD_{(k_b)(r_i)(s_{v+1})} - WB_{(k_b)(r_i)(s_v)} \\ \forall b \in \hat{B}; b &= i; \forall v \in \hat{V}; \forall i \in \hat{I} \end{aligned} \quad (4.51)$$

$$\begin{aligned} WT_{(k_b)(r_i)(s_{v+1})} &= WB_{(k_b)(r_i)(s_{v+1})} - WD_{(k_b)(r_i)(s_{v+1})} \\ \forall b \in \hat{B}; b &= i; \forall v \in \hat{V}; \forall i \in \hat{I} \end{aligned} \quad (4.52)$$

Lakukan Langkah 2 sampai 9 untuk seluruh target waktu r_i yang telah ditentukan.

Langkah 13: Buat *trainslot* pada grafik *space-time*

- Rekap jadwal kereta hasil model 1 dan kereta tambahan dengan target.
- Pilih jadwal terawal, buat *departure arc*, *movement arc*, *processing arc* dan *arrival arc* berdasarkan seluruh stasiun dan waktu yang telah dihitung.
- Pilih jadwal selanjutnya, lakukan hal yang sama hingga seluruh jadwal tergambar.

Model ke 2 pada penelitian ini memiliki tujuan untuk mencoba mencari kembali jadwal kereta yang masih kosong dari hasil model 1 dengan memperbolehkan adanya penyalipan pada kereta eksisting. Langkah pertama adalah memasukkan hasil dari model 1 menjadi inputan. Kemudian memasukkan target waktu kedatangan di stasiun awal yang dinotasikan oleh r_i . Langkah ke 3 adalah menghitung waktu datang kereta r_i . Dimana tujuan (4.26) adalah meminimasi Waktu datang kereta i di stasiun v . Dimana (4.27) $WD_{(r_i)(s_v)}$ didapatkan dari penjumlahan antara Waktu berangkat kereta i di stasiun sebelumnya dengan Waktu perjalanan kereta acuan u dari stasiun $v - 1$ menuju stasiun sesudahnya.

Langkah 4 adalah menghitung waktu berangkat kereta r_i . Tujuan (4.28) adalah meminimasi Waktu Berangkat kereta i di stasiun v . Dimana (4.27) $WB_{(r_i)(s_v)}$ didapatkan dari penjumlahan antara Waktu Datang kereta i di stasiun v dengan Waktu tunggu kereta acuan u di stasiun v . Lakukan langkah 3 dan 4 terus menerus hingga di dapatkan waktu keberangkatan dan kedatangan di stasiun akhir.

Langkah selanjutnya adalah Evaluasi kereta r_i berdasarkan batasan *minimum headway*. Dimana batasan 4.30 – 4.33 menjamin bahwa waktu kedatangan dan waktu keberangkatan kereta i harus berada diantara jarak waktu keberangkatan kereta eksisting y dan kedatangan kereta $y+1$. Jika $M_{r_i(WB_{(e_y)(s_v)})} = 0$ atau $M_{r_i(WD_{(e_y)(s_v)})} = 0$ a (tidak memenuhi batasan) maka notasi kereta

dengan target waktu menjadi f_q yang harus berhenti di stasiun tersebut dan menunggu hingga kereta e_y atau e_{y+1} melewatinya.

Langkah ke 6 dibagi menjadi 2 pilihan yaitu menentukan waktu berangkat kereta f_q di jika melanggar batasan 4.30 dan 4.32 (langkah 6a) serta menentukan waktu berangkat kereta f_q jika melanggar batasan 4.31 dan 4.33 (langkah 6b). Tujuan 4.34 dan 4.36 adalah minimasi waktu berangkat kereta q dari target waktu i di stasiun v . Dimana 4.35 dan 4.37 merupakan perhitungan waktu berangkat kereta melanggar q dari target waktu i di stasiun v yang didapatkan dari waktu berangkat kereta eksisting y atau $y + 1$ ditambah dengan *minimum headway*. Langkah selanjutnya adalah menentukan waktu datang kereta f_q setelah stasiun s_v . Tujuan (4.38) adalah minimasi waktu datang kereta q dari target waktu i di stasiun v . Dimana $WD_{(f_q)(r_i)(s_v)}$ didapatkan dengan mengurangi waktu berangkat kereta q dari target waktu i di v dengan waktu tunggu kereta u di stasiun v (4.39). Tujuan (4.40) adalah minimasi waktu berangkat kereta q dari target waktu i di stasiun $v - 1$. Dimana $WB_{(f_q)(r_i)(s_{v-1})}$ didapatkan dengan mengurangi waktu datang kereta q dari target waktu i di v dengan waktu perjalanan kereta u dari stasiun $v - 1$ menuju v (4.41). Langkah selanjutnya adalah menghitung waktu datang dan waktu berangkat kereta f_q seperti pada langkah 3 dan 4.

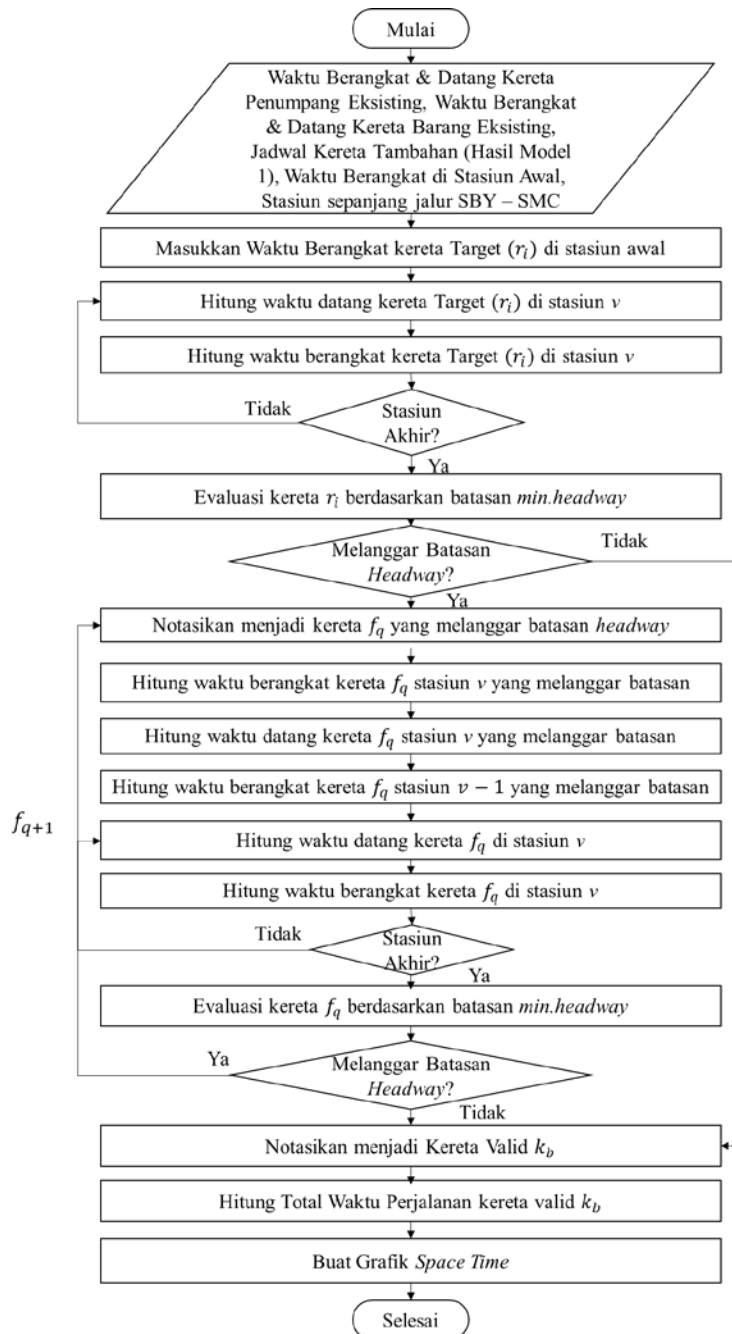
Langkah 11 adalah Evaluasi kereta f_q berdasarkan batasan *minimum headway*. Dimana batasan 4.46 – 4.49 menjamin bahwa waktu kedatangan dan waktu keberangkatan kereta q harus berada diantara jarak waktu keberangkatan kereta eksisting y dan kedatangan kereta $y+1$. Jika $M_{f_q(WB_{(e_y)(s_v)})} = 0$ atau $M_{f_q(WD_{(e_y)(s_v)})} = 0$ (tidak memenuhi batasan) maka notasi kereta rencana menjadi f_{q+1} yang harus berhenti di stasiun v dan menunggu hingga kereta e_y atau e_{y+1} melewatinya. Sehingga waktu berangkat kereta $f_q + 1$ harus dihitung kembali seperti langkah 6 - 10 kemudian di evaluasi kembali seperti langkah 11. Ulangi ketiga langkah tersebut hingga didapatkan waktu datang di stasiun akhir \hat{V} . Kereta f_q yang telah dihitung waktu perjalanannya hingga stasiun akhir berubah notasinya menjadi kereta valid k_b yang kemudian dihitung total waktu perjalanannya.

Langkah 12 adalah menghitung waktu perjalanan kereta valid k_b . Tujuan (4.50) adalah meminimasi total waktu perjalanan kereta valid k_b dari stasiun awal hingga stasiun akhir. Waktu Perjalanan (4.51) didapatkan dengan mengurangi waktu datang kereta kereta valid k_b di stasiun $v+1$ dengan waktu berangkat valid k_b di stasiun v . Waktu tunggu (4.52) didapatkan dengan mengurangi waktu berangkat kereta kereta valid k_b di stasiun $v+1$ dengan waktu datang kereta

valid k_b di stasiun $v+1$. Lakukan Langkah 2 sampai 9 untuk seluruh target waktu r_i yang telah ditentukan. Selanjutnya adalah membuat jadwal dari model 1 dan model 2 pada grafik *space-time*.

4.4.4 Flowchart Model 2

Flowchart logika berpikir pembuatan alat bantu pengambilan keputusan untuk model kedua dapat dilihat pada Gambar 4.6.



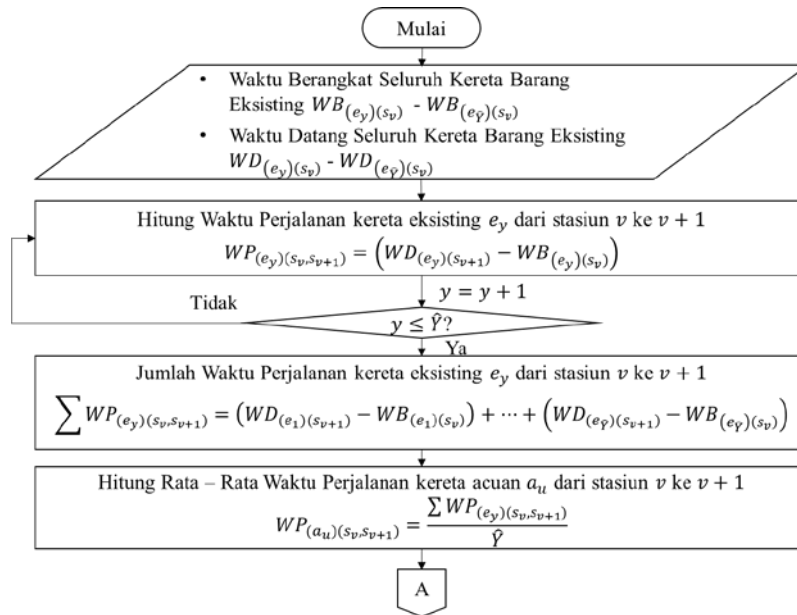
Gambar 4.6 Flowchart Model 2

Pengerjaan model kedua dimulai dengan menyiapkan data - data masukkan pada perhitungan matematis dan aplikasi. Data tersebut adalah waktu berangkat kereta penumpang eksisting, waktu datang kereta penumpang eksisting, waktu berangkat kereta barang eksisting, waktu datang kereta barang eksisting, hasil jadwal kereta tambahan dari model 1, stasiun sepanjang jalur Surabaya Kalimas – Semarang Poncol serta waktu *minimum headway* serta waktu berangkat di stasiun awal. Langkah pertama dimulai dengan menentukan waktu berangkat dan waktu datang kereta dengan kondisi normal, tidak ada hambatan sama sekali hingga stasiun akhir. Setelah ini dilanjutkan dengan evaluasi kereta target berdasarkan kriteria *minimum headway*. Jika kereta r_i tidak melanggar batasan maka menjadi kereta valid. Namun apabila melanggar batasan, harus dibangun jadwal baru kereta f_q dengan waktu keberangkatan yang lebih terlambat. Kereta f_q harus menunggu kereta eksisting melewati lintasan baru melanjutkan perjalanan. Hitung waktu datang dan berangkat kereta f_q hingga stasiun akhir, kemudian evaluasi berdasarkan batasan *minimum headway*. Jika kereta f_q tidak melanggar jadwal maka kereta tersebut menjadi valid. Namun jika melanggar harus dibangun kembali jadwal kereta f_{q+1} dengan waktu keberangkatan yang lebih awal. Lakukan hal tersebut terus menerus hingga di dapatkan jadwal kereta valid yang tidak melanggar batasan. Kereta yang valid akan dihitung total waktu perjalanannya kemudian digambarkan pada grafik *spacetime*.

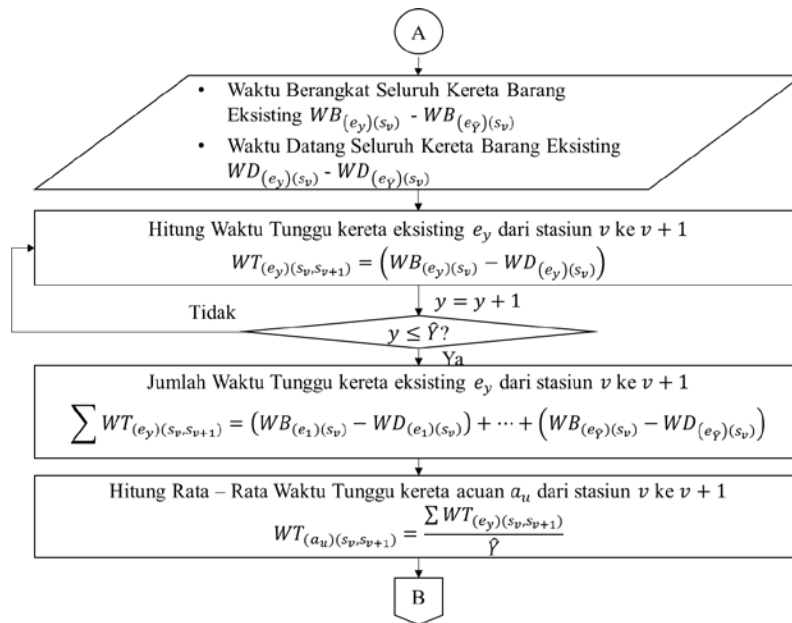
4.4.5 Sub Proses *Flowchart* Model 1 dan 2

Pada sub bab ini akan dijelaskan lebih detil terkait langkah – langkah dari setiap sub proses pada model 1 dan 2. Gambar 4.7 – 4.11 merupakan *flowchart* sub proses yang hanya dilakukan pada model 1, Gambar 4.12 – 4.13 merupakan *flowchart* sub proses yang dikerjakan pada model 1 dan 2, sedangkan Gambar 4.14 merupakan *flowchart* sub proses khusus untuk model 2.

Gambar 4.7 merupakan *flowchart* perhitungan waktu perjalanan kereta acuan a_u yang didapatkan dari rata – rata waktu perjalanan kereta eksisting e_y di stasiun s_v . Sedangkan Gambar 4.8 merupakan *flowchart* perhitungan waktu tunggu kereta acuan a_u yang didapatkan dari rata – rata waktu tunggu kereta eksisting e_y di stasiun s_v . Lakukan tahap ini hingga didapatkan waktu perjalanan dan waktu tunggu kereta acuan a_u di setiap stasiun s_v .

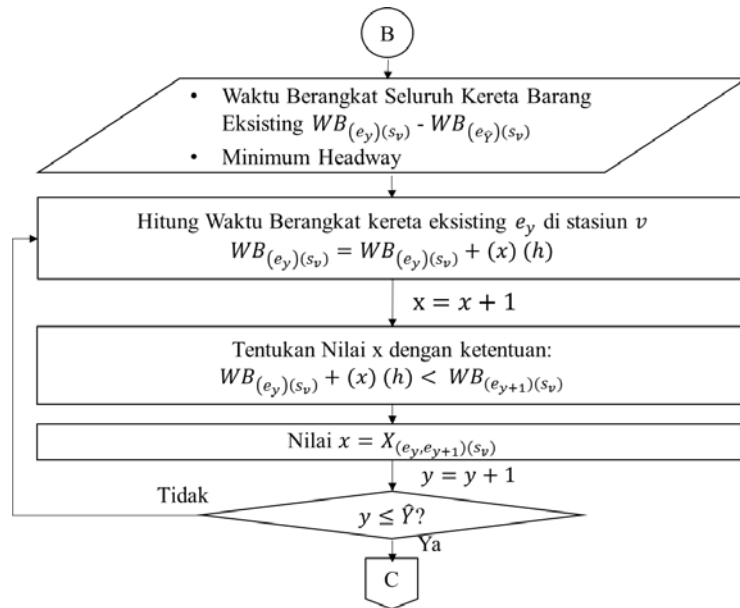


Gambar 4.7 *Flowchart* Perhitungan Waktu Perjalanan

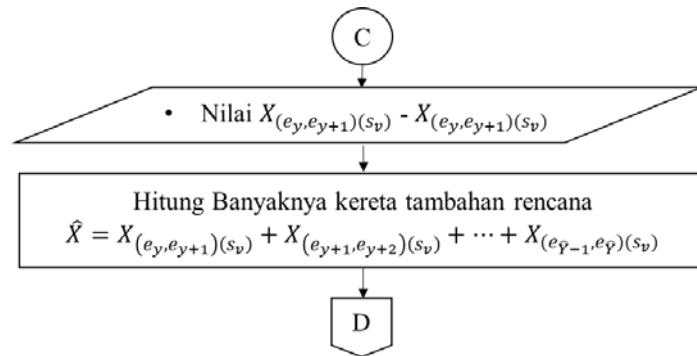


Gambar 4.8 *Flowchart* Perhitungan Waktu Tunggu

Gambar 4.9 merupakan *flowchart* perhitungan jumlah kereta rencana c_x antara kereta eksisting e_y dengan e_{y+1} . Jumlah tersebut didapatkan dari nilai waktu berangkat kereta eksisting yang dijumlahkan dengan *headway* yang dijumlah dengan nilai x . sedangkan Gambar 10 merupakan *flowchart* untuk menghitung total jumlah kemungkinan kereta tambahan untuk seluruh jadwal kereta eksisting yang didapatkan dari penjumlahan masing – masing bagian kereta eksisting e_y dengan e_{y+1} .

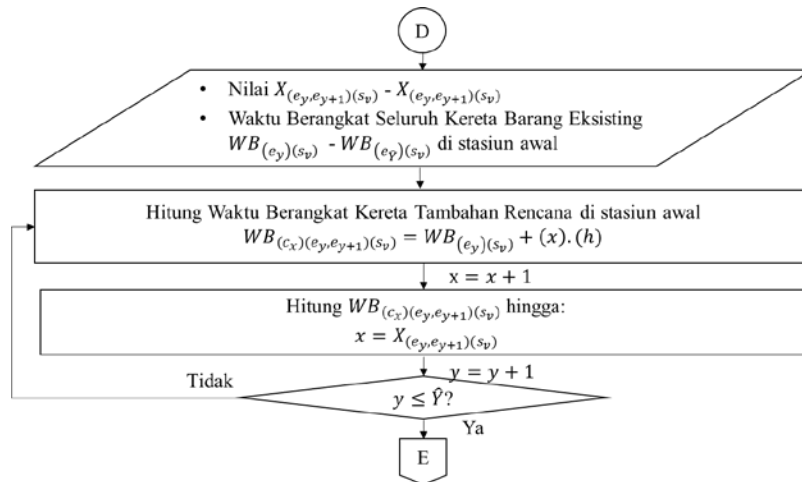


Gambar 4.9 *Flowchart* Perhitungan Jumlah Kereta Rencana antar Kereta Eksisting

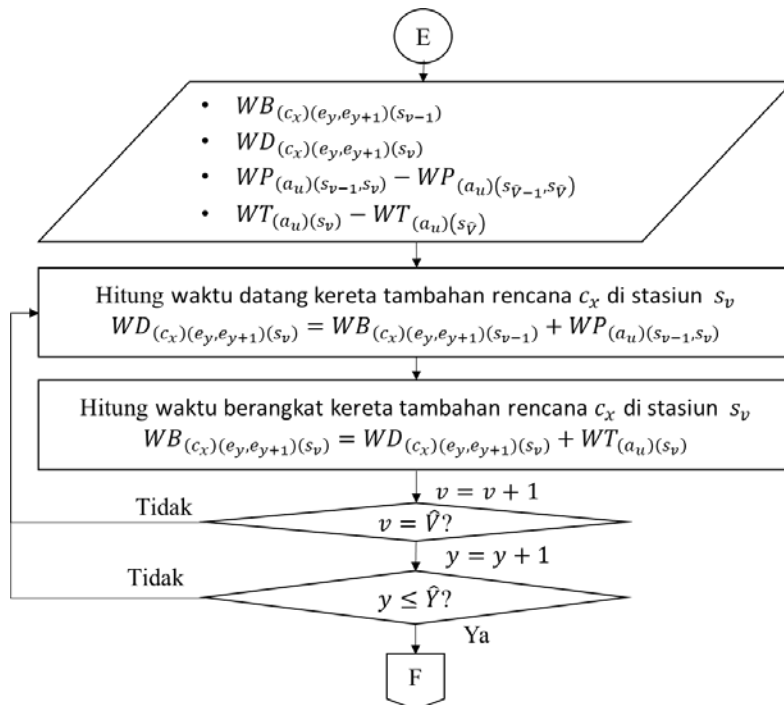


Gambar 4.10 *Flowchart* Perhitungan Jumlah Kereta Rencana Keseluruhan

Gambar 4.11 merupakan *flowchart* perhitungan waktu berangkat kereta rencana c_x yang didapatkan dari penjumlahan waktu dari nilai waktu berangkat kereta eksisting yang dijumlahkan dengan *headway* yang dijumlah dengan nilai x . Sedangkan Gambar 4.12 merupakan *flowchart* perhitungan waktu berangkat kereta rencana c_x yang didapatkan dari penjumlahan waktu datang kereta c_x dengan waktu tunggu kereta a_u .

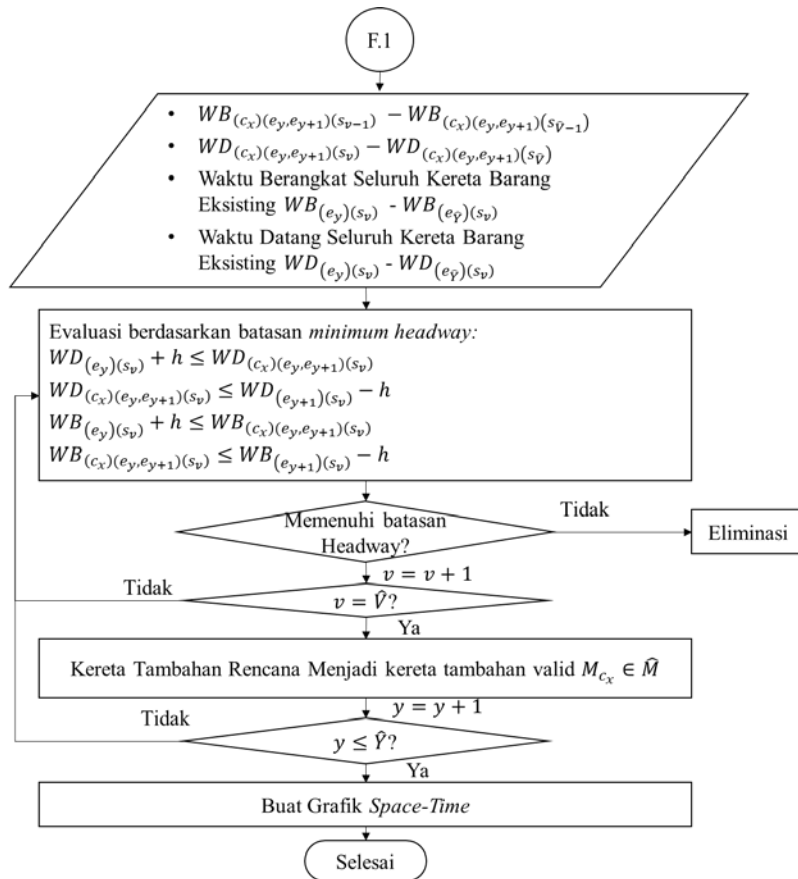


Gambar 4.11 *Flowchart* Perhitungan Waktu Berangkat di Stasiun Awal



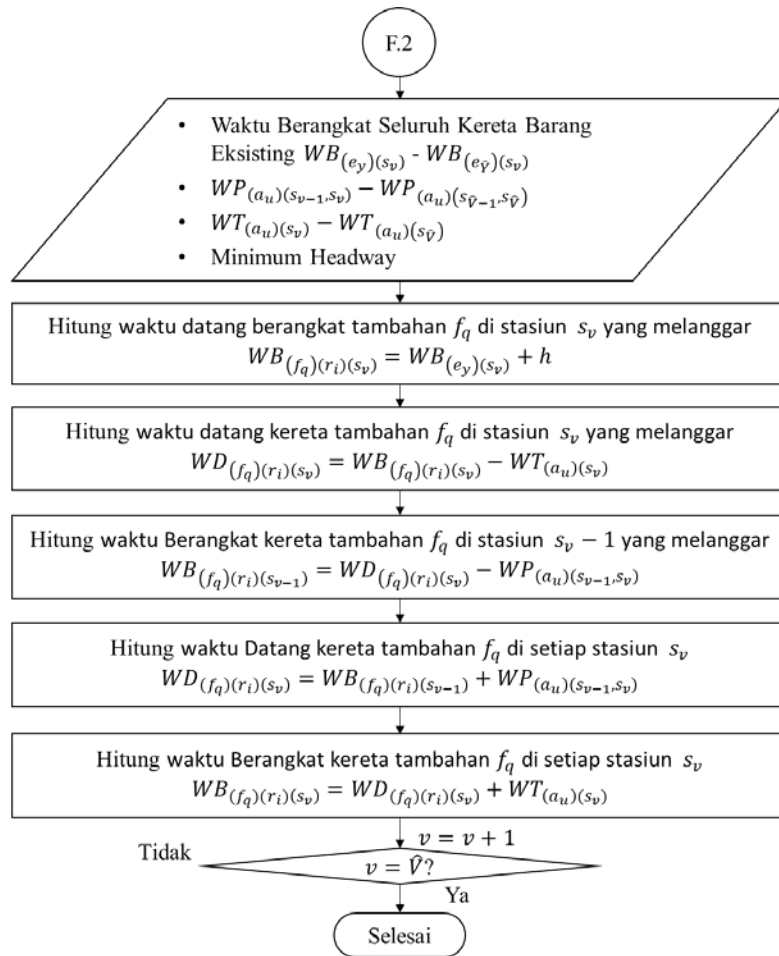
Gambar 4.12 *Flowchart* Perhitungan Waktu Datang dan Waktu Berangkat di Stasiun v

Gambar 4.13 merupakan *flowchart* sub proses evaluasi batasan *minimum headway* terhadap jadwal kereta rencana yang telah dihitung sebelumnya. Langkah pertama adalah evaluasi untuk 1 kereta pada 1 stasiun yang terdiri dari waktu datang dan waktu berangkat. Lalu dilanjutkan untuk setiap stasiun hingga didapatkan kesimpulan apakah kereta tersebut melanggar batasan atau tidak. Jika ya, maka di evaluasi dan sebaliknya. Lakukan evaluasi untuk seluruh kereta rencana hingga didapatkan jumlah kereta tambahan valid yang tidak melanggar batasan beserta jadwalnya.



Gambar 4.13 Flowchart Evaluasi Kereta Rencana

Gambar 4.14 merupakan flowchart khusus untuk perhitungan jadwal kereta yang melanggar batasan headway. Lakukan perhitungan waktu berangkat dan waktu datang seperti pada Gambar 4.12. Apabila kereta mengalami bentrok dengan kereta eksisting harus berhenti di stasiun terdekat dan menunggu kereta eksisting melewatinya baru melanjutkan perjalanan. Kemudian evaluasi kembali jadwal baru tersebut hingga didapatkan kereta tambahan yang tidak melakukan penyalipan dengan kereta eksisting.



Gambar 4.14 Flowchart Penjadwalan Kereta yang Melanggar Batasan Headway

4.5 Pembuatan Alat Bantu Pengambilan Keputusan

Model *linear programming* pada penelitian ini dijalankan dengan bantuan *software Visual Basic Application (VBA)* pada *Microsoft Excel 2013* karena *macro* mampu memberikan waktu komputasi yang cepat dengan batasan yang sangat banyak. Batasan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut.

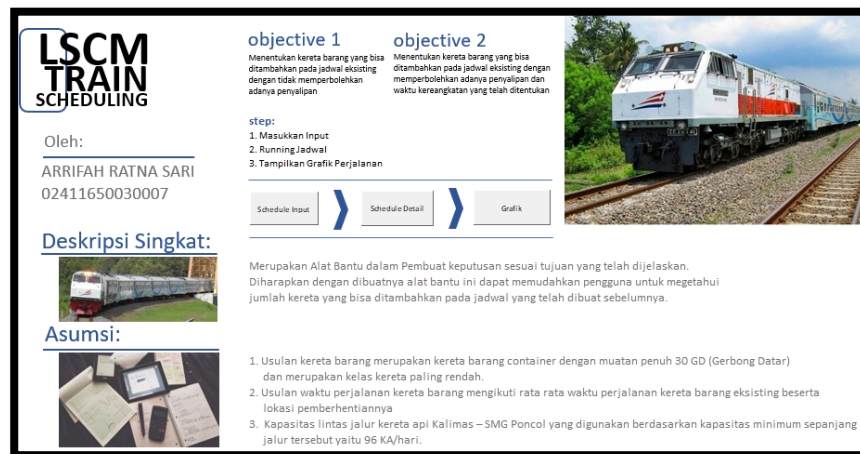
Tabel 4.3 Jumlah *Constraint* yang Digunakan

Jenis <i>Constraint</i>	Model 1	Model 2
WP kereta acuan	38	38
WT kereta acuan	38	38
WD kereta rencana	38 – 912	38
WB kereta rencana	38 – 912	38
<i>Min headway</i>	152 - 3648	3648
Penyalipan	-	0 - 2736
Total	304 - 5548	3800-6536

Berdasarkan Tabel 4.3, *constraint* yang digunakan pada penelitian ini mencapai 304 - 6536 *constraint*. Oleh sebab itu dibutuhkan pembuatan alat bantu menggunakan *Macro Excel* untuk memudahkan perhitungan. *Macro Excel* mampu mengolah data besar secara otomatis sesuai dengan bahasa peograman yang diperintahkan serta memberikan tampilan yang mudah dipahami dan mudah dioperasikan sebagai alat bantu penentuan kebijakan nantinya. Pada sub bab ini akan dijelaskan langkah – langkah pembuatan alat bantu pengambilan keputusan (*Decision Support Tools*) untuk setiap tujuan penelitian.

4.5.1 Pengembangan Sistem Prototype

Untuk mempermudah dalam menjalankan DST dibuatlah *home screen interface* yang dibuat pada *Visual Basic for Application* pada *Microsoft Excel 2013* dapat dilihat pada Gambar 4.15 berikut.



Gambar 4.15 Home Screen DST

Gambar 4.15 merupakan *Home screen interface* yang berisi penjelasan umum mengenai aplikasi DST, asumsi – asumsi yang digunakan serta penjelasan langkah – langkah. Apabila *user* menekan *botton* sesuai perintah, pengguna akan mendapatkan hasil yang diinginkan. Dimulai dari tombol *Schedule Input*, pengguna akan mendapatkan *sheet* yang berisi jadwal kereta yang di *input* secara manual. Setelah itu dilanjutkan dengan menekan tombol *Schedule Detail*, pengguna akan mendapatkan hasil jadwal kereta tambahan serta apabila menekan tombol Grafik, pengguna akan mendapatkan grafik *time space* dari hasil *schedule*.

4.5.2 User Interface Input Data

Langkah pertama pada *Objective 1* adalah memasukkan jadwal kereta secara manual seperti yang telah ditampilkan pada Sub Bab 4.1. Pada langkah ini pengguna harus berhati - hati

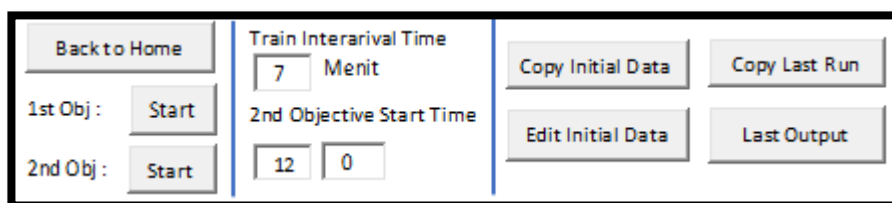
dan memastikan bahwa jadwal yang di masukkan adalah benar. Jadwal yang dimasukkan adalah jadwal kereta barang dan penumpang dari Stasiun Kalimas Surabaya hingga Stasiun Semarang Poncol, termasuk stasiun kecil yang hanya di lewati (tidak melakukan pemberhentian). Gambar 4.16 merupakan tabel jadwal berdasarkan GAPEKA 2017 yang menjadi masukkan.

Urut	KERETA	TIPE KERETA	ORI	DES	MESIGIT		PS TURI		TANDES		KANDANGAN	
					Berhenti / Melalui	Berangkat Setelah Berhenti	Berhenti / Melalui	Berangkat Setelah Berhenti	Berhenti / Melalui	Berangkat Setelah Berhenti	Berhenti / Melalui	Berangkat Setelah Berhenti
0	KERETA SEMEN (ACLIJAN)	B	KALIMAS	SMG PONCOL	00:07:00	00:02:00	00:04:00	00:00:00	00:09:00	00:00:00	00:03:00	00:00:00
1	KAMANDAKA 1	P	SMG TAWANG	TEGAL	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
2	KA 2503 (PETIKEMAS)	B	KALIMAS	KAMPUNG BADAN	00:12:00	00:14:00	00:18:00	00:23:00	00:32:00	00:32:00	00:35:00	00:35:00
3	KA 2507 (PETIKEMAS)	B	KALIMAS	TJ PRIOK	00:57:00	00:59:00	01:03:00	01:06:00	01:15:00	01:15:00	01:18:00	01:18:00
4	ARGO SINDORO	P	SMG TAWANG	GAMBIR	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
5	KA 2513 (PETIKEMAS)	B	KALIMAS	TJ PRIOK	02:02:00	02:04:00	02:08:00	02:13:00	02:22:00	02:22:00	02:25:00	02:25:00
6	KOMUTER 1	P	PS TURI	LAMONGAN	00:00:00	00:00:00	00:00:00	04:35:00	04:43:30	04:45:00	04:50:00	04:52:00
7	BLORA JAYA	P	CEPU	SMG PONCOL	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
8	MENOREH	P	SMG TAWANG	PS SENEN	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
9	KALIJAGA	P	SOLO BALAPAN	SMG PONCOL	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
10	KEDUNG SEPUR 1	P	NGROMBO	SMG PONCOL	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
11	KA 2511 (PETIKEMAS)	B	KALIMAS	KAMPUNG BADAN	05:17:00	05:19:00	05:23:00	05:28:00	05:37:00	05:37:00	05:40:00	05:40:00
12	MAHARANI	P	PS TURI	SMG TAWANG	00:00:00	00:00:00	00:00:00	06:00:00	06:08:00	06:08:00	06:11:00	06:11:00
13	KAMANDAKA 2	P	SMG TAWANG	TEGAL	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
14	ARGO ANGGREK 1	P	PS TURI	GAMBIR	00:00:00	00:00:00	00:00:00	08:00:00	08:07:30	08:07:30	08:10:00	08:10:00
15	KA 2517 (PETIKEMAS)	B	KALIMAS	TJ PRIOK	08:07:00	08:09:00	08:13:00	08:18:00	08:27:00	08:27:00	08:30:00	08:30:00
16	KA 2713 (SEMEN)	B	BANYUWANGI	NAMBO	09:27:00	09:29:00	09:33:00	09:40:00	09:49:00	09:49:00	09:52:00	09:52:00

Gambar 4.16 Jadwal Input

Gambar 4.16 merupakan rangkuman jadwal yang menjadi masukkan pada *macro excel*. Dimana masukkan ini berisi nama kereta, jenis kereta (B = Kereta Barang, P = Kereta Penumpang) serta stasiun awal dan stasiun tujuan.

Variable input yang dapat diubah – ubah pada *text box* di dalam *software* adalah waktu *minimum headway*. *Minimum headway* yang akan menjadi skenario dalam menentukan jumlah kereta barang yang dapat ditambahkan. Gambar 4.17 merupakan *user interface* untuk memasukkan waktu *minimum headway* yang diinginkan beserta masukkan jadwal eksisting.



Gambar 4.17 Tampilan Menu pada DST

Berdasarkan Gambar 4.17, *Command box* “Back to Home” memerintahkan macro untuk kembali ke halaman utama (*home screen*). *Command box* “Start” pada 1st Obj memerintahkan macro untuk mengerjakan model 1, sedangkan “Start” pada 2nd Obj memerintahkan macro untuk mengerjakan model 2. *Command box* “Copy Initial Data” merupakan perintah untuk menulis jadwal eksisting yang terdiri dari 44 kereta. Sedangkan *Command box* “Edit Initial Data” memerintahkan macro untuk menyediakan lembar kerja untuk merubah jadwal eksisting yang

akan di masukkan. *Command box* “Copy Last Run” memerintahkan macro untuk menampilkan jadwal eksisting dan ditambahkan jadwal hasil pengerjaan yang dilakukan sebelumnya. Serta *Command box* “Last Output” memerintahkan macro untuk menampilkan jadwal hasil akhir pengerjaan.

Text box “Train Interval Time” merupakan *Minimum headway* yang dijadikan *changing variable* untuk mendapatkan banyaknya kereta tambahan yang optimal. Sedangkan *text box* “2nd Objective Start Time” merupakan masukkan jadwal berangkat di stasiun awal yang nantinya akan diolah.

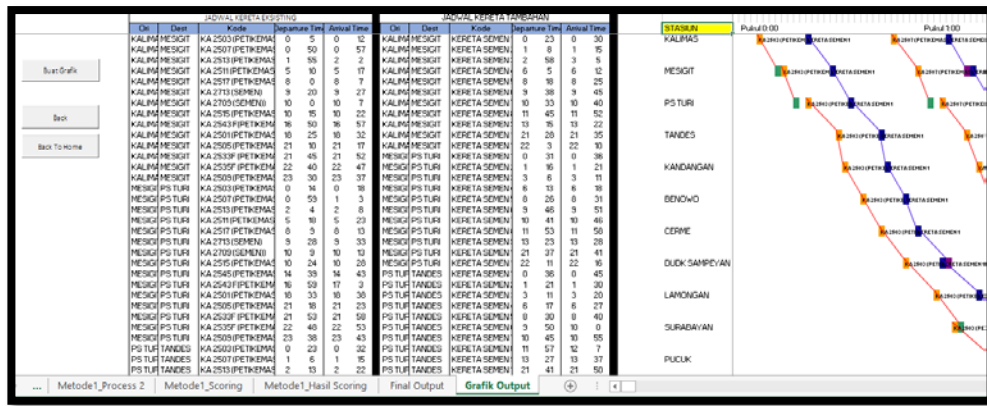
4.5.3 User Interface Output Software

Output yang diberikan oleh *Macro Excel* adalah jadwal baru yang terdiri dari jadwal kereta eksisting dan kereta tambahan. Gambar 4.18 Merupakan contoh *output* jadwal dari pengerjaan model 1

Urut	KERETA	TIPE KERETA	ORI	DES	BERANGKAT	KALIMAS		MESIGIT		PS TURI		TANDES	
						Tiba dan Berhenti	Berangkat atau Hanya Melalui	Tiba dan Berhenti	Berangkat atau Hanya Melalui	Tiba dan Berhenti	Berangkat atau Hanya Melalui	Tiba dan Berhenti	Berangkat atau Hanya Melalui
1	KA 2503 (PETIKEMAS)	B	KALIMAS	KAMPUNG BADAN	00:05:00	00:05:00	00:05:00	00:12:00	00:14:00	00:18:00	00:23:00	00:32:00	00:32:00
2	KERETA SEMEN 1	T	KALIMAS	SMG PONCOL				00:23:00	00:30:00	00:32:00	00:36:00	00:45:00	00:45:00
3	KA 2507 (PETIKEMAS)	B	KALIMAS	TJ PRIOK	00:50:00	00:50:00	00:50:00	00:57:00	00:59:00	01:03:00	01:06:00	01:15:00	01:15:00
4	KERETA SEMEN 2	T	KALIMAS	SMG PONCOL				01:08:00	01:15:00	01:17:00	01:21:00	01:30:00	01:30:00
5	KA 2513 (PETIKEMAS)	B	KALIMAS	TJ PRIOK	01:55:00	01:55:00	01:55:00	02:02:00	02:04:00	02:08:00	02:13:00	02:22:00	02:22:00
6	KERETA SEMEN 3	T	KALIMAS	SMG PONCOL				02:58:00	03:05:00	03:07:00	03:11:00	03:20:00	03:20:00
7	KOMUTER 1	P	PS TURI	LAMONGAN	04:35:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00		04:35:00	04:43:30	04:45:00
8	BLORA JAYA	P	CEPU	SMG PONCOL	05:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00		00:00:00		00:00:00	
9	KA 2511 (PETIKEMAS)	B	KALIMAS	KAMPUNG BADAN	05:10:00	05:10:00	05:10:00	05:17:00	05:19:00	05:23:00	05:28:00	05:37:00	05:37:00
10	MAHARANI	P	PS TURI	SMG TAWANG	06:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00		06:00:00	06:00:00	06:08:00	06:08:00
11	KERETA SEMEN 4	T	KALIMAS	SMG PONCOL				06:05:00	06:12:00	06:14:00	06:18:00	06:27:00	06:27:00
12	ARGO ANGGREK 1	P	PS TURI	GAMBIR	08:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00		08:00:00	08:00:00	08:07:30	08:07:30
13	KA 2517 (PETIKEMAS)	B	KALIMAS	TJ PRIOK	08:00:00	08:00:00	08:00:00	08:07:00	08:09:00	08:13:00	08:18:00	08:27:00	08:27:00
14	KERETA SEMEN 5	T	KALIMAS	SMG PONCOL				08:18:00	08:25:00	08:27:00	08:31:00	08:40:00	08:40:00
15	KA 2713 (SEMEN)	B	BANYUWANGI	NAMBO	19:00:00	08:19:00	09:20:00	09:27:00	09:29:00	09:33:00	09:40:00	09:49:00	09:49:00
16	KERETA SEMEN 6	T	KALIMAS	SMG PONCOL				09:38:00	09:45:00	09:47:00	09:51:00	10:00:00	10:00:00
17	KA 2709 (SEMENI)	B	KALIMAS	NAMBO	10:00:00	10:00:00	10:00:00	10:07:00	10:09:00	10:13:00	10:13:00	10:22:00	10:22:00
18	KA 2515 (PETIKEMAS)	B	KALIMAS	TJ PRIOK	10:15:00	10:15:00	10:15:00	10:22:00	10:24:00	10:28:00	10:34:00	10:43:00	10:43:00

Gambar 4.18 Contoh *Output* Jadwal

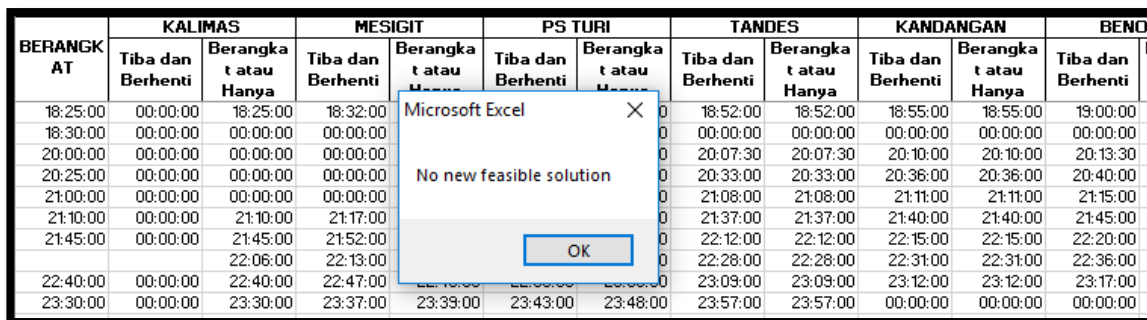
Gambar 4.18 merupakan grafik final, dengan menekan *command button* yaitu “View Graph”, secara otomatis *software* akan menghasilkan lembar kerja pembuatan grafik. Gambar 4.19 merupakan *user interface* pembuatan grafik.



Gambar 4.19 Proses Pembuatan Grafik

Setelah didapatkan jadwal baru, *software* akan melakukan konversi waktu sehingga jadwal baru tersebut dapat di representasikan pada sebuah grafik perjalanan. Dengan menekan *command box* “Buat Grafik”, *macro* akan membuat grafik perjalanan sesuai jadwal final. Pada grafik perjalanan, kereta eksisting diberi warna oranye sedangkan kereta tambahan diberi warna biru. Sisi kiri menampilkan stasiun sepanjang jalur Surabaya – Semarang yaitu dari Stasiun Kalimas hingga Stasiun Semarang Poncol. Sedangkan sisi atas merupakan waktu setiap satu jam dari pukul 00.00 hingga 24.00.

Sebagai contoh pada perhitungan *Minimum headway* 6 menit, kereta tambahan yang diusulkan adalah 20 kereta setelah 3 kali *running software*. Apabila dilanjutkan *running* namun *macro* sudah tidak dapat mencari jadwal baru, maka *macro* akan memunculkan *dialog box* yang menjelaskan bahwa *macro* tidak dapat mencari kembali seperti pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Dialog Box Apabila Tidak Dapat D dicari Jadwal

4.6 Validasi

Validasi dilakukan untuk mengetahui apakah model matematis yang dikembangkan adalah benar dan dapat digunakan sebagai model yang tepat untuk kasus ini. Teknik Validasi yang digunakan adalah teknik *comparison testing* yaitu membandingkan hasil dari model matematis

dengan hasil dari *software*. Apabila hasil yang diberikan sama maka model yang dikembangkan adalah valid.

4.6.1 Validasi Model 1

Data yang digunakan untuk menghitung model matematis adalah data kecil (iterasi ke 1) untuk setiap langkah-langkah pada model matematis. Berikut adalah perhitungan data kecil untuk setiap langkahnya.

Langkah 1: Menentukan waktu perjalanan dari kereta acuan a_u di setiap stasiun s_v

Contoh Perhitungan ($u = 1; v = 1$)

$$WP_{(a_u)(s_v, s_{v+1})} = \frac{(WD_{(e_1)(s_{v+1})} - WB_{(e_1)(s_v)}) + \dots + (WD_{(e_{\hat{v}})(s_{v+1})} - WB_{(e_{\hat{v}})(s_v)})}{\hat{Y}}$$

$$WP_{(a_1)(s_1, s_2)} = \frac{(WD_{(e_1)(s_2)} - WB_{(e_1)(s_1)}) + \dots + (WD_{(e_{13})(s_2)} - WB_{(e_{13})(s_1)})}{13}$$

$$WP_{(a_1)(s_1, s_2)} = \frac{(12 - 5) + \dots + (1417 - 1410)}{13} = 7$$

Objective Function:

$$\text{Min } WP_{(a_1)(s_1, s_2)} = 7$$

Langkah 2: Menentukan waktu tunggu dari kereta acuan a_u di setiap stasiun s_v

Contoh Perhitungan ($u = 1; v = 2$)

$$WT_{(a_u)(s_v)} = \frac{(WB_{(e_1)(s_v)} - WD_{(e_1)(s_v)}) + \dots + (WB_{(e_{\hat{v}})(s_v)} - WD_{(e_{\hat{v}})(s_v)})}{\hat{Y}}$$

$$WT_{(a_1)(s_2)} = \frac{(WB_{(e_1)(s_2)} - WD_{(e_1)(s_2)}) + \dots + (WB_{(e_{13})(s_2)} - WD_{(e_{13})(s_2)})}{13}$$

$$WT_{(a_u)(s_v)} = \frac{(14 - 12) + \dots + (1419 - 1417)}{13} = 2$$

Objective Function:

$$\text{Min } WT_{(a_1)(s_2)} = 2$$

Berdasarkan perhitungan langkah 1 dan 2 dapat diketahui bahwa waktu perjalanan kereta acuan a_1 dari stasiun 1 menuju stasiun 2 adalah 7 menit. Sedangkan waktu tunggu kereta acuan a_1 di stasiun 2 adalah 2 menit. Tabel 4.4 merupakan rekapitulasi hasil perhitungan manual dan aplikasi untuk waktu perjalanan dan waktu tunggu di setiap stasiun untuk langkah 1 dan 2 pada stasiun 1, 2 dan 3. Hasil lengkapnya dapat dilihat pada Lampiran B

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Langkah 1 dan 2 untuk Manual dan Aplikasi di Stasiun KLM - SBI

Kode Stasiun	Input (menit)		Hasil (dalam menit)		Konversi waktu	Hasil Aplikasi
	Ket	Waktu	Keterangan	Manual		
KLM	$WD_{(a_1)(s_1)}$					
	$WB_{(a_1)(s_1)}$	5				
MSG	$WD_{(a_1)(s_2)}$	12	$WP_{(a_1)(s_1,s_2)}$	7	00:07:00	00:07:00
	$WB_{(a_1)(s_2)}$	14	$WT_{(a_1)(s_2)}$	2	00:02:00	00:02:00
SBI	$WD_{(a_1)(s_3)}$	18	$WP_{(a_1)(s_2,s_3)}$	4	00:04:00	00:04:00
	$WB_{(a_1)(s_3)}$	23	$WT_{(a_1)(s_3)}$	4	00:04:00	00:04:00

Berdasarkan Tabel 4.4 dapat diketahui bahwa hasil perhitungan manual dengan hasil dari aplikasi memberikan hasil yang sama. Oleh sebab itu model matematis pada langkah 1 dan 2 dapat dikatakan valid.

Langkah 3: Menentukan banyaknya kereta tambahan rencana di antara kereta eksisting e_y dengan kereta eksisting e_{y+1} di stasiun awal.

Contoh Perhitungan ($v = 1; y = 1; h = 6$)

$$WB_{(e_y)(s_v)} + X_{(e_y,e_{y+1})(s_v)} \times h < WB_{(e_{y+1})(s_v)}$$

$$WB_{(e_1)(s_1)} + X_{(e_1,e_2)(s_1)} \times h < WB_{(e_2)(s_1)}$$

$$5 + X_{(e_1,e_2)(s_1)} \times 6 \leq 50$$

Tabel 4.5 Uji Parameter $D_{(e_1,e_2)(s_1)}$

$X_{(e_1,e_2)(s_1)}$	Perhitungan	Hasil	Keputusn
6	$5 + (6) \times 6 < 50$	$41 < 50$	Memenuhi, bukan d_{maks}
7	$5 + (7) \times 6 < 50$	$47 < 50$	Memenuhi, Pilih d_{maks}
8	$5 + (8) \times 6 < 50$	$53 > 50$	Tidak memenuhi

Berdasarkan Table 4.5 dapat diketahui apabila menggunakan $X_{(e_1,e_2)(s_1)} = 6$ nilai ini memenuhi batasan, namun dikarenakan fungsi tujuannya adalah maksimasi sehingga nilai $X_{(e_1,e_2)(s_1)}$ yang digunakan adalah 7. Artinya diantara jadwal kereta eksisting 1 dan 2 di stasiun 1 (Kalimas) terdapat 7 kereta tambahan rencana. Empat kereta rencana inilah yang nantinya akan di hitung waktu perjalanannya dan di evaluasi apakah melanggar batasan atau tidak. Tabel 4.6 merupakan nilai $X_{(e_y,e_{y+1})(s_1)}$ pada kereta eksisting 1 -3.

Tabel 4.6 Hasil Nilai $X_{(e_y, e_{y+1})(s_1)}$ Perhitungan Manual dan Aplikasi

e_y	Kode Kereta	Waktu Datang (menit)	Hasil $X_{(e_y, e_{y+1})(s_1)}$	
			Manual	Aplikasi
1	KA 2503	5	8	8
2	KA 2507	50	10	10
3	KA 2513	115	33	33

Berdasarkan Tabel 4.6 dapat diketahui bahwa nilai $X_{(e_y, e_{y+1})(s_1)}$ pada perhitungan manual dan aplikasi memiliki nilai yang sama pada setiap jadwal kereta eksisting e_y dimana $\{y = 1, 2, \dots, Y\}$. Maka dapat disimpulkan untuk model matematis pada Langkah 3 adalah valid.

Langkah 4: Menentukan banyaknya kereta tambahan rencana dari kereta eksisting e_y hingga kereta $e_{\hat{y}}$

$$\hat{X} = X_{(e_y, e_{y+1})(s_v)} + X_{(e_{y+1}, e_{y+2})(s_v)} + \dots + X_{(e_{\hat{y}-1}, e_{\hat{y}})(s_v)}$$

$$\hat{X} = X_{(e_1, e_2)(s_1)} + X_{(e_2, e_3)(s_1)} + \dots + X_{(e_{19}, e_{20})(s_v)} = 8 + 10 + 33 + \dots + 9 = 197$$

$$\text{Max } \hat{X} = 284$$

Berdasarkan perhitungan diatas didapatkan banyaknya kereta tambahan rencana dari kereta eksisting e_y hingga kereta $e_{\hat{y}}$ adalah 198 kereta.

Langkah 5: Menentukan waktu berangkat kereta tambahan rencana c_x di stasiun awal

Contoh Perhitungan ($x = 1; y = 1; v = 1; h = 6$)

$$WB_{(c_x)(e_y, e_{y+1})(s_v)} = WB_{(e_y)(s_v)} + (x). (h)$$

$$WB_{(c_1)(e_1, e_2)(s_1)} = WB_{(e_1)(s_1)} + (x). (h) = 5 + (1). (6) = 11$$

Objective Function:

$$\text{Min } WB_{(c_1)(e_1, e_2)(s_1)} = 11$$

Contoh Perhitungan ($x = 7; y = 1; v = 1; h = 6$)

$$WB_{(c_7)(e_1, e_2)(s_1)} = WB_{(e_1)(s_1)} + (x). (h) = 5 + (7). (6) = 47$$

Objective Function:

$$\text{Min } WB_{(c_7)(e_1, e_2)(s_1)} = 47$$

Berdasarkan perhitungan di langkah 3 pada jadwal antara kereta eksisting 1 hingga kereta eksisting 2 terdapat 7 kereta tambahan rencana. Dimana waktu keberangkatan kereta tambahan rencana c_1 adalah pukul 00:11:00 dan c_7 adalah 00:47:00 Tabel 4.7 merupakan rekapitulasi hasil perhitungan manual dan aplikasi untuk waktu berangkat kereta tambahan rencana di stasiun 1.

Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Waktu Keberangkatan kereta Tambahan Rencana

Kode Kereta	Keterangan	Hasil WB (menit)	Konversi Waktu	
			Manual	Aplikasi
KA 2503	$WB_{(e_1)(s_1)}$	5	00:05:00	00:05:00
C1	$WB_{(c_1)(e_1,e_2)(s_1)}$	11	00:11:00	00:11:00
C2	$WB_{(c_2)(e_1,e_2)(s_1)}$	17	00:17:00	00:17:00
C3	$WB_{(c_3)(e_1,e_2)(s_1)}$	23	00:23:00	00:23:00
C4	$WB_{(c_4)(e_1,e_2)(s_1)}$	29	00:29:00	00:29:00
C5	$WB_{(c_5)(e_1,e_2)(s_1)}$	35	00:35:00	00:35:00
C6	$WB_{(c_6)(e_1,e_2)(s_1)}$	41	00:41:00	00:41:00
C7	$WB_{(c_7)(e_1,e_2)(s_1)}$	47	00:47:00	00:47:00
KA 2507	$WB_{(e_2)(s_1)}$	50	00:50:00	00:50:00

Hasil perhitungan $WB_{(c_x)(e_y,e_{y+1})(s_v)}$ pada perhitungan manual dan aplikasi di Tabel 4.7 memiliki nilai yang sama. Maka dapat disimpulkan untuk model matematis pada Langkah 4 adalah valid. Lakukan langkah ini hingga seluruh jadwal eksisting telah dimasukkan kereta tambahan rencana $\{y = 1, 2, \dots, Y\}$.

Langkah 6: Menentukan waktu datang kereta tambahan rencana c_x di setiap stasiun s_v

Contoh Perhitungan ($x = 1; v = 2; u = 1; y = 1$)

$$WD_{(c_x)(e_y,e_{y+1})(s_v)} = WB_{(c_x)(e_y,e_{y+1})(s_{v-1})} + WP_{(a_u)(s_{v-1},s_v)}$$

$$WD_{(c_1)(e_1,e_2)(s_2)} = WB_{(c_1)(e_1,e_2)(s_1)} + WP_{(a_1)(s_1,s_2)} = 11 + 7 = 18$$

Objective Function:

$$\text{Min } WD_{(c_1)(e_1,e_2)(s_2)} = 18$$

Langkah 7: Menentukan waktu keberangkatan kereta tambahan rencana c di setiap stasiun s

Contoh Perhitungan ($x = 1; v = 2; u = 1; y = 1$)

$$WB_{(c_x)(e_y,e_{y+1})(s_v)} = WD_{(c_x)(e_y,e_{y+1})(s_v)} + WT_{(a_u)(s_v)}$$

$$WB_{(1)(e_1,e_2)(s_2)} = WD_{(c_1)(e_1,e_2)(s_2)} + WT_{(a_1)(s_2)} = 18 + 2 = 20$$

Objective Function:

$$\text{Min } WB_{(1)(e_1,e_2)(s_2)} = 20$$

Berdasarkan perhitungan langkah 6 dan 7, waktu kedatangan untuk kereta tambahan rencana c_1 , di Stasiun Mesigit adalah pukul 00:18:00 Lalu berangkat kembali pukul 00:20:00. Ulangi langkah ke 6 dan 7 hingga jadwal keberangkatan dan kedatangan untuk seluruh kereta

tambahan rencana c_x di dapatkan hingga stasiun akhir s_v . Tabel 4.8 adalah hasil perhitungan manual dan aplikasi untuk kemungkinan kereta 1 (antara kereta eksisting 1 dan 2) di stasiun 1 -3.

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan Manual dan Aplikasi untuk Waktu Keberangkatan dan Kedatangan Kereta Tambahan Rencana 1 di Stasiun 1-3

Kode St	Input (dalam menit)		Hasil Manual (dalam menit)		Konversi Waktu	Hasil Aplikasi
KLM						
			$WB_{(c_1)(e_1,e_2)(s_1)}$	11	00:11:00	00:11:00
MSG	$WP_{(a_1)(s_1,s_2)}$	7	$WD_{(c_1)(e_1,e_2)(s_2)}$	18	00:18:00	00:18:00
	$WT_{(a_1)(s_2)}$	2	$WB_{(c_1)(e_1,e_2)(s_2)}$	20	00:20:00	00:20:00
SBI	$WP_{(a_1)(s_2,s_3)}$	4	$WD_{(c_1)(e_1,e_2)(s_3)}$	24	00:24:00	00:24:00
	$WT_{(a_1)(s_3)}$	0	$WB_{(c_1)(e_1,e_2)(s_3)}$	24	00:24:00	00:24:00

Hasil perhitungan manual dan aplikasi pada Tabel 4.8 menunjukkan hasil yang sama di setiap stasiun. Artinya rumus pada langkah 5 dan 6 adalah valid. Ulangi langkah ke 6 dan 7 hingga jadwal keberangkatan dan kedatangan untuk seluruh kereta tambahan rencana c di dapatkan hingga stasiun akhir S . Hasil Langkah 3 – 7 perhitungan manual di rangkum pada Lampiran C. Kemudian langkah selanjutnya adalah eliminasi jadwal.

Langkah 8: Menentukan banyaknya kereta tambahan valid di setiap kereta eksisting e_y dengan kereta e_{y+1} berdasarkan batasan *min.headway*

Berikut adalah contoh perhitungan untuk evaluasi *minimum headway* kereta rencana 1 terhadap kereta eksisting 1 dan 2 di stasiun 2 dan 3.

- Contoh Perhitungan ($y = 1$; $x = 1$; $v = 2$; $h = 9$)

Tabel 4.9 Contoh Evaluasi *minimum headway* di Stasiun 2 Kereta c_1

Batasan	Waktu Datang ($s = 1$)	Batasan	Waktu Berangkat ($s = 2$)
4.15	$WD_{(e_y)(s_v)} + h \leq WD_{(c_x)(e_y,e_{y+1})(s_v)}$ $WD_{(e_1)(s_2)} + h \leq WD_{(c_1)(e_1,e_2)(s_2)}$ $12 + 6 \leq 18$	4.17	$WB_{(e_y)(s_v)} + h \leq WB_{(c_x)(e_y,e_{y+1})(s_v)}$ $WB_{(e_1)(s_2)} + h \leq WB_{(c_1)(e_1,e_2)(s_2)}$ $14 + 6 \leq 20$
4.16	$WD_{(c_x)(e_y,e_{y+1})(s_v)} \leq WD_{(e_{y+1})(s_v)} - h$ $WD_{(c_1)(e_1,e_2)(s_2)} \leq WD_{(e_2)(s_2)} - h$ $18 \leq 57 - 6$	4.18	$WB_{(c_x)(e_y,e_{y+1})(s_v)} \leq WB_{(e_{y+1})(s_v)} - h$ $WB_{(c_1)(e_1,e_2)(s_2)} \leq WB_{(e_2)(s_2)} - h$ $20 \leq 59 - 6$
∴ WD Memenuhi Batasan		∴ WB Memenuhi Batasan	

- Contoh Perhitungan ($y = 1; v = 3; x = 1; h = 6$)

Tabel 4.10 Contoh Evaluasi *Min headway* di Stasiun 3 Kereta c_1

Batasan	Waktu Datang ($s = 1$)	Batasan	Waktu Berangkat ($s = 2$)
4.15	$WD_{(e_y)(s_v)} + h \leq WD_{(c_x)(e_y, e_{y+1})(s_v)}$ $WD_{(e_1)(s_3)} + h \leq WD_{(c_1)(e_1, e_2)(s_3)}$ $18 + 6 \leq 24$	4.17	$WB_{(e_y)(s_v)} + h \leq WB_{(c_x)(e_y, e_{y+1})(s_v)}$ $WB_{(e_1)(s_3)} + h \leq WB_{(c_1)(e_1, e_2)(s_3)}$ $24 + 6 \leq 27$
4.16	$WD_{(c_x)(e_y, e_{y+1})(s_v)} \leq WD_{(e_{y+1})(s_v)} - h$ $WD_{(c_1)(e_1, e_2)(s_3)} \leq WD_{(e_2)(s_3)} - h$ $24 \leq 63 - 6$	4.18	$WB_{(c_x)(e_y, e_{y+1})(s_v)} \leq WB_{(e_{y+1})(s_v)} - h$ $WB_{(c_1)(e_1, e_2)(s_3)} \leq WB_{(e_2)(s_3)} - h$ $24 \leq 66 - 6$
∴ WD Memenuhi Batasan		∴ WB Melanggar Batasan	

Berikut adalah hasil perhitungan lebih detail dimana objek yang di periksa adalah kereta tambahan rencana 1 terhadap kereta eksisting 1 dan 2 di stasiun Kalimas, Mesigit dan Pasar Turi.

Tabel 4.11 Hasil Evaluasi *Min Headway* Kereta c_1

Kode Kereta		Hasil (dalam menit)					
		Kalimas		Mesigit		Pasar Turi	
		WD	WB	WD	WB	WD	WB
KA 2503	e_1		5	12	14	18	23
C1	c_1		11	18	20	24	24
KA 2507	e_2		50	57	59	63	66
Hasil		Memenuhi		Memenuhi		Melanggar	

Tabel 4.9 – 4.10 merupakan contoh perhitungan evaluasi jadwal kereta tambahan terhadap *minimum headway*. Pada mulanya kereta tambahan rencana c_1 memenuhi batasan 4.15 – 4.18. Namun pada stasiun ke-3 (Stasiun Pasar Turi) melanggar batasan 4.17 sehingga kereta ini harus di eliminasi.

Hasil perhitungan model matematis dan aplikasi memberikan hasil yang sama sehingga rumus ini dikatakan valid. Lakukan pengecekan langkah ini untuk seluruh kemungkinan kereta di setiap stasiun hingga mendapatkan jadwal kereta tambahan yang tidak melanggar batasan tersebut.

Langkah 9: Menentukan Banyaknya kereta tambahan rencana dari kereta eksisting e_y hingga kereta $e_{\bar{y}}$

Berikut adalah contoh perhitungan untuk penentuan nilai $M_{c_1(WD_{(e_y)(v)})}$ kereta rencana 1 terhadap kereta eksisting 1 dan 2 di stasiun 2 dan 3.

Tabel 4.12 Contoh Penentuan Nilai $M_{c_1(WD_{(e_y)}(v))}$

Kode Kereta	Hasil (Konversi Waktu)					
	Kalimas		Mesigit		Pasar Turi	
	WD	WB	WD	WB	WD	WB
KA 2503	00:05:00	00:05:00	00:12:00	00:14:00	00:18:00	00:23:00
$M_{c_1(WD_{(e_y)}(v))}$	1	1	1	1	1	0
C1	00:11:00	00:11:00	00:18:00	00:20:00	00:24:00	00:24:00
$M_{c_1(WD_{(e_{y+1})}(v))}$	1	1	1	1	1	1
KA 2507	00:50:00	00:50:00	00:57:00	00:59:00	01:03:00	01:06:00
	Memenuhi		Memenuhi		Melanggar	

Contoh Perhitungan ($x = 1$)

$$M_{c_1(s_1)} = \left(M_{c_1(WD_{(e_y)}(v))} \right) \left(M_{c_1(WD_{(e_{y+1})}(v))} \right) \left(M_{c_1(WB_{(e_y)}(v))} \right) \left(M_{c_1(WB_{(e_{y+1})}(v))} \right)$$

$$M_{c_1(s_1)} = \left(M_{c_1(WD_{(e_1)}(1))} \right) \left(M_{c_1(WD_{(e_2)}(1))} \right) \left(M_{c_1(WB_{(e_1)}(1))} \right) \left(M_{c_1(WB_{(e_2)}(1))} \right)$$

$$M_{c_1(s_1)} = (1)(1)(1)(1) = 1$$

$$M_{c_1} = \left(M_{c_1(s_v)} \right) \left(M_{c_1(s_{v+1})} \right) \left(M_{c_1(s_{v+2})} \right) \dots \left(M_{c_1(s_{\bar{v}})} \right)$$

$$M_{c_1} = \left(M_{c_1(s_1)} \right) \left(M_{c_1(s_2)} \right) \left(M_{c_1(s_3)} \right) \dots \left(M_{c_1(s_{38})} \right) = (1)(1)(0) \dots (1) = 0$$

$$\hat{M} = \left(M_{c_x} \right) + \left(M_{c_{x+1}} \right) + \left(M_{c_{x+2}} \right) + \dots + \left(M_{c_{\bar{x}}} \right)$$

$$\hat{M} = \left(M_{c_1} \right) + \left(M_{c_2} \right) + \left(M_{c_3} \right) + \dots + \left(M_{c_{284}} \right) = (0) + (1) + (0) + \dots + (0) = 20$$

Pada kereta tambahan rencana 1 di stasiun 1 memenuhi batasan, namun pada stasiun 3 melanggar batasan sehingga kereta rencana 1 tidak valid ($M_{c_1} = 0$). Setelah dilakukan evaluasi batasan untuk seluruh kereta tambahan rencana, lalu dijumlahkan untuk mendapatkan total kereta tambahan rencana yaitu sebanyak 20 kereta.

4.6.2 Validasi Model 2

Data yang digunakan untuk menghitung model matematis adalah data kecil (iterasi ke 1) untuk setiap langkah-langkah pada model matematis. Berikut adalah perhitungan data kecil untuk setiap langkahnya.

Langkah 1: Masukkan hasil model 1 sebagai input

Langkah 2: Masukkan $WB_{(r_i)(s_v)}$ di stasiun awal s_1

Contoh Perhitungan ($i = 14$)

$$WB_{(r_{14})(s_1)} = 840$$

Langkah 3: Menentukan waktu datang kereta r_i di setiap stasiun s_v

Contoh Perhitungan ($v = 2; u = 1; i = 14$)

$$WD_{(r_i)(s_v)} = WB_{(r_i)(s_{v-1})} + WP_{(a_u)(s_{v-1},s_v)}$$

$$WD_{(r_{14})(s_2)} = WB_{(r_{14})(s_1)} + WP_{(a_1)(s_1,s_2)} = 840 + 7 = 847$$

Objective Function: Min $WD_{(r_{14})(s_2)} = 847$

Langkah 4: Menentukan waktu berangkat kereta r_i di setiap stasiun s_v

Contoh Perhitungan ($v = 2; u = 1; i = 14$)

$$WB_{(r_i)(s_v)} = WD_{(r_i)(s_v)} + WT_{(a_u)(s_v)}$$

$$WB_{(r_{14})(s_2)} = WD_{(r_{14})(s_2)} + WT_{(a_1)(s_2)} = 847 + 2 = 849$$

Objective Function: Min $WB_{(r_{14})(s_2)} = 849$

Waktu keberangkatan kereta r_{14} di stasiun Kalimas adalah pukul 14:00. Berdasarkan perhitungan langkah 3 dan 4, waktu kedatangan untuk kereta r_{14} , di Stasiun Mesigit adalah pukul 14:07:00. Lalu berangkat kembali pukul 14:09:00. Ulangi langkah ke 3 dan 4 hingga jadwal keberangkatan dan kedatangan untuk seluruh kereta tambahan rencana r_{14} di dapatkan hingga stasiun akhir s_7 . Tabel 4.13 adalah hasil perhitungan manual dan aplikasi untuk kemungkinan kereta r_{14} di stasiun 1 -3.

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Langkah 3 dan 4 untuk Manual dan Aplikasi di Stasiun KLM – SBI Kereta r_{14}

Kode St	Input (dalam menit)		Hasil Manual (dalam menit)		Konversi Waktu	Hasil Aplikasi
KLM						
			$WB_{(r_{14})(s_1)}$	840	14:00:00	14:00:00
MSG	$WP_{(a_1)(s_1,s_2)}$	7	$WD_{(r_{14})(s_2)}$	847	14:07:00	14:07:00
	$WT_{(a_1)(s_2)}$	2	$WB_{(r_{14})(s_2)}$	849	14:09:00	14:09:00
SBI	$WP_{(a_1)(s_2,s_3)}$	4	$WD_{(r_{14})(s_3)}$	853	14:13:00	14:13:00
	$WT_{(a_1)(s_3)}$	0	$WB_{(r_{14})(s_3)}$	853	14:13:00	14:13:00

Hasil perhitungan manual dan aplikasi pada Tabel 4.13 menunjukkan hasil yang sama di setiap stasiun. Artinya rumus pada langkah 3 dan 4 adalah valid. Hasil Langkah 2 – 4 perhitungan manual di rangkum pada Lampiran D. Kemudian langkah selanjutnya adalah eliminasi jadwal.

Langkah 5: Evaluasi kereta r_i berdasarkan batasan *min.headway*

Berikut adalah contoh perhitungan untuk evaluasi *minimum headway* kereta r_{14} terhadap kereta eksisting 32 dan 33 di stasiun 3.

Contoh Perhitungan ($v = 3; u = 1; i = 14; y = 32$)

Tabel 4.14 Contoh Evaluasi *minimum headway* di Stasiun 3 Kereta r_{14}

Batasan	Waktu Datang	Batasan	Waktu Berangkat
4.30	$WB_{(e_y)(s_v)} + h \leq WB_{(r_i)(s_v)}$ $WB_{(e_y)(s_v)} + h \leq WB_{(r_i)(s_v)}$ $843 + 6 \leq 853$	4.32	$WD_{(e_y)(s_v)} + h \leq WD_{(r_i)(s_v)}$ $WD_{(e_y)(s_v)} + h \leq WD_{(r_i)(s_v)}$ $860 + 6 \leq 855$
4.31	(kereta e_{33} tidak memiliki waktu berangkat di s_3)	4.33	(kereta e_{33} tidak memiliki waktu datang di s_3)
∴ WD Memenuhi Batasan		∴ WB Melanggar Batasan	

Berikut adalah hasil perhitungan lebih detail dimana objek yang di periksa adalah kereta r_{14} terhadap kereta eksisting 32 dan 33 di stasiun Kalimas, Mesigit dan Pasar Turi.

Tabel 4.15 Hasil Evaluasi *Minimum Headway* Kereta r_{14}

Kode Kereta		Hasil (dalam menit)					
		Kalimas		Mesigit		Pasar Turi	
		WD	WB	WD	WB	WD	WB
Jayabaya	e_{32}					843	855
Kondisi Normal	(r_{14})		840	847	849	853	853
Kedung Sepur 2	e_{33}	(kereta e_{33} tidak memiliki WD & WB di $s_1 - s_3$)					
Hasil		Memenuhi		Memenuhi		Melanggar	

Tabel 4.14 – 4.15 merupakan contoh perhitungan evaluasi jadwal kereta tambahan terhadap *minimum headway*. Hasil perhitungan model matematis dan aplikasi memberikan hasil yang sama sehingga rumus ini dikatakan valid. Pada mulanya kereta tambahan rencana $(r_{14})(q_1)$ memenuhi batasan 4.30 – 4.31. Namun pada stasiun ke-3 (Stasiun Pasar Turi) melanggar batasan 4.32 sehingga kereta ini harus berhenti dan menunggu kereta Jayabaya melewatinya.

Langkah 6a: Menentukan waktu berangkat kereta f_q di stasiun s_v yang melanggar batasan 4.30 dan 4.32

Contoh Perhitungan ($v = 3; q = 1; i = 14; y = 32$)

$$WB_{(f_q)(r_i)(s_v)} = WB_{(e_y)(s_v)} + h$$

$$WB_{(f_1)(r_{14})(s_3)} = WB_{(e_{32})(s_v)} + h = 855 + 6 = 861$$

$$\text{Objective Function: } WB_{(f_1)(r_{14})(s_3)} = 861$$

Langkah 7: Menentukan waktu datang kereta f_q di stasiun s_v yang melanggar batasan 4.30-4.33

Contoh Perhitungan ($v = 3; q = 1; i = 14; y = 32; u = 1$)

$$WD_{(f_q)(r_i)(s_v)} = WB_{(f_q)(r_i)(s_v)} - WT_{(a_u)(s_v)}$$

$$WD_{(f_1)(r_{14})(s_3)} = WB_{(f_1)(r_{14})(s_3)} - WT_{(a_1)(s_3)} = 861 - 0 = 861$$

Objective Function: $WD_{(f_1)(r_{14})(s_3)} = 861$

Langkah 8: Menentukan waktu berangkat kereta f_q di stasiun s_{v-1} yang melanggar batasan 4.30-4.33

Contoh Perhitungan ($v = 3; q = 1; i = 14; y = 32; u = 1$)

$$WB_{(f_q)(r_i)(s_{v-1})} = WD_{(f_q)(r_i)(s_v)} - WP_{(a_u)(s_{v-1},s_v)}$$

$$WB_{(f_1)(r_{14})(s_2)} = WD_{(f_1)(r_{14})(s_3)} - WP_{(a_1)(s_2,s_3)} = 861 - 4 = 857$$

Objective Function: $WB_{(f_1)(r_{14})(s_2)} = 857$

Langkah 9: Menentukan waktu datang kereta f_q di setiap stasiun s_v

Contoh Perhitungan ($v = 4; q = 1; i = 14; y = 32; u = 1$)

$$WD_{(f_q)(r_i)(s_v)} = WB_{(f_q)(r_i)(s_{v-1})} + WP_{(a_u)(s_{v-1},s_v)}$$

$$WD_{(f_1)(r_{14})(s_4)} = WB_{(f_1)(r_{14})(s_3)} + WP_{(a_1)(s_3,s_4)} = 861 + 9 = 870$$

Objective Function: $WD_{(f_1)(r_{14})(s_4)} = 870$

Langkah 10: Menentukan waktu berangkat kereta f_q di setiap stasiun s_v

Contoh Perhitungan ($v = 4; q = 1; i = 14; y = 32; u = 1$)

$$WB_{(f_q)(r_i)(s_v)} = WD_{(f_q)(r_i)(s_v)} + WT_{(a_u)(s_v)}$$

$$WB_{(f_1)(r_{14})(s_4)} = WD_{(f_1)(r_{14})(s_4)} + WT_{(a_1)(s_4)} = 870 + 0 = 870$$

Tabel 4.16 adalah hasil perhitungan manual dan aplikasi untuk kemungkinan kereta $(f_1)(r_{14})$ di stasiun 1 -3.

Tabel 4.16 Hasil Evaluasi Min Headway Kereta $(f_1)(r_{14})$

Kode Kereta		Hasil (dalam menit)					
		Kalimas		Mesigit		Pasar Turi	
		WD	WB	WD	WB	WD	WB
Jayabaya	e_{32}					843	855
Kondisi Normal	(r_{14})		840	847	849	853	853
Jadwal Ulang	$(r_{14})(f_1)$		840	847	849	861	861
Kedung Sepur 2	e_{33}	(kereta e_{33} tidak memiliki WD & WB di $s_1 - s_3$)					

Pada mulanya kereta (r_{14}) melanggar batas *minimum headway* di stasiun Pasar Turi sehingga harus dijadwal ulang waktu kedatangannya di stasiun sebelumnya yaitu Mesigit. Notasinya menjadi $(f_1)(r_{14})$, sehingga Waktu kedatangan kereta $(f_1)(r_{14})$ di stasiun Pasar Turi adalah pukul 14:21:00 dan di stasiun Kalimas adalah pukul 14:17:00. Lakukan langkah 9 dan 10 terus menerus hingga di dapatkan waktu keberangkatan dan kedatangan di stasiun akhir \hat{V} .

Langkah 11: Evaluasi kereta f_q berdasarkan batasan *min.headway*

Berikut adalah contoh perhitungan untuk evaluasi *min headway* kereta $(f_1)(r_{14})$ terhadap kereta eksisting 32 dan 33 di stasiun 3.

Contoh Perhitungan ($v = 3; u = 1; i = 14; y = 32$)

Tabel 4.17 Contoh Evaluasi min headway di Stasiun 3 Kereta $(f_1)(r_{14})$

Batasan	Waktu Datang	Batasan	Waktu Berangkat
4.46	$WB_{(e_y)(s_v)} + h \leq WB_{(f_q)(r_i)(s_v)}$ $WB_{(e_y)(s_v)} + h \leq WB_{(f_q)(r_i)(s_v)}$ $843 + 6 \leq 861$	4.48	$WD_{(e_y)(s_v)} + h \leq WD_{(f_q)(r_i)(s_v)}$ $WD_{(e_y)(s_v)} + h \leq WD_{(f_q)(r_i)(s_v)}$ $855 + 6 \leq 861$
4.47	(kereta e_{33} tidak memiliki waktu berangkat di s_3)	4.49	(kereta e_{33} tidak memiliki waktu datang di s_3)
\therefore WD Memenuhi Batasan		\therefore WB Memenuhi Batasan	

Tabel 4.17 merupakan contoh perhitungan evaluasi jadwal kereta tambahan terhadap *minimum headway*. Hasil perhitungan model matematis dan aplikasi memberikan hasil yang sama sehingga rumus ini dikatakan valid. Kereta $(f_1)(r_{14})$ di stasiun $s_1 - s_3$ tidak melanggar batas, kemudian lakukan perhitungan waktu datang dan waktu berangkat (Langkah 9 dan 10) hingga stasiun akhir. Lakukan pengecekan langkah 11, jika melanggar, maka notasi kereta rencana menjadi f_2 yang harus berhenti di stasiun v dan menunggu hingga kereta e_y atau e_{y+1} melewatinya. Sehingga waktu berangkat kereta f_2 harus dihitung kembali seperti langkah 6 - 10 kemudian di evaluasi kembali seperti langkah 11. Ulangi ketiga langkah tersebut hingga didapatkan waktu datang di stasiun akhir \hat{V} . Kereta f_q yang telah dihitung waktu perjalanannya hingga stasiun akhir berubah notasinya menjadi kereta valid k_b yang kemudian dihitung total waktu perjalanannya.

Langkah 12: Hitung total waktu perjalanan kereta valid k_b .

Contoh Perhitungan ($v = 1; i = 14; b = 14$)

$$WP_{(k_b)(r_i)(s_v, s_{v+1})} = WD_{(k_b)(r_i)(s_{v+1})} - WB_{(k_b)(r_i)(s_v)}$$

$$WP_{(k_{14})(r_{14})(s_1, s_2)} = WD_{(k_{14})(r_{14})(s_2)} - WB_{(k_{14})(r_{14})(s_1)} = 847 - 840 = 7$$

$$WT_{(k_b)(r_i)(s_{v+1})} = WB_{(k_b)(r_i)(s_{v+1})} - WD_{(k_b)(r_i)(s_{v+1})}$$

$$WT_{(k_{14})(r_{14})(s_2)} = WB_{(k_{14})(r_{14})(s_2)} - WD_{(k_{14})(r_{14})(s_2)} = 857 - 847 = 10$$

$$\text{Min } \sum_s (WP_{(k_b)(r_i)(s_v, s_{v+1})} + WT_{(k_b)(r_i)(s_v)}) = 7 + 10 + \dots + 0 + 6 = 339$$

Pada langkah 12 memiliki fungsi tujuan untuk meminimasi total waktu perjalanan. Dimana kereta (r_{14}) setelah melakukan penjadwalan ulang sebanyak 5x didapatkan total waktu perjalanan 5 jam 39 menit. Kemudian Lakukan Langkah 2 sampai 9 untuk seluruh target waktu r_i yang telah

ditentukan. Setelah didapatkan jadwal untuk masing – masing r_i kemudian digambarkan pada grafik *time-space*.

BAB 5

ANALISA DAN PENGAMBILAN KEPUTUSAN

Pada tahap ini dilakukan percobaan beberapa skenario, analisa dan interpretasi terhadap hasil eksperimen terhadap penelitian yang dilakukan.

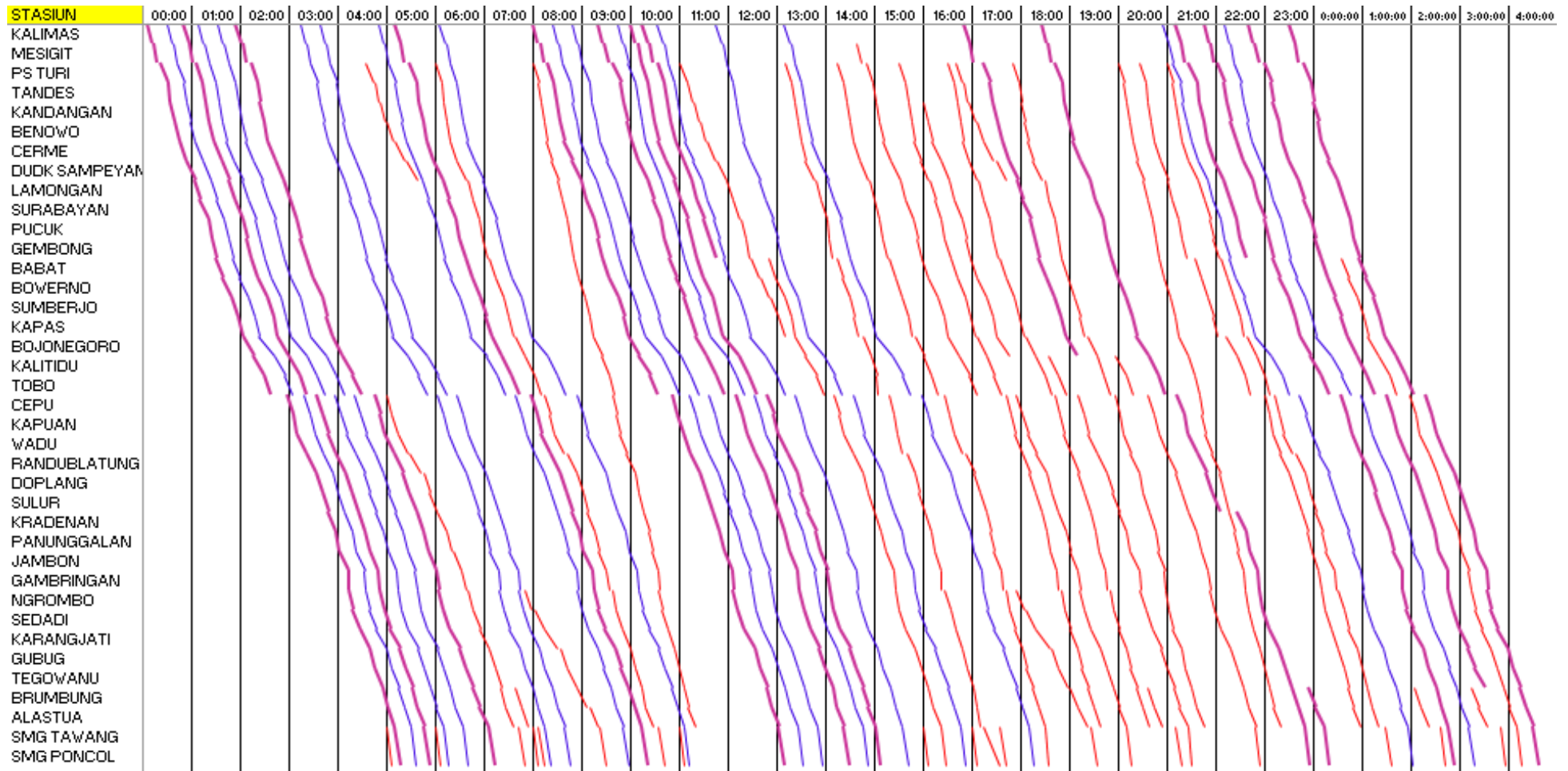
5.1 Percobaan Model 1

Pembuatan skenario pada model 1 dilakukan dengan mengubah input *minimum headway* hingga didapatkan jumlah kereta yang dapat ditambahkan. Pada penelitian ini akan mengkaji ulang nilai *minimum headway* 6 - 24 menit dengan kenaikan tiap menit untuk mengetahui pengaruh *minimum headway* terhadap penambahan kereta.

5.1.1 Hasil dan Analisis Model 1

Skenario pada model 1 adalah mengubah variabel *minimum headway* menjadi 6 – 15 menit. Hasil grafik *space-time* dari *minimum headway* 6 menit dapat dilihat pada Gambar 5.1. Sedangkan grafik *space-time* beberapa *minimum headway* lainnya dapat dilihat pada Lampiran E.

Gambar 5.1 Grafik *time space* kereta eksisting dengan kereta tambahan menggunakan *min headway* 6 menit setelah 3 kali *running*. Sumbu Y merepresentasikan *space* yaitu stasiun sepanjang SBY Kalimas hingga SMG Poncol. Sedangkan sumbu X merepresentasikan *time* atau waktu selama 24 jam. Oleh sebab itu grafik tersebut dikatakan grafik *space-time* karena mengandung waktu dan tempat. Arc berwarna oranye merupakan grafik perjalanan kereta penumpang eksisting. Arc berwarna ungu merupakan grafik perjalanan kereta barang eksisting. Sedangkan arc berwarna biru merupakan grafik perjalanan kereta tambahan rencana yang memenuhi batasan *minimum headway*. Berdasarkan Gambar 5.1 menunjukkan hasil perhitungan dengan *minimum headway* 6 menit didapatkan 15 kereta barang tambahan beserta jadwal keberangkatan dan kedatangan di setiap stasiun.



Gambar 5.1 Grafik *Space-time* dengan *Minimum Headway* 6 Menit pada Model 1

Keterangan:

Kereta Penumpang Eksisting

Kereta Barang Eksisting

Kereta Tambahan Hasil Model 1

Keterangan: Urutan kereta dari kiri ke kanan: Kamandaka 1, KA 2503, KB 1, KA 2507, Argo Sindoro, KB 2, KB 10, KA 2513, Komuter 1, Blora Jaya, Menoreh, Kalijaga, Kedung Sepur 1, KB 3, KB 11, KB 14, KA 2511, Maharani, Kamandaka 2, Argo Anggrek 1, KB 4, KA 2517, KB 5, KB 12, KA 2713, KB 6, KA 2709, Argo Muria, KA 2515, KRD, Kamandaka 3, Ciremai, Jayabaya, Kedung Sepur 2, Brantas, Ambarawa, KA 2545, KA 2519, Gumarang, Harina, Komuter 2, KB 7, KB 13, KB 15, KA 2543 F, KA 2537F, Matarmaja, Sembrani, KA 2501, Majapahit, Argo Anggrek 2, KA 131 (PARCEL), Kertajaya, KB 8, KA 2505, KA 2533F, KB 9, KA 2535F, KA 2509.

Skenario yang dibangun pada model 1 adalah dengan merubah variabel *minimum headway* yaitu 6 – 24 menit. Dirancangnya skenario ini juga merupakan bagian dari teknik validasi yaitu *cause effect testing* yaitu untuk mengetahui pengaruh *minimum headway* terhadap hasil kereta tambahan. Dengan penggantian variabel *minimum headway* diharapkan dapat mengetahui banyaknya kereta tambahan yang dihasilkan. Untuk mendapatkan jumlah kereta yang optimum diperlukan beberapa kali *running*. Hal ini disebabkan dalam pembuatan kereta tambahan adalah membandingkan antara 2 kereta eksisting. Sehingga setiap 2 kereta eksisting hanya menghasilkan 1 kereta tambahan yang valid. Kemudian kereta tersebut menjadi masukkan pada *running* sesudahnya untuk membangun jadwal kereta tambahan kembali. Jika *running* selanjutnya dapat menemukan jadwal kereta yang valid, maka akan di munculkan pada *sheet Output Final* dan akan menjadi input kembali. Namun apabila tidak, akan mengeluarkan *dialog box* “No Feasible Solution”. Berikut adalah hasil kereta tambahan dengan *minimum headway* untuk setiap *running*.

Gambar 5.2 Jumlah Kereta Tambahan Pada *Minimum Headway* 6– 24 Menit

Gambar 5.2 merupakan hasil perhitungan penambahan kereta pada model 1. Sebagai contoh pada *minimum headway* 6 menit menghasilkan penambahan 9 kereta barang pada *running* 1, pada *running* 2 menghasilkan 4 kereta barang dan pada *running* 3 menghasilkan 2 kereta barang. Sehingga apabila di jumlahkan kereta yang dapat ditambahkan dengan *minimum headway* 6 menit adalah 13 kereta barang. Begitu juga dengan *minimum headway* yang lain. Sedangkan dengan *minimum headway* 24 menit adalah 0 kereta yaitu tidak didapatkan kereta tambahan. Berikut merupakan rangkuman hasil jumlah kereta tambahan pada *minimum headway* 6 – 24 menit.

Gambar 5.3 Rangkuman Hasil Total Penambahan Kereta

Berdasarkan Gambar 5.3 dapat dilihat bahwa jumlah kereta valid terbanyak dihasilkan pada *minimum headway* 6 menit. Sehingga *minimum headway* yang optimum adalah 6 menit yang dapat menghasilkan 15 kereta tambahan. Hal ini disebabkan semakin singkat *minimum headway* yang di masukkan, maka jadwal rencana yang dibangun juga akan semakin banyak. Gambar 5.4 merupakan jumlah kereta tambahan rencana yang dibangun pada *minimum headway* 6 – 24 menit.

Gambar 5.4 Kereta Tambahan Rencana yang Dibangun pada Setiap *Minimum Headway*

Berdasarkan Gambar 5.4 dapat dilihat bahwa semakin lama *minimum headway* yang dimasukkan, maka kereta tambahan rencana yang dibangun akan semakin sedikit. Semakin jauh pula jarak waktu antar kereta tambahan rencana satu dengan lainnya. Tabel 5.1 merupakan contoh pembuatan jadwal kereta tambahan rencana pada *minimum headway* 6, 10, 12, 16, 20 dan 24 menit.

Tabel 5.1 Contoh Pembuatan Kereta Tambahan Rencana Tahap Awal

Kode Kereta	<i>Minimum Headway</i>					
	6 menit	10 menit	12 menit	16 menit	20 menit	24 menit
KA 2503	00:05:00	00:05:00	00:05:00	00:05:00	00:05:00	00:05:00
	00:11:00	00:15:00	00:17:00	00:21:00	00:25:00	00:29:00
	00:17:00	00:25:00	00:29:00	00:37:00		
	00:23:00	00:35:00	00:41:00			
	00:29:00	00:45:00				
	00:35:00					
	00:41:00					
	00:47:00					
KA 2507	00:50:00	00:50:00	00:50:00	00:50:00	00:50:00	00:50:00

Berdasarkan Tabel 5.1 dapat diketahui bahwa semakin lama *minimum headway* yang dimasukkan, maka kereta tambahan rencana yang dibangun akan semakin sedikit. Sebagai contoh dengan *minimum headway* 6 menit antara kereta KA 2503 dengan KA 2507 dapat dibuat 7 jadwal kereta tambahan rencana, sedangkan pada *minimum headway* 10 menit hanya terdapat 4 jadwal. Kereta tambahan rencana yang dibangun nantinya akan di evaluasi berdasarkan batasan *minimum headway*. Semakin sedikit kereta tambahan rencana yang dibuat, maka akan semakin sedikit pula jadwal yang di evaluasi. Sehingga semakin sedikit pula jadwal valid yang dihasilkan. Sehingga jumlah kereta tambahan rencana yang dibangun juga semakin sedikit. Akibatnya, jumlah kereta yang valid juga akan semakin sedikit. Berikut merupakan detil hasil jadwal keberangkatan kereta tambahan di stasiun awal pada *minimum headway* 6 – 12 menit. Hasil jadwal lengkap dapat dilihat pada Lampiran F.

Tabel 5.2 Detil Jadwal Keberangkatan Kereta Tambahan pada Setiap *Minimu Headway*

No Kereta	<i>Minimum Headway</i>						
	6 menit	7 menit	8 menit	9 menit	10 menit	11 menit	12 menit
1	00:29:00	01:11:00	01:14:00	01:17:00	01:10:00	01:12:00	01:14:00
2	01:08:00	01:32:00	03:15:00	03:16:00	03:25:00	03:23:00	03:19:00
3	01:32:00	03:19:00	06:06:00	08:27:00	08:30:00	08:33:00	08:36:00
4	03:13:00	04:50:00	08:32:00	08:54:00	09:00:00	13:11:00	
5	03:37:00	06:06:00	08:56:00	10:33:00	10:35:00		
6	04:49:00	08:28:00	10:31:00	11:45:00	11:45:00		

No Kereta	Minimum Headway						
	6 menit	7 menit	8 menit	9 menit	10 menit	11 menit	12 menit
7	06:04:00	08:49:00	11:43:00	13:15:00	13:15:00		
8	08:24:00	10:36:00	13:11:00	22:12:00	22:15:00		
9	08:48:00	11:46:00	22:09:00				
10	09:44:00	13:10:00					
11	10:33:00	22:06:00					
12	11:45:00						
13	13:09:00						
14	20:55:00						
15	22:09:00						

Tabel 5.2 merupakan jadwal *final* untuk *minimum headway* 6 – 12 menit. Jadwal hasil setiap *minimum headway* memiliki pola yang sama. Misal pada *minimum headway* 6 menit, apabila tidak terdapat kereta eksisting yang menghalangi, maka jarak antara kereta satu dengan lainnya adalah 24 menit. Contoh pada kereta tambahan 2 dengan 3, kereta 4 dengan 5 serta kereta 8 dengan 9. Begitu juga pada *minimum headway* 7 menit jarak antara kereta satu dengan lainnya adalah 21 menit. Seperti pada kereta tambahan 1 dengan 2 serta kereta 6 dengan 7. Selain itu juga terdapat kesamaan jadwal hasil pada percobaan perubahan *minimum headway*. Contoh pada *minimum headway* 6 dan 7 menit yang memiliki jadwal kereta tambahan pukul 01:32:00. Hasil jadwal antar *minimum headway* juga memiliki selisih yang sama. Misal antara *minimum headway* 7, 8 dan 9 memiliki selisih waktu 3 menit pada kereta tambahan 1 yaitu pukul 01:11:00, 01:14:00 dan 01:17:00 serta kereta tambahan 11 yaitu pukul 22:06:00, 22:09:00, 22:12:00 dan 22:15:00. Contoh lainnya pada *minimum headway* 10, 11 dan 12 memiliki selisih waktu 2 menit pada kereta tambahan 1 yaitu pukul 01:10:00, 01:12:00 dan 01:14:00. Namun tidak semua jadwal *final* ini memiliki pola yang sama. Hal ini dipengaruhi oleh jadwal kereta eksisting sebelum dan sesudahnya.

Penambahan kereta barang dan jadwalnya tidak dipengaruhi oleh faktor waktu *minimum headway* saja. Tetapi terdapat faktor lain yang mempengaruhi seperti kepadatan jadwal pada jadwal eksisting serta lamanya waktu perjalanan kereta eksisting. Semakin padat jadwal eksisting dan semakin lama waktu perjalanan kereta eksisting, maka semakin sedikit *train slot* yang dibangun dikarenakan jadwal tersedia semakin sedikit. Kemungkinan terjadinya bentrok juga akan semakin tinggi sehingga jadwal kereta tambahan yang dihasilkan juga semakin sedikit. Hal ini disebabkan apabila kereta tambahan mengalami bentrok dengan kereta eksisting, pada model 1 mengharuskan untuk mengeliminasi jadwal kereta tersebut.

Faktor - faktor inilah yang dapat mempengaruhi penambahan kereta barang. Namun pada penelitian ini salah satu faktor yang dapat dihitung secara matematis adalah waktu *minimum*

headway. Dengan menggunakan skenario yang ditentukan, penentuan jumlah kereta tambahan yang dihasilkan ternyata dipengaruhi oleh nilai *minimum headway* yang di masukkan. Waktu *minimum headway* yang berbeda juga akan memberikan hasil penambahan kereta yang berbeda. Oleh sebab itu dapat disimpulkan bahwa nilai *minimum headway* berpengaruh terhadap banyaknya kereta tambahan yang dihasilkan.

5.1.2 Analisis Model Matematis *Objective 1*

Model matematis yang dibuat pada penelitian ini adalah model matematis yang sesuai dengan kasus nyata yaitu penjadwalan pada lintasan *single line double track*. Konsep penambahan kereta serta jenis – jenis batasan diambil dari penelitian acuan kemudian dibuat model matematisnya.

Waktu perjalanan kereta acuan yang digunakan merupakan rata – rata waktu perjalanan kereta barang. Langkah pertama pada penelitian ini adalah menentukan waktu perjalanan dari kereta acuan. Waktu perjalanan merupakan waktu tempuh dari stasiun satu ke stasiun sesudahnya. Sedangkan waktu tunggu adalah lamanya waktu tunggu suatu kereta untuk melakukan perjalanan kembali. Setiap stasiun memiliki waktu perjalanan dan waktu tunggu yang harus dihitung. Sehingga total terdapat 38 waktu perjalanan dan 38 waktu tunggu sebagai masukkan.

Langkah selanjutnya adalah menentukan banyaknya kereta rencana antar kereta eksisting satu dengan sesudahnya. Kemudian seluruh kereta rencana akan dijumlahkan sehingga mendapatkan total kereta tambahan rencana untuk seluruh jadwal kereta eksisting. Setelah didapatkan jumlah kereta tambahan rencana, langkah selanjutnya adalah menentukan waktu berangkat dan waktu datang setiap kereta rencana di setiap stasiun. Setiap stasiun memiliki waktu berangkat dan waktu datang. Sehingga apabila pada percobaan *minimum headway* 6 menit terdapat 198 kereta rencana, maka akan terdapat nilai 7.524 waktu berangkat dan 7.524 waktu datang.

Setelah didapatkan waktu berangkat dan waktu datang seluruh kereta rencana di setiap stasiun, langkah selanjutnya adalah melakukan evaluasi batasan *minimum headway*. Untuk 1 kereta rencana pada 1 stasiun, terdapat 4 batasan yaitu 2 batasan untuk waktu berangkat dan 2 batasan untuk waktu datang. Sehingga apabila terdapat 198 kereta rencana, terdapat 30.096 (198 x 4 x 38) batasan. Kereta rencana yang memenuhi batasan hingga stasiun akhir, akan menjadi kereta tambahan valid. Kemudian jumlahkan kereta yang valid sehingga didapatkan total kereta tambahan yang akan di masukkan pada jadwal dan di gambarkan pada grafik *space-time*. Untuk seluruh langkah, percobaan perhitungan kecil yang telah dilakukan memberikan hasil yang sama

antara perhitungan manual dan aplikasi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa model matematis yang dibangun adalah valid, mampu merepresentasikan kasus yang ada.

5.1.3 Analisis DST *Objective 1*

Alat bantu yang dibangun pada *Macro Excel* bertujuan untuk membantu perhitungan yang sangat banyak baik jumlah *constraint* dan data masukkan. Hasil dari aplikasi juga harus diuji validasi untuk mengetahui apakah aplikasi memberikan hasil yang valid atau tidak. Sub bab ini juga merupakan penjelasan salah satu teknik validasi yaitu *performance testing* yang bertujuan untuk melihat kestabilan performansi *software* dalam melakukan percobaan baik dari segi komputasi maupun hasil yang didapatkan. Berikut merupakan grafik hasil *running* dengan *minimum headway* 6 - 24 menit pada 3 kali percobaan.

Gambar 5.5 Jumlah Kereta dari Running 1 - 7 pada Percobaan 1 - 3 untuk *Min Headway* 9 – 24 Menit

Berdasarkan Gambar 5.4 setiap percobaan memberikan hasil jumlah kereta yang sama sehingga dapat disimpulkan bahwa DST yang dibangun adalah valid. Hasil dari DST juga akan dievaluasi berdasarkan lamanya waktu komputasi. Berikut adalah waktu yang dibutuhkan aplikasi untuk melakukan perhitungan pada *running* 1 – 3 dengan *miimum headway* 6 – 24 menit.

Gambar 5.6 Waktu Komputasi untuk *Min Headway* 6 - 24 Menit

Gambar 5.5 merupakan Waktu Komputasi untuk perhitungan dengan *Minimum Headway* 6 - 15 Menit. Sedangkan Gambar 5.6 merupakan rangkuman total waktu komputasi untuk masing – masing *minimum headway*.

Gambar 5.7 Total Waktu Komputasi untuk *Minimum Headway* 6 - 24 Menit

Berdasarkan Gambar 5.5 dan 5.6 pada *minimum headway* 6 menit membutuhkan waktu komputasi yang paling lama yaitu 105,99 detik jika dibandingkan dengan *minimum headway* lainnya. Namun waktu komputasi yang diberikan relatif stabil pada percobaan *minimum headway* 11 – 23 menit. Faktor *human error* juga menjadi pengaruh deviasi waktu yang dihasilkan karena percobaan waktu komputasi hanya menggunakan bantuan *stopwatch*.

Berdasarkan percobaan waktu komputasi yang dilakukan, dapat di analisa bahwa semakin pendek waktu *minimum headway* yang di masukkan maka akan memberikan waktu komputasi yang semakin lama. Hal ini disebabkan semakin singkat waktu *minimum headway*, maka semakin banyak jumlah kereta tambahan yang dibangun, sehingga jadwal yang harus di evaluasi juga semakin banyak. Akibatnya waktu komputasi yang dibutuhkan juga semakin lama, dan sebaliknya. Selain itu semakin banyak *running* yang dilakukan, maka semakin lama waktu komputasi yang dibutuhkan. Hal ini disebabkan setiap kali *running* menghasilkan kereta tambahan yang akan menjadi *input* pada *running* sesudahnya. Oleh sebab itu semakin banyak *running* maka kereta *input* yang di eveluasi juga akan semakin banyak, sehingga membutuhkan waktu komputasi yang lebih lama.

5.2 Percobaan Model 2

Hasil pada model 1 akan menjadi masukkan pada perhitungan model 2. *Minimum headway* yang digunakan adalah 6 menit dikarenakan pada model 1 memberikan kereta tambahan terbanyak, sehingga waktu *minimum headway* yang di evaluasi pada model 2 adalah *minimum headway* 6 menit. Jadwal *final* yang dihasilkan pada *minimum headway* 6 menit pada model 1 akan di evaluasi untuk dicari jadwal perjalanannya. Tujuan pada model 2 adalah mencari kembali jumlah kereta tambahan dengan memperbolehkan adanya penyalipan oleh kereta eksisting. Berikut adalah daftar waktu berangkat di stasiun awal yang menjadi masukkan pada model 2.

Tabel 5.3 Input Waktu Berangkat di Stasiun Awal

No Kereta Model 2	Input Waktu Berangkat Model 2
16	02:22:00
17	03:25:00
18	04:13:00
19	05:26:30
20	07:14:00
21	08:36:00
22	10:08:00
23	11:09:00
24	12:27:00
25	17:02:00
26	21:32:00

Tabel 5.3 merupakan daftar waktu berangkat di stasiun awal berdasarkan jadwal *final* dari model 1. Waktu berangkat didapatkan dari nilai tengah waktu berangkat antar kereta pada model 1. Sebagai contoh kereta tambahan 3 dengan waktu berangkat pukul 01:32:00 dan kereta 4

pada pukul 03:13:00 sehingga nilai tengahnya adalah pukul 02:22:00 yang dijadikan sebagai input waktu berangkat di stasiun awal pada model 2. Waktu keberangkatan ini yang akan di uji waktu perjalanannya menuju stasiun akhir dengan memperbolehkan terjadinya penyalipan oleh kereta eksisting.

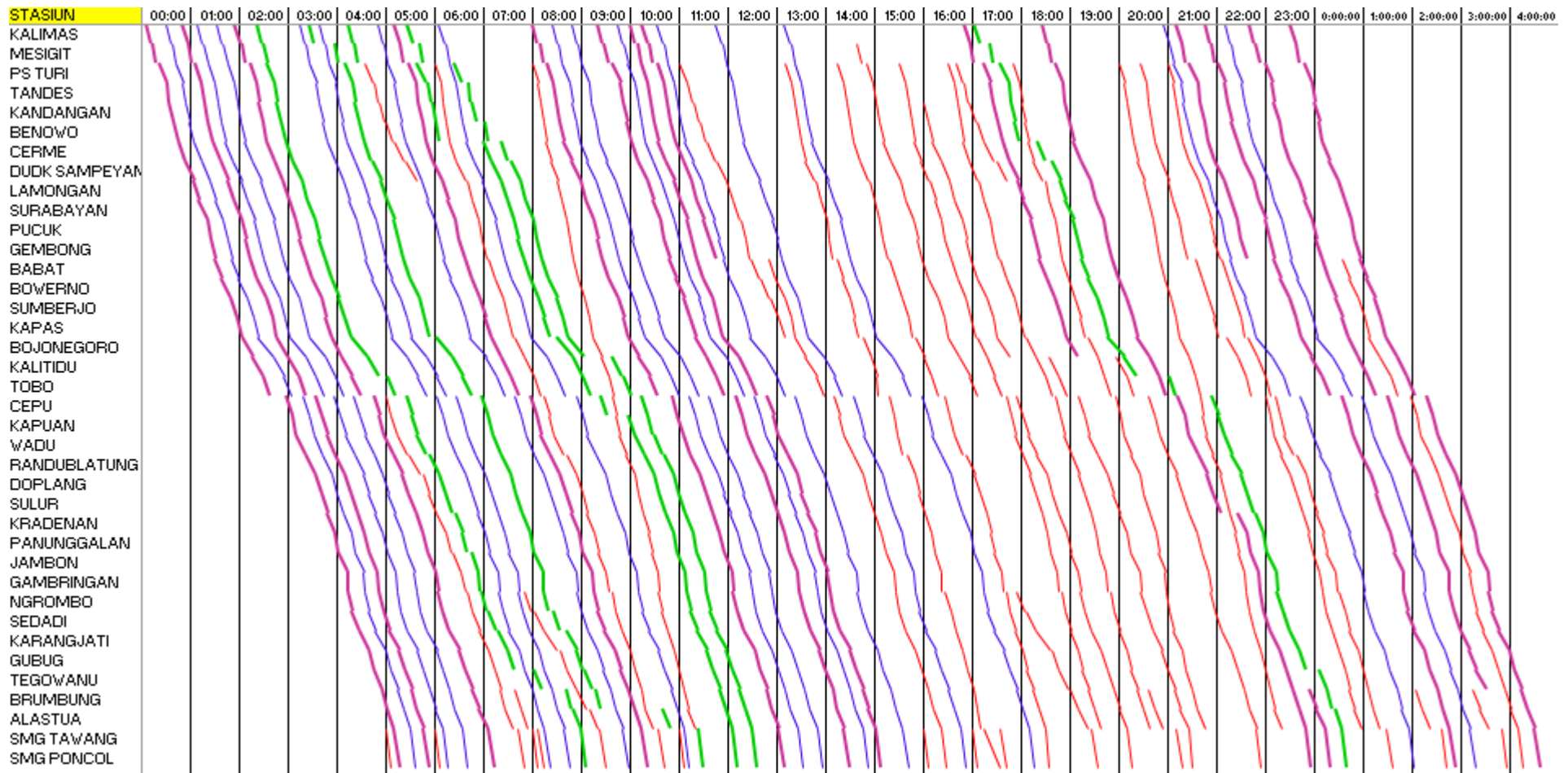
5.2.1 Hasil dan Analisis Model 2

Peraturan terkait maksimum keterlambatan kereta barang yang diperbolehkan adalah 3 jam (Agus, 2018). Oleh sebab itu kereta tambahan pada model 2 yang memberikan keterlambatan waktu perjalanan lebih dari 3 jam harus di eliminasi. Waktu perjalanan standar dari kereta acuan menuju SMG Poncol adalah 5 jam 8 menit. Berdasarkan peraturan yang telah ditetapkan, kereta tambahan dengan total waktu perjalanan lebih dari 8 jam 8 menit harus di eliminasi. Berikut adalah Grafik *Space-time* dengan seluruh waktu keberangkatan yang telah ditentukan sebelumnya. Berikut merupakan hasil total waktu perjalanan dari kereta model 2.

Tabel 5.4 Hasil Kereta Tambahan Model 2

No Kereta	Waktu Berangkat	Waktu Datang	Waktu Perjalanan	Standar Waktu Perjalanan	Keterlambatan	Keputusan
20	02:22:30	09:06:00	06:43:30	05:08:00	01:35:30	Pertahankan
21	03:25:00	11:30:00	08:05:00	05:08:00	02:57:00	Pertahankan
22	04:13:00	12:12:30	07:59:30	05:08:00	02:51:30	Pertahankan
23	05:26:30	12:36:30	07:10:00	05:08:00	02:02:00	Pertahankan
25	07:14:00	16:58:00	09:44:00	05:08:00	04:36:00	Eliminasi
26	08:36:00	18:00:00	09:24:00	05:08:00	04:16:00	Eliminasi
28	10:08:30	22:18:00	12:09:30	05:08:00	07:01:30	Eliminasi
29	11:09:00	22:36:00	11:27:00	05:08:00	06:19:00	Eliminasi
30	12:27:00	23:21:00	10:54:00	05:08:00	05:46:00	Eliminasi
31	17:02:00	00:40:00	07:38:00	05:08:00	02:30:00	Pertahankan
32	21:32:00	06:58:00	09:26:00	05:08:00	04:18:00	Eliminasi

Tabel 5.4 menunjukkan jika kereta tambahan dengan waktu keterlambatan kurang dari 3 jam, maka kereta tersebut dikatakan valid, dan sebaliknya. Hal ini sesuai dengan peraturan keterlambatan yang telah dijelaskan. Sehingga pada model 2 hanya terdapat 5 kereta yang dipertahankan dan menjadi kereta tambahan. Grafik *space-time* akhir dengan hasil model 1 (*arc* berwarna biru) dan kereta tambahan model 2 (*arc* berwarna hijau) dapat dilihat pada Gambar 5.8.



Gambar 5.8 Grafik *Space-time* pada Model 2

Keterangan:

Kereta Penumpang Eksisting

Kereta Barang Eksisting

Kereta Tambahan Hasil Model 1

Kereta Tambahan Hasil Model 2

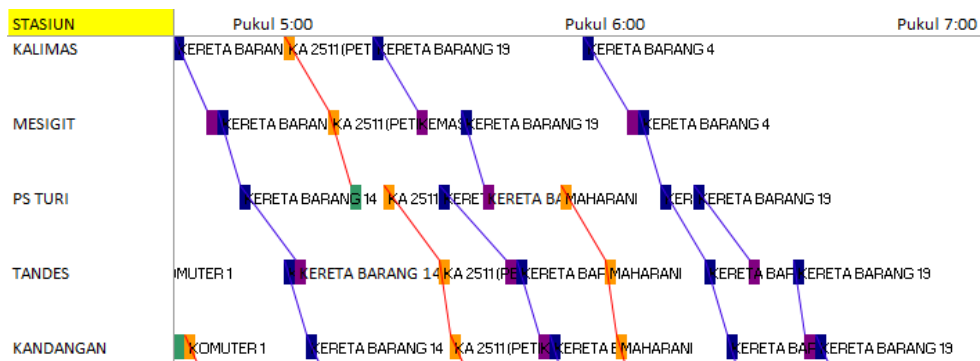
Keterangan: Urutan Kereta dari kiri ke kanan: Kamandaka 1, KA 2503, KB 1, KA 2507, Argo Sindoro, KB 2, KB 10, KA 2513, KB 6, Komuter 1, Blora Jaya, Menoreh, Kalijaga, Kedung Sepur 1, KB 3, KB 17, KB 11, KB 18, KB 14, KA 2511, KB 19, Maharani, Kamandaka 2, Argo Anggrek 1, KB 4, KA 2517, KB 5, KB 12, KA 2713 (SEMEN), KB 6, KA 2709 (SEMEN), Argo Muria, KA 2515, KR D, Kamandaka 3, Ciremai, Jayabaya, Kedung Sepur 2, Brantas, Ambarawa, KA 2545, KA 2519, Gumarang, Harina, Komuter 2, KB 7, KB 13, KB 15, KA 2543 F, KB 20, KA 2537F, Matarmaja, Sembrani, KA 2501, Majapahit, Argo Anggrek 2, KA 131 (PARCEL), Kertajaya, KB 8, KA 2505, KA 2533F, KB 9, KA 2535F, KA 2509.

Berdasarkan Gambar 5.8 Model 1 menghasilkan 15 kereta tambahan, dan model 2 menghasilkan 5 kereta tambahan. Sehingga apabila di jumlahkan menjadi 20 kereta tambahan. Pada model 2 kereta eksisting diperbolehkan untuk melakukan penyusulan terhadap kereta tambahan sesuai dengan *overtaking strategy* yang telah dijelaskan pada sub bab 2.3.3. Berikut merupakan contoh penyusulan kereta eksisting terhadap kereta tambahan.

Tabel 5.5 Contoh Jadwal Kereta Maharani dan Kereta Barang 19

	Kalimas	Mesigit		PS Turi		Tandes	
Kode Kereta	Waktu Berangkat	Waktu Datang	Waktu Berangkat	Waktu Datang	Waktu Berangkat	Waktu Datang	Waktu Berangkat
Kereta Barang 19	05:26:00	05:33:00	05:42:00	05:46:00	06:24:00	06:33:00	06:41:00
Maharani					06:00:00	06:08:00	06:08:00

Tabel 5.5 merupakan contoh *overtaking strategy* yang dilakukan oleh kereta eksisting terhadap kereta tambahan. Sebagai contoh kereta Maharani dengan kereta semen 19. Pada mulanya kereta 19 berangkat pukul 05:26:00 di Stasiun Kalimas dan berjalan dengan waktu perjalanan normal hingga di Stasiun Pasar Turi pukul 05:46:00. Namun pada pukul 06:00:00 kereta Maharani berangkat di Stasiun Pasar Turi. Akibatnya kereta barang 19 harus berhenti dan menunggu kereta Maharani melintasinya. Setelah kereta Maharani melaluinya, Kereta barang 19 baru dapat melanjutkan perjalanannya di Stasiun Pasar Turi pukul 06:24:00 dan sampai di stasiun Tandes pukul 06:33:00. Kereta Barang 19 harus menunggu di stasiun Pasar Turi selama 38 menit yang seharusnya pada kondisi normal waktu tunggu hanya 4 menit. Gambar 5.9 merupakan contoh Grafik *Space-time* untuk kasus peyalipan pada Tabel 5.5.



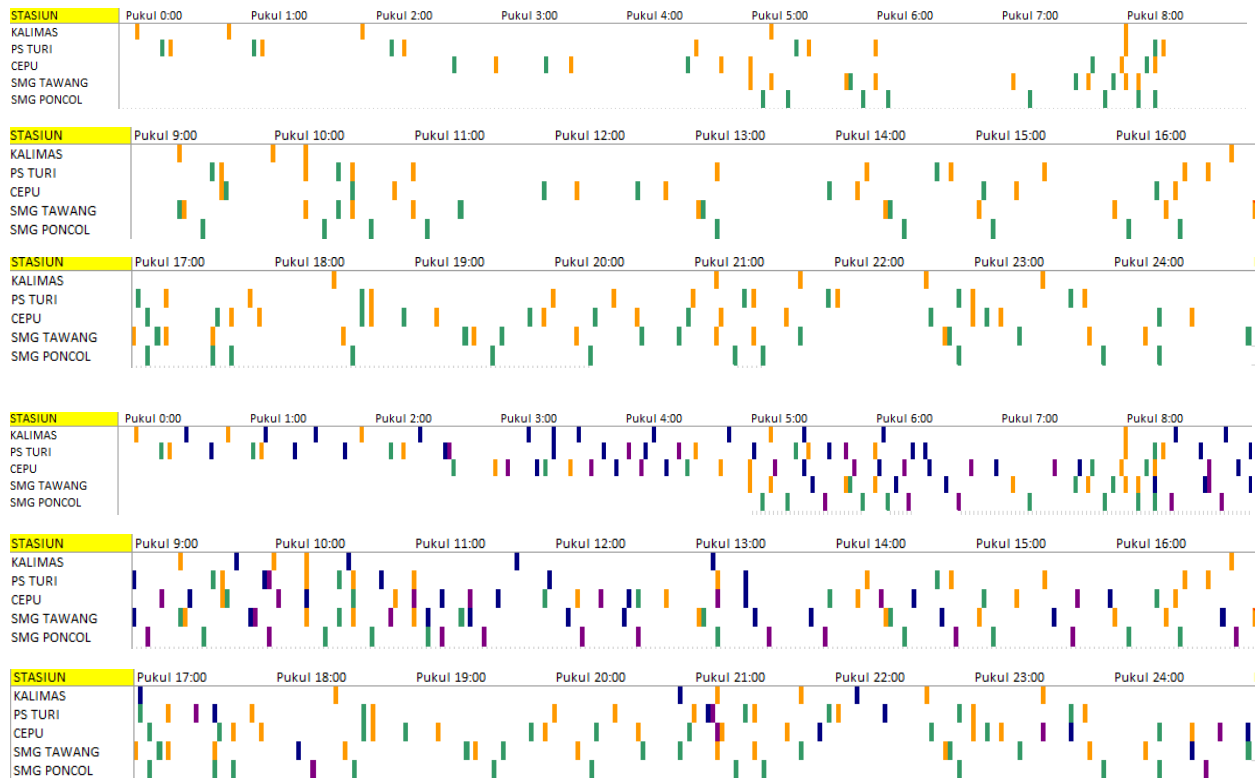
Gambar 5.9 Contoh Penyusunan pada Model 2

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat dianalisis bahwa *overtaking strategy* digunakan ketika kereta dengan kelas yang berbeda berjalan menuju stasiun yang sama dengan jarak lebih kecil dari *minimum headway* yang telah ditetapkan. Hal ini mengharuskan kereta dengan kelas paling rendah berhenti di stasiun terdekat dan menunggu kereta dengan kelas lebih tinggi melewatinya. Kemudian kereta kelas rendah baru diperbolehkan untuk melanjutkan perjalanan. Sedangkan berdasarkan penelitian ini, terjadinya keterlambatan kereta api dipengaruhi oleh kepadatan lalu lintas kereta api. Semakin padat jadwal, maka semakin besar pula kemungkinan terjadinya keterlambatan. Namun berdasarkan wawancara yang telah dilakukan, terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi keterlambatan seperti dari segi teknis yaitu adanya perbaikan rangkaian, ketersediaan lokomotif dan posisi barang yang masih berada di pelabuhan (Agus, 2018). Menurut Sudiarto (2018) Selain dari aspek teknis, aspek infrastruktur juga mempengaruhi waktu perjalanan kereta api yaitu minimnya jalur simpang yang digunakan untuk bongkar muat barang, minimnya sebaran terminal serta minimnya konektivitas (reaktivitas rel) jalur kereta api ke pelabuhan. Sedangkan dari aspek sarana adalah minimnya jenis dan jumlah gerbong kereta api untuk multi komoditi serta *packing* yang aman untuk *handling* dan pengangkutan. Permasalahan – permasalahan ini dapat diminimalisir dengan inovasi – inovasi riset terkait optimasi kereta api serta adanya dukungan dari *user* dan pemerintah terkait regulasi angkutan barang. Pemerintah dapat mendukung dengan pembuatan regulasi terkait tata cara pengangkutan, bongkar dan muat, penyimpanan atau penimbunan, pengangkutan dengan mempertimbangkan jenis komoditi, konektivitas multi-moda, standar kompetensi SDM, dan lain-lain.

5.2.2 Analisis Kepadatan Jadwal dan Penambahan Kapasitas

Penambahan 20 kereta tambahan dari model 1 dan model 2 juga berpengaruh terhadap kepadatan jadwal eksisting. Pada awalnya, jadwal eksisting tidak terlalu padat karena hanya

terdapat 44 kereta penumpang dan barang, namun sekarang menjadi 64 kereta yang terdiri dari 26 kereta penumpang, 1 kereta parcel, 2 kereta semen, 15 kereta barang eksisting dan 15 kereta barang tambahan. Berikut adalah contoh kepadatan jadwal pada kondisi eksisting dan kondisi dengan kereta tambahan.



Gambar 5.10 *Blocking Time Diagram* Kondisi Eksisting (gambar 1-3) dan Kondisi dengan Kereta Tambahan (gambar 4-6)

Berdasarkan Gambar 5.10 dapat dilihat kondisi sebelum dan sesudah adanya kereta tambahan. Namun gambar tersebut hanyalah cuplikan pada beberapa stasiun dan waktu keberangkatan beberapa kereta selama 24 jam. Berdasarkan gambar tersebut dapat disimpulkan dengan adanya kereta tambahan sangat berpengaruh terhadap kepadatan jadwal dan jalur kereta api.

Penambahan kereta barang tidak hanya dianalisa secara umum melalui kepadatan jadwal nya namun juga berdasarkan kapasitas angkutnya. Hasil kereta barang yang dapat ditambahkan terhadap jadwal eksisting memberikan jumlah yang berbeda – beda untuk *minimum headway* yang berbeda. Jumlah kereta barang yang berbeda, akan menghasilkan kapasitas angkut yang berbeda pula. Dengan *minimum headway* 6 menit menghasilkan 20 kereta tambahan sehingga kapasitas angkut yang dihasilkan adalah sebagai berikut:

$$1 \text{ Gerbong Datar} = 2 \text{ TEUs}$$

1 rangkaian kereta = 30 Gerbong Datar

kapasitas 1 rangkaian kereta = 2 TEUs x 30 GD = 60 TEUs

$$\text{Kapasitas Eksisting} = 18 \frac{\text{kereta}}{\text{hari}} \times 30 \frac{\text{GD}}{\text{kereta}} \times 2 \frac{\text{TEUs}}{\text{GD}} = 1080 \text{ TEUs/hari}$$

$$\text{Tambahan Kapasitas} = 20 \frac{\text{kereta}}{\text{hari}} \times 30 \frac{\text{GD}}{\text{kereta}} \times 2 \frac{\text{TEUs}}{\text{GD}} = 1200 \text{ TEUs/hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Terbaru} &= \text{Kapasitas Eksisting} + \text{Kapasitas Tambahan} = 1080 + 1200 \\ &= 2280 \text{ TEUs/hari} \end{aligned}$$

$$\text{Kapasitas Maksimum} = 70 \frac{\text{kereta}}{\text{hari}} \times 30 \frac{\text{GD}}{\text{kereta}} \times 2 \frac{\text{TEUs}}{\text{GD}} = 4200 \text{ TEUs/hari}$$

$$\text{Prosentase Kapasitas Eksisting} = \frac{1080 \text{ TEUs/hari}}{4200 \text{ TEUs/hari}} = 25,71\%$$

$$\text{Prosentase Kapasitas Terbaru} = \frac{(1200 + 1080) \text{ TEUs/hari}}{4200 \text{ TEUs/hari}} = 54,28\%$$

$$\text{Prosentase Kenaikan Kapasitas} = 54,28\% - 25,71\% = 28,57\%$$

Berdasarkan perhitungan diatas dapat disimpulkan dengan *minimum headway* 6 menit didapatkan 20 kereta tambahan yang memiliki kapasitas angkut 1200 TEUs/hari. Jika Kapasitas angkut eksisting adalah 1080 TEUs/hari, maka kapasitas angkut terbaru adalah 2280 TEUs/hari. Berdasarkan asumsi yang telah disebutkan sebelumnya, kapasitas maksimum adalah 70 KA/hari yang artinya memiliki kapasitas angkut 4200 TEUs/hari. Jika dibandingkan antara kapasitas angkut eksisting dengan kapasitas angkut maksimum prosentasenya adalah 25,71 %. Dan jika kapasitas angkut terbaru dibandingkan dengan kapasitas angkut maksimum maka prosentasenya adalah 54,28%. Sehingga dapat disimpulkan prosentase kenaikan kapasitas adalah 28,57%.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari perhitungan numerik dan Analisa yang telah dirumuskan berdasarkan tujuan penelitian. Serta akan membahas saran untuk penelitian selanjutnya.

6.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini telah melakukan pengembangan model matematis dan perancangan alat bantu pengambilan keputusan untuk penentuan jumlah kereta barang yang dapat ditambahkan beserta jadwalnya pada dua kondisi yaitu kondisi ideal (model 1) dan kondisi menggunakan *overtaking strategy* (model 2).
2. *Minimum headway* berpengaruh pada penentuan kereta barang yang dapat ditambahkan. *Minimum headway* yang optimum adalah 6 menit. Hal ini sesuai dengan Peraturan Kemenhub No. 53 Tahun 2000.
3. Hasil percobaan pada model 1, dengan *minimum headway* 6 menit didapatkan jumlah kereta yang ditambahkan adalah 15 kereta beserta dengan jadwalnya.
4. Berdasarkan percobaan pada model 2 dengan *minimum headway* 6 menit, dihasilkan 5 kereta barang tambahan dengan keterlambatan yang berada pada batas toleransi keterlambatan (kereta tambahan di pertahankan) dan 5 kereta barang dengan keterlambatan yang tidak dapat ditoleransi (kereta tambahan di eliminasi).
5. Berdasarkan model 1 dan model 2 dengan menggunakan *minimum headway* 6 menit, total jumlah kereta barang yang dapat ditambahkan adalah 20 kereta barang dengan rincian 15 kereta barang tiba di stasiun tujuan tepat waktu dan 5 kereta barang tiba dengan keterlambatan yang berada pada batas toleransi keterlambatan.
6. Dengan penambahan 20 kereta barang artinya terjadi kenaikan kapasitas angkut sebesar 1200 TEUs atau 28,57% terhadap kapasitas angkut eksisting.

6.2 Saran

Adapun saran pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Model dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan perhitungan kapasitas jalur pada stasiun, kapasitas petak blok, serta sistem persinyalan.

2. Model dapat dikembangkan pada kasus perlintasan kereta api di beberapa palang pintu perlintasan kereta api sebidang.
3. Model dapat dikembangkan untuk lintasan *double line double track* untuk mengetahui kepadatan lintasan jalur 2 arah dalam 24 jam.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, 2018, Penjelasan Seputar Kondisi Operasional Perkeretaapian Barang, *wawancara langsung di Stasiun Kalimas*, Surabaya.
- Andersen, J., Crainic, T. G., & Christiansen, M. (2009). Service network design with management and coordination of multiple fleets. *European Journal of Operational Research*, 193(2), 377-38
- Ballou, R. H. (2003). *Business logistics/supply chain management: planning, organizing, and controlling the supply chain*. Pearson Education India.
- Behrends, S., & Flodén, J. (2012). The effect of transshipment costs on the performance of intermodal line-trains. *Logistics Research*, 4(3-4), 127-136.
- Bierwirth, C., Kirschstein, T., & Meisel, F. (2012). On transport service selection in intermodal rail/road distribution networks.
- Bowersox & Donald J. (2013). *Supply Chain Logistics Management*. McGraw-Hill. New York
- Cacchiani, V., Caprara, A., Toth, P., 2010, Scheduling Extra Freight Trains on Railway Networks, *Transportation Research Part B*, 44 (2010), 215-231.
- Caprara, A., Fischetti, M., & Toth, P. (2002). Modeling and solving the train timetabling problem. *Operations research*, 50(5), 851-861.
- Chang, T. S. (2008). Best routes selection in international intermodal networks. *Computers & operations research*, 35(9), 2877-2891.
- Chen, S., & Liu, M. (2014, July). A Time-space Network Model for Allocating the Container Storage Space in Express Depot. In *Control Conference (CCC), 2014 33rd Chinese* (pp. 7527-7531). IEEE.
- Cirrelet, (2007), A Brief Overview of Intermodal Transportation, available on <https://www.cirrelet.ca/DocumentsTravail/>
- European Commission. Directorate-General for Employment, & Social Affairs. Unit D. (2002). *Corporate Social Responsibility: A business contribution to sustainable development*. Office for Official Publications of the European Communities.
- Forum Civitas Akademika ITS. (2018). *Pembangunan Infrastruktur untuk Peningkatan Kesejahteraan & Daya Saing Jawa Timur*, ITS.
- García, J., Florez, J. E., Torralba, Á., Borrajo, D., Linares, C., García-olaya, Á. and Sáenz, J. (2013) „Combining linear programming and automated planning to solve intermodal transportation problems“, 227, pp. 216–226

- Grafik Perjalanan Kereta Api (2017). Bandung: PT. Kereta Api Indonesia
Indonesia Infrastructure Initiative. Diakses pada 12 Desember 2017 dari
<http://www.indii.co.id/index.php/en/>
- Ishfaq, R. and Sox, C. R. (2010) Intermodal logistics : The interplay of financial , operational and service issues“, *Transportation Research Part E*. Elsevier Ltd, 46(6), pp. 926–949.
- Jatnika, H. & Yulie, I. (2018), Lecture handout: Testing dan Implementasi Sistem. Diakses pada 4 Juni 2017 dari http://www.hendrajatnika.web.id/index.php/akdm/know/doc_download/66-testing-dan-implementasi-sistem.
- KALog. (2015): *Annual Report*. Bandung: PT. Kereta Api Logistik
- Keputusan Menteri Perhubungan No.53 Tahun 2000 (2000), *Perpotongan san/atau Persinggungan Antara Jalur Kereta Api Dengan Bangunan Lain*, Jakarta.
- Kuo, A., Miller-Hooks, E., & Mahmassani, H. S. (2010). Freight train scheduling with elastic demand. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(6), 1057-1070.
- Lawley, M., Parmeshwaran, V., Richard, J. P., Turkcan, A., Dalal, M., & Ramcharan, D. (2008). A time–space scheduling model for optimizing recurring bulk railcar deliveries. *Transportation Research Part B: Methodological*, 42(5), 438-454.
- Meisel, F., Kirschstein, T., & Bierwirth, C. (2013). Integrated production and intermodal transportation planning in large scale production–distribution-networks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 60, 62-78.
- Mu, S., & Dessouky, M. (2011). Scheduling freight trains traveling on complex networks. *Transportation Research Part B: Methodological*, 45(7), 1103-1123.
- Murali, P., Dessouky, M., Ordóñez, F., & Palmer, K. (2010). A delay estimation technique for single and double-track railroads. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(4), 483-495.
- Nasution, M. Nur. (2010). *Manajemen Transportasi*. (3thed) Jakarta: Ghalia Indonesia
- Nozick, L. K., & Morlok, E. K. (1997). A model for medium-term operations planning in an intermodal rail-truck service. *Transportation research part a: policy and practice*, 31(2), 91-107.
- Palgunadi, S., Supraba, D., & Harjito, B. (2016, October). Job-Shop Scheduling model for optimization of the double track railway scheduling: (Case study: Solo-Yogyakarta railway

- network). In *Information & Communication Technology and Systems (ICTS), 2016 International Conference on* (pp. 90-95). IEEE.
- Pujawan, N. (2010), *Global Logistic*, Lecture handout: Manajemen Logistik, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Pujawan, N. (2012), *Supply Chain Management*, 2nd edition, Gunawidya, Surabaya.
- Satya, A. (2015). *Discrete Simulation Model for Scheduling of Freight Train with an Overtaking Algorithm Development Train in double Track Surabaya – Jakarta*. (Thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, 2015)
- Sidi, M. M., Fajri, F. R., & Rahmadi, H., (2015). Pengujian Aplikasi Menggunakan *Black Box Testing Boundary Value Analysis* (Studi Kasus: Aplikasi Prediksi Kelulusan SNMPTN). *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Terapan*, 1 (3), 31-36.
- Steinzen, I., Gintner, V., & Suhl, L. (2010). A Time-Space Network Approach for The Integrated Vehicle and Crew-Scheduling Problem with Multiple Depots. *Transportation Science*, 44(3), 367-382.
- Sukmoro, E. (2018). *389 Juta Penumpang Naik Kereta Sepanjang Tahun 2017*. Diakses pada 8 Desember 2017, dari <https://ekonomi.kompas.com/read/2018/01/09/113200026/389-juta-penumpang-naik-kereta-sepanjang-tahun-2017>
- Sudiarto, E., (2018). *Seminar Peran Kereta Api Dalam Mendukung Kelancaran Arus Barang dan Konektivitasnya dengan Pelabuhan*, Materi Seminar: Peningkatan Konektivitas Guna Mendukung Kinerja Pelabuhan. PT. Kereta Api Logistik, Surabaya.
- Sutijadi. (2013). *Pengguna Moda Transportasi Kereta Api Untuk Efisiensi Logistik Indonesia*. Diakses pada 3 Januari 2018, dari http://www.kalogistics.co.id/news/detail/penggunaan_moda_transportasi_kereta_api_untuk_efisiensi_logistik_indonesia
- Sun, Y., Cao, C., & Wu, C. (2014). Multi-objective optimization of train routing problem combined with train scheduling on a high-speed railway network. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 44, 1-20.
- Wang, W. F., & Yun, W. Y. (2013). Scheduling for inland container truck and train transportation. *International journal of production economics*, 143(2), 349-356.
- Yalçinkaya, Ö., & Bayhan, G. M. (2012). A feasible timetable generator simulation modelling framework for train scheduling problem. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 20(1), 124-141.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN

Lampiran A Jadwal Input Kereta Eksisting (Rangkuman)

No	Nama Kereta	Asal	Tujuan	Berangkat	Kalimas		⋮	Cepu		⋮	Tawang
1	KA 2503 (PETIKEMAS)	KALIMAS	KMPG BDN	00:05:00	00:12:00	00:14:00	⋮	02:39:00	02:57:00	⋮	05:17:00
2	KA 2507 (PETIKEMAS)	KALIMAS	TJ PRIOK	00:50:00	00:57:00	00:59:00	⋮	03:22:00	03:36:00	⋮	05:54:00
3	KA 2513 (PETIKEMAS)	KALIMAS	TJ PRIOK	01:55:00	02:02:00	02:04:00	⋮	04:29:00	04:45:00	⋮	07:13:00
4	KOMUTER 1	PS TURI	LAMONGAN	04:35:00	00:00:00		⋮	00:00:00		⋮	00:00:00
5	BLORA JAYA	CEPU	SMG PONCOL	05:00:00	00:00:00		⋮	05:00:00	05:00:00	⋮	07:49:00
6	KA 2511 (PETIKEMAS)	KALIMAS	KMPG BDN	05:10:00	05:17:00	05:19:00	⋮	07:44:00	07:58:00	⋮	10:21:00
7	MAHARANI	PS TURI	TAWANG	06:00:00	00:00:00		⋮	08:09:00	08:15:00	⋮	10:41:00
8	ARGO ANGGREK 1	PS TURI	GAMBIR	08:00:00	00:00:00		⋮	09:40:00	09:40:00	⋮	00:00:00
9	KA 2517 (PETIKEMAS)	KALIMAS	TJ PRIOK	08:00:00	08:07:00	08:09:00	⋮	10:34:00	10:52:00	⋮	13:10:00
10	KA 2713 (SEMEN)	BWI	NAMBO	19:00:00	09:27:00	09:29:00	⋮	11:56:00	12:10:00	⋮	14:30:00
11	KA 2709 (SEMEN)	KALIMAS	NAMBO	10:00:00	10:07:00	10:09:00	⋮	12:36:00	12:49:00	⋮	15:08:00
12	KA 2515 (PETIKEMAS)	KALIMAS	TJ PRIOK	10:15:00	10:22:00	10:24:00	⋮	13:58:00	14:09:00	⋮	16:28:00
13	KRD BDN	SDA	BDN	10:00:00	00:00:00		⋮	00:00:00		⋮	00:00:00
14	AMBARAWA	PS TURI	TAWANG	13:10:00	00:00:00		⋮	15:05:00	15:18:00	⋮	17:33:00
15	JAYABAYA	MALANG	PS SENEN	11:45:00	00:00:00		⋮	16:19:00	16:26:00	⋮	18:35:00
16	KA 2545 (PETIKEMAS)	BENTENG	KMPG BDN	14:15:00	14:40:00	14:40:00	⋮	17:06:00	17:55:00	⋮	20:16:00
17	KA 2519 (PETIKEMAS)	INDRO	KMPG BDN	14:35:00	00:00:00		⋮	18:56:00	19:10:00	⋮	21:31:00
18	GUMARANG	PS TURI	PS SENEN	15:30:00	00:00:00		⋮	17:36:00	17:43:00	⋮	00:00:00
19	HARINA	PS TURI	BANDUNG	16:30:00	00:00:00		⋮	18:37:00	18:43:00	⋮	00:00:00
20	KOMUTER 2	PS TURI	LAMONGAN	16:40:00	00:00:00		⋮	00:00:00		⋮	00:00:00
21	KA 2543 F (PETIKEMAS)	KALIMAS	TJ PRIOK	16:50:00	16:57:00	16:59:00	⋮	20:19:00	20:36:00	⋮	22:55:00
22	SEMBRANI	PS TURI	GAMBIR	17:50:00	00:00:00		⋮	19:51:00	19:57:00	⋮	00:00:00
23	KA 2501 (PETIKEMAS)	KALIMAS	TJ PRIOK	18:25:00	18:32:00	18:34:00	⋮	20:59:00	21:13:00	⋮	23:56:00

No	Nama Kereta	Asal	Tujuan	Berangkat	Kalimas		...	Cepu		...	Tawang
24	ARGO ANGGREK 2	PS TURI	GAMBIR	20:00:00	00:00:00		...	21:40:00	21:40:00	...	00:00:00
25	KA 131 (PARCEL)	PS TURI	KAMPUNG BADAN	20:25:00	00:00:00		...	22:43:00	23:00:00	...	01:36:00
26	KERTAJAYA	PS TURI	PS SENEN	21:00:00	00:00:00		...	23:07:00	23:13:00	...	00:00:00
27	KA 2505 (PETIKEMAS)	KALIMAS	TJ PRIOK	21:10:00	21:17:00	21:19:00	...	01:43:00	01:57:00	...	04:16:00
28	KA 2533F (PETIKEMAS)	KALIMAS	KMPG BDN	21:45:00	21:52:00	21:54:00	...	00:19:00	00:34:00	...	02:53:00
29	KA 2535F (PETIKEMAS)	KALIMAS	BRUMBUNG	22:40:00	22:47:00	22:49:00	...	01:16:00	01:30:00	...	00:00:00
30	KA 2537F (PETIKEMAS)	BRUMBUNG	TJ PRIOK	23:55:00	00:00:00		...	00:00:00		...	00:20:00
31	KA 2509 (PETIKEMAS)	KALIMAS	KMPG BDN	23:30:00	23:37:00	23:39:00	...	02:04:00	02:18:00	...	04:37:00

Lampiran B Waktu Perjalanan dan Waktu Tunggu Kereta Acuan

KERE TA	WP	WT	WP	WT	WP	WT	WP	WT	WP	WT	WP	WT
	KLM		MSG		SBI		TES		KDA		BNW	
Acuan	00:00:00	00:07:00	00:02:00	00:00:00	00:04:00	00:00:00	00:09:00	00:00:00	00:03:00	00:00:00	00:05:00	00:00:00
	CME		DD		LMO		SBN		PC		GEB	
	00:00:00	00:05:00	00:00:00	00:09:00	00:00:00	00:11:00	00:00:00	00:07:00	00:00:00	00:09:00	00:00:00	00:05:00
	BBT		BWO		SBJ		KPS		BJ		KIT	
	00:00:00	00:06:00	00:00:00	00:08:00	00:00:00	00:11:00	00:00:00	00:07:00	00:00:00	00:06:00	00:00:00	00:20:00
	TBO		CU		KPA		WDU		RBG		DPU	
	00:00:00	00:13:00	00:09:00	00:13:00	00:00:00	00:08:00	00:00:00	00:06:00	00:00:00	00:10:00	00:00:00	00:12:00
	SL		KNN		PNL		JBN		BGN		NBO	
	00:00:00	00:07:00	00:00:00	00:08:00	00:00:00	00:09:00	00:00:00	00:05:00	00:00:00	00:10:00	00:00:00	00:02:00
	SDI		KGT		GUB		TGW		BBG		ATA	
00:00:00	00:05:00	00:00:00	00:08:00	00:00:00	00:12:00	00:00:00	00:07:00	00:00:00	00:09:00	00:00:00	00:06:00	
SMT		SMC										
00:00:00	00:09:00	00:06:00	00:16:00									

Lampiran C Waktu Datang dan Waktu Berangkat Kereta Rencana (Rangkuman)

Urut	KERETA	KALIMAS		MESIGIT		PASAR TURI		...	SMG PONCOL		SMG TAWANG
1	KA 2503 (PETIKEMAS)	00:05:00	00:05:00	00:12:00	00:14:00	00:04:00	00:00:00	...	05:11:00	05:11:00	05:17:00
1,5			00:14:00	00:21:00	00:23:00	00:18:00	00:23:00	...	05:16:00	05:16:00	05:22:00
1,5			00:23:00	00:30:00	00:32:00	00:27:00	00:27:00	...	05:25:00	05:25:00	05:31:00
1,5			00:32:00	00:39:00	00:41:00	00:36:00	00:36:00	...	05:34:00	05:34:00	05:40:00
1,5			00:41:00	00:48:00	00:50:00	00:45:00	00:45:00	...	05:43:00	05:43:00	05:49:00
2	KA 2507 (PETIKEMAS)	00:50:00	00:50:00	00:57:00	00:59:00	00:54:00	00:54:00	...	05:48:00	05:48:00	05:54:00
2,5			00:59:00	01:06:00	01:08:00	01:03:00	01:06:00	...	06:01:00	06:01:00	06:07:00
2,5			01:08:00	01:15:00	01:17:00	01:12:00	01:12:00	...	06:10:00	06:10:00	06:16:00
2,5			01:17:00	01:24:00	01:26:00	01:21:00	01:21:00	...	06:19:00	06:19:00	06:25:00
2,5			01:26:00	01:33:00	01:35:00	01:30:00	01:30:00	...	06:28:00	06:28:00	06:34:00
2,5			01:35:00	01:42:00	01:44:00	01:39:00	01:39:00	...	06:37:00	06:37:00	06:43:00
2,5			01:44:00	01:51:00	01:53:00	01:48:00	01:48:00	...	06:46:00	06:46:00	06:52:00
2,5			01:53:00	02:00:00	02:02:00	01:57:00	01:57:00	...	06:55:00	06:55:00	07:01:00
3	KA 2513 (PETIKEMAS)	01:55:00	01:55:00	02:02:00	02:04:00	02:06:00	02:06:00	...	07:05:00	07:05:00	07:13:00
3,5			02:04:00	02:11:00	02:13:00	02:08:00	02:13:00	...	07:06:00	07:06:00	07:12:00
3,5			02:13:00	02:20:00	02:22:00	02:17:00	02:17:00	...	07:15:00	07:15:00	07:21:00
3,5			02:22:00	02:29:00	02:31:00	02:26:00	02:26:00	...	07:24:00	07:24:00	07:30:00
3,5			02:31:00	02:38:00	02:40:00	02:35:00	02:35:00	...	07:33:00	07:33:00	07:39:00
3,5			02:40:00	02:47:00	02:49:00	02:44:00	02:44:00	...	07:42:00	07:42:00	07:48:00
3,5			02:49:00	02:56:00	02:58:00	02:53:00	02:53:00	...	07:51:00	07:51:00	07:57:00
3,5			02:58:00	03:05:00	03:07:00	03:02:00	03:02:00	...	08:00:00	08:00:00	08:06:00
3,5			03:07:00	03:14:00	03:16:00	03:11:00	03:11:00	...	08:09:00	08:09:00	08:15:00
3,5			03:16:00	03:23:00	03:25:00	03:20:00	03:20:00	...	08:18:00	08:18:00	08:24:00
3,5			03:25:00	03:32:00	03:34:00	03:29:00	03:29:00	...	08:27:00	08:27:00	08:33:00
3,5			03:34:00	03:41:00	03:43:00	03:38:00	03:38:00	...	08:36:00	08:36:00	08:42:00
3,5			03:43:00	03:50:00	03:52:00	03:47:00	03:47:00	...	08:45:00	08:45:00	08:51:00
3,5			03:52:00	03:59:00	04:01:00	03:56:00	03:56:00	...	08:54:00	08:54:00	09:00:00

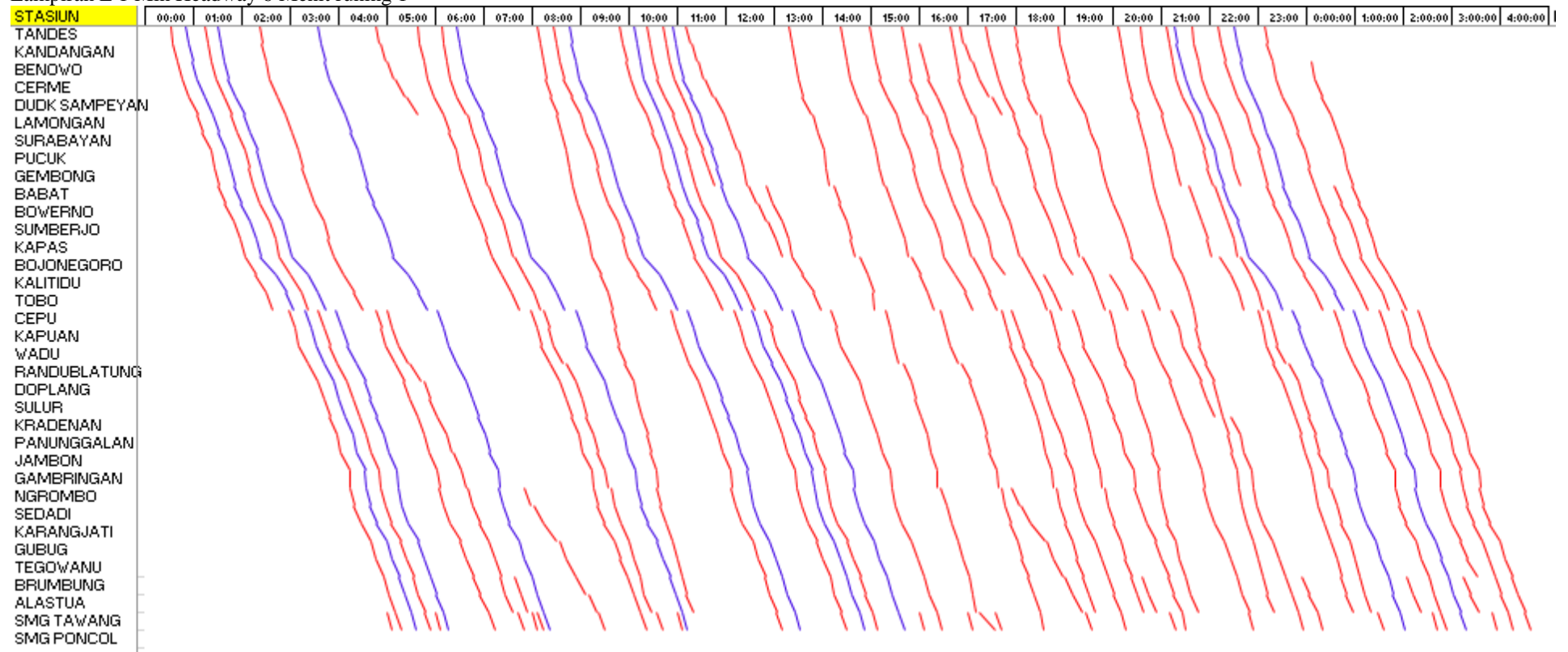
Urut	KERETA	KALIMAS		MESIGIT		PASAR TURI		:::	SMG PONCOL		SMG TAWANG
3,5			04:01:00	04:08:00	04:10:00	04:05:00	04:05:00	:::	09:03:00	09:03:00	09:09:00
3,5			04:10:00	04:17:00	04:19:00	04:14:00	04:14:00	:::	09:12:00	09:12:00	09:18:00
3,5			04:19:00	04:26:00	04:28:00	04:23:00	04:23:00	:::	09:21:00	09:21:00	09:27:00
3,5			04:28:00	04:35:00	04:37:00	04:32:00	04:32:00	:::	09:30:00	09:30:00	09:36:00
4	KOMUTER 1	00:00:00	00:00:00	00:00:00		04:41:00	04:41:00	:::	00:00:00		00:00:00
5	BLORA JAYA	00:00:00	00:00:00	00:00:00		04:35:00	04:35:00	:::	07:36:00	07:42:00	07:49:00
6	KA 2511 (PETIKEMAS)	05:10:00	05:10:00	05:17:00	05:19:00	00:00:00		:::	10:14:00	10:14:00	10:21:00
:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::
:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::	:::
26	KERTAJAYA	00:00:00	00:00:00		21:00:00	21:00:00	21:00:00	:::	01:21:00	01:42:00	00:00:00
27	KA 2505 (PETIKEMAS)	21:10:00	21:17:00	21:19:00	21:23:00	21:23:00	21:28:00	:::	04:10:00	04:10:00	04:16:00
27,5		21:19:00	21:26:00	21:28:00	21:32:00	21:32:00	21:32:00	:::	02:21:00	02:21:00	02:27:00
27,5		21:28:00	21:35:00	21:37:00	21:41:00	21:41:00	21:41:00	:::	02:30:00	02:30:00	02:36:00
27,5		21:37:00	21:44:00	21:46:00	21:50:00	21:50:00	21:50:00	:::	02:39:00	02:39:00	02:45:00
28,5	KA 2533F (PETIKEMAS)	21:45:00	21:52:00	21:54:00	21:58:00	21:58:00	22:03:00	:::	02:47:00	02:47:00	02:53:00
28,5		21:54:00	22:01:00	22:03:00	22:07:00	22:07:00	22:07:00	:::	02:56:00	02:56:00	03:02:00
28,5		22:03:00	22:10:00	22:12:00	22:16:00	22:16:00	22:16:00	:::	03:05:00	03:05:00	03:11:00
28,5		22:12:00	22:19:00	22:21:00	22:25:00	22:25:00	22:25:00	:::	03:14:00	03:14:00	03:20:00
28,5		22:21:00	22:28:00	22:30:00	22:34:00	22:34:00	22:34:00	:::	03:23:00	03:23:00	03:29:00
28,5		22:30:00	22:37:00	22:39:00	22:43:00	22:43:00	22:43:00	:::	03:32:00	03:32:00	03:38:00
29	KA 2535F (PETIKEMAS)	22:40:00	22:47:00	22:49:00	22:53:00	22:53:00	23:00:00	:::	00:00:00		00:00:00
30	KA 2537F (PETIKEMAS)	00:00:00	00:00:00		00:00:00	00:00:00		:::	00:13:00	00:13:00	00:20:00

Lampiran D Waktu Berangkat dan Waktu Datang Kereta f_q (Rangkuman)

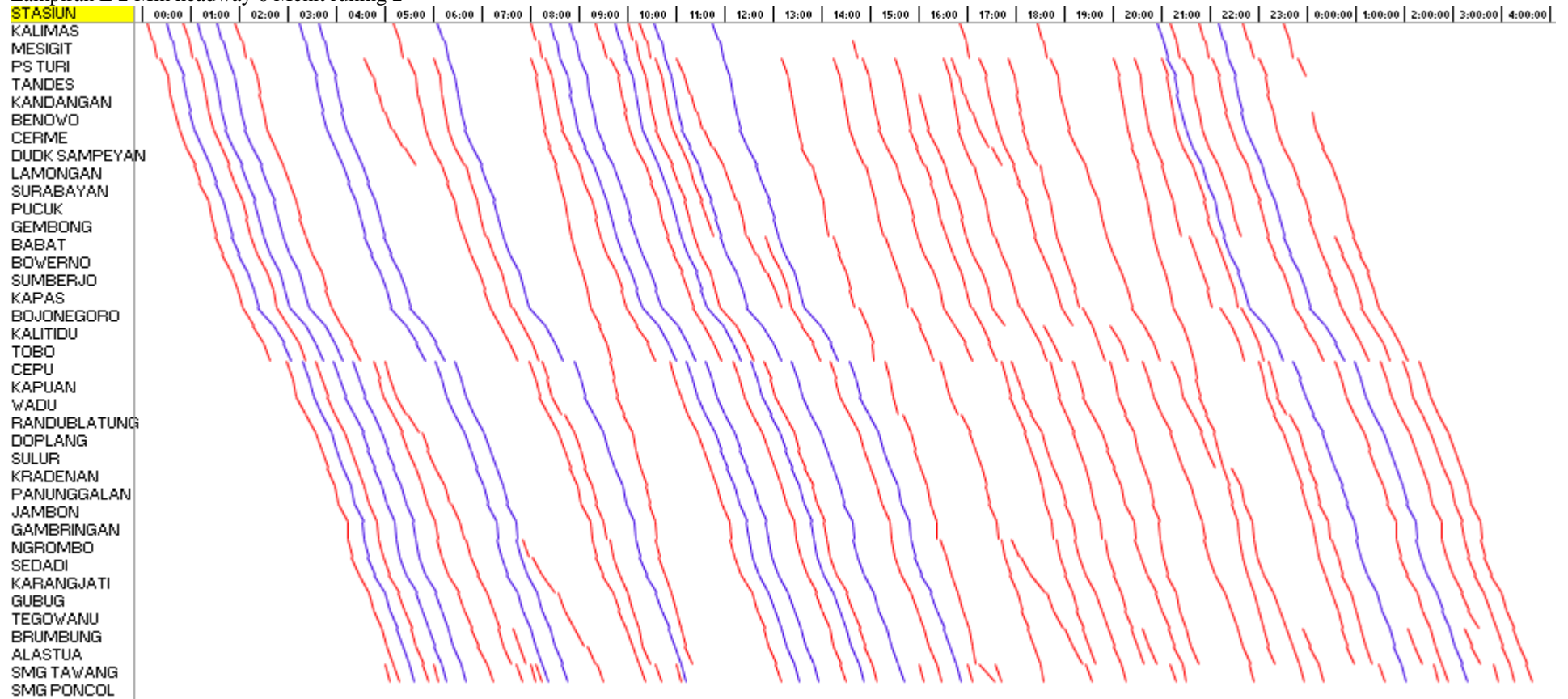
Nama Kereta	KLM	MSG		...	GBN		NBO		...	SMT		SMP
KA 2513	01:55:00	02:02:00	02:04:00	...	06:03:00	06:03:00	06:05:00	06:05:00	...	07:05:00	07:05:00	07:13:00
g_1	02:22:00	02:29:00	02:31:00	...	06:26:00	06:26:00	06:28:00	06:28:00	...	07:24:00	07:24:00	07:30:00
f_1	02:20:00	02:27:00	02:29:00	...	06:24:00	06:24:00			...			
f_2	02:19:00	02:26:00	02:28:00	...	06:23:00	06:23:00			...			
f_3	02:18:00	02:25:00	02:27:00	...	06:22:00	06:22:00			...			
f_4	02:17:00	02:24:00	02:26:00	...	06:21:00	06:21:00			...			
f_5	02:16:00	02:23:00	02:25:00	...	06:20:00	06:20:00			...			
f_6	02:15:00	02:22:00	02:24:00	...	06:19:00	06:19:00			...			
f_7	02:14:00	02:21:00	02:23:00	...	06:18:00	06:18:00			...			
f_8	02:13:00	02:20:00	02:22:00	...	06:17:00	06:17:00			...			
f_9	02:12:00	02:19:00	02:21:00	...	06:16:00	06:16:00			...			
f_{10}	02:11:00	02:18:00	02:20:00	...	06:15:00	06:15:00			...			
f_{11}	02:10:00	02:17:00	02:19:00	...	06:14:00	06:14:00			...			
f_{12}	02:09:00	02:16:00	02:18:00	...	06:13:00	06:13:00			...			
f_{13}	02:08:00	02:15:00	02:17:00	...	06:12:00	06:12:00			...			
f_{14}	02:07:00	02:14:00	02:16:00	...	06:11:00	06:11:00			...			
f_{15}	02:06:00	02:13:00	02:15:00	...	06:10:00	06:10:00			...			
f_{16}	02:05:00	02:12:00	02:14:00	...	06:09:00	06:09:00			...			
f_{17}	02:04:00	02:11:00	02:13:00	...	06:08:00	06:08:00			...			
f_{18}	02:03:00	02:10:00	02:12:00	...	06:07:00	06:07:00			...			
f_{19}	02:02:00	02:09:00	02:11:00	...	06:06:00	06:06:00			...			
f_{20}	02:01:00	02:08:00	02:10:00	...	06:05:00	06:05:00	06:07:00	06:28:00	...	07:24:00	07:24:00	07:30:00
f_{21}	01:44:00	01:51:00	01:53:00	...	05:48:00	05:48:00	05:50:00	06:28:00	...	07:24:00	07:24:00	07:30:00
BLORA JAYA				...	06:33:00	06:33:00	06:37:00	06:40:00	...	07:42:00	07:42:00	07:49:00

LAMPIRAN E GRAFIK SPACE TIME

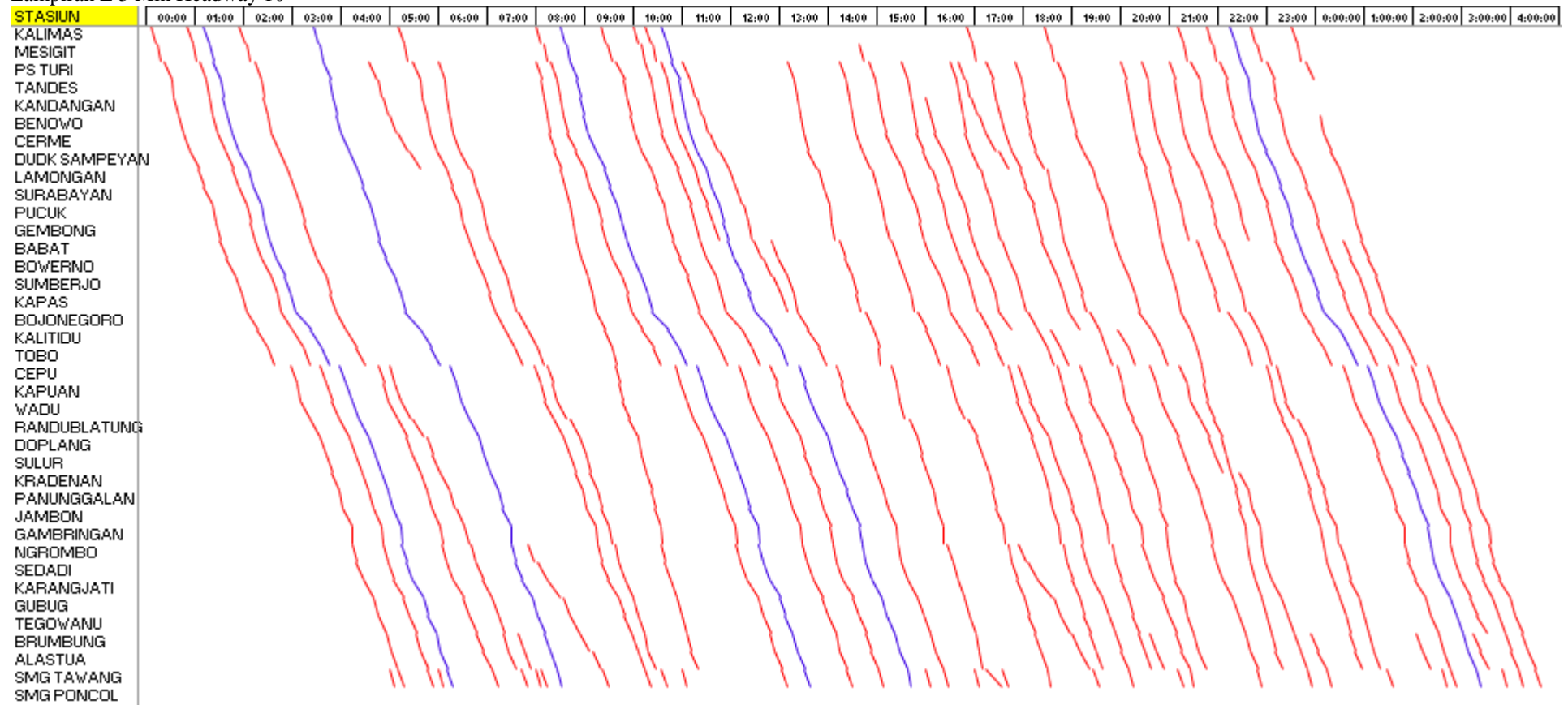
Lampiran E 1 Min Headway 6 Menit runing 1



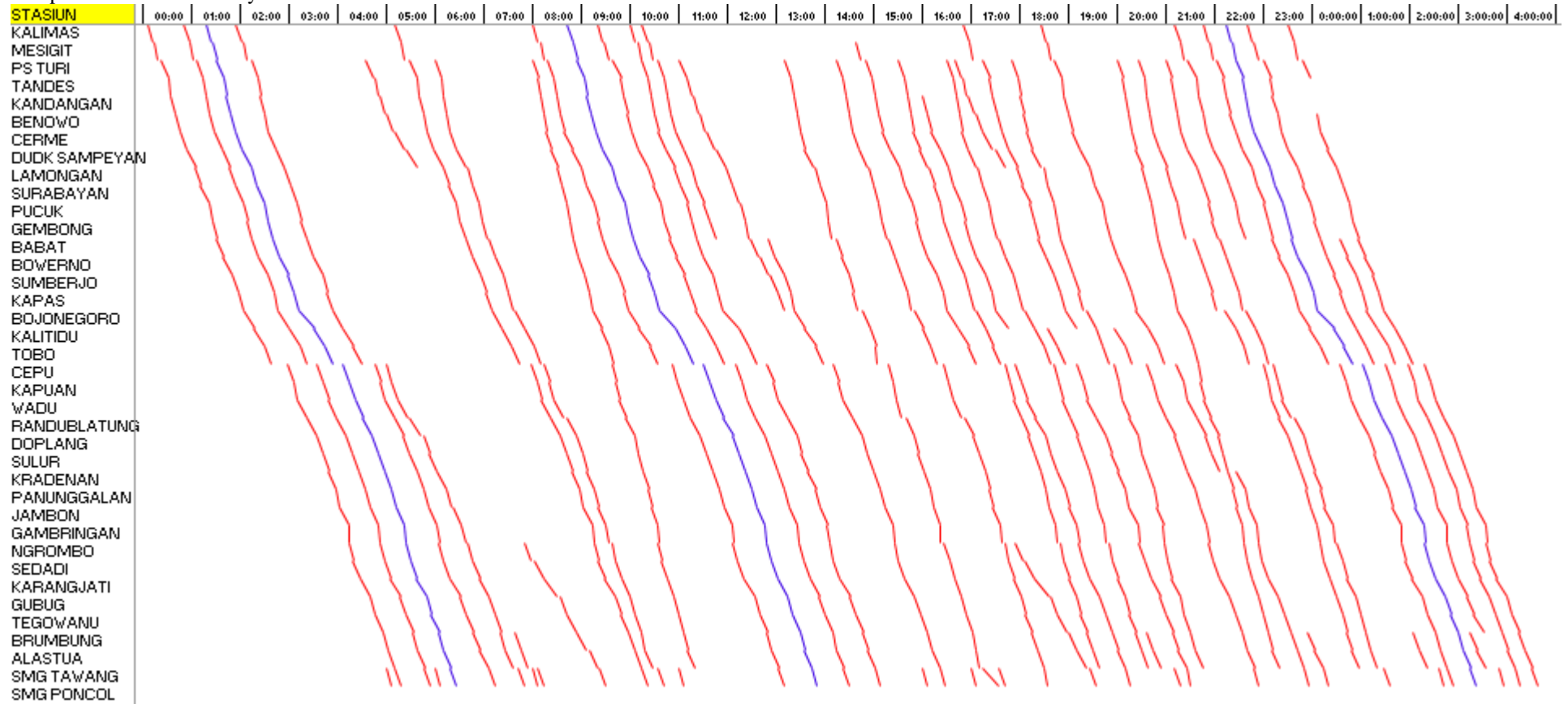
Lampiran E 2 Min headway 6 Menit ruting 2



Lampiran E 3 Min Headway 10



Lampiran E 4 Min Headway 14



LAMPIRAN F JADWAL OUTPUT MODEL 1 (RANGKUMAN)

LAMPIRAN F 1 JADWAL OUTPUT PADA MINIMUM HEADWAY 6 MENIT

No	KALIMAS	MESIGIT	PASAR TURI	⋮	BRUMBUNG	ALASTUA	SMG PONCOL	SMG TAWANG					
1	00:29:00	00:36:00	00:38:00	00:42:00	00:42:00	⋮	05:16:00	05:16:00	05:22:00	05:22:00	05:31:00	05:31:00	05:37:00
2	01:08:00	01:15:00	01:17:00	01:21:00	01:21:00	⋮	05:55:00	05:55:00	06:01:00	06:01:00	06:10:00	06:10:00	06:16:00
3	01:32:00	01:39:00	01:41:00	01:45:00	01:45:00	⋮	06:19:00	06:19:00	06:25:00	06:25:00	06:34:00	06:34:00	06:40:00
4	03:13:00	03:20:00	03:22:00	03:26:00	03:26:00	⋮	08:00:00	08:00:00	08:06:00	08:06:00	08:15:00	08:15:00	08:21:00
5	03:37:00	03:44:00	03:46:00	03:50:00	03:50:00	⋮	08:24:00	08:24:00	08:30:00	08:30:00	08:39:00	08:39:00	08:45:00
6	04:49:00	04:56:00	04:58:00	05:02:00	05:02:00	⋮	09:36:00	09:36:00	09:42:00	09:42:00	09:51:00	09:51:00	09:57:00
7	06:04:00	06:11:00	06:13:00	06:17:00	06:17:00	⋮	10:51:00	10:51:00	10:57:00	10:57:00	11:06:00	11:06:00	11:12:00
8	08:24:00	08:31:00	08:33:00	08:37:00	08:37:00	⋮	13:11:00	13:11:00	13:17:00	13:17:00	13:26:00	13:26:00	13:32:00
9	08:48:00	08:55:00	08:57:00	09:01:00	09:01:00	⋮	13:35:00	13:35:00	13:41:00	13:41:00	13:50:00	13:50:00	13:56:00
10	09:44:00	09:51:00	09:53:00	09:57:00	09:57:00	⋮	14:31:00	14:31:00	14:37:00	14:37:00	14:46:00	14:46:00	14:52:00
11	10:33:00	10:40:00	10:42:00	10:46:00	10:46:00	⋮	15:20:00	15:20:00	15:26:00	15:26:00	15:35:00	15:35:00	15:41:00
12	11:45:00	11:52:00	11:54:00	11:58:00	11:58:00	⋮	16:32:00	16:32:00	16:38:00	16:38:00	16:47:00	16:47:00	16:53:00
13	13:09:00	13:16:00	13:18:00	13:22:00	13:22:00	⋮	17:56:00	17:56:00	18:02:00	18:02:00	18:11:00	18:11:00	18:17:00
14	20:55:00	21:02:00	21:04:00	21:08:00	21:08:00	⋮	01:42:00	01:42:00	01:48:00	01:48:00	01:57:00	01:57:00	02:03:00
15	22:09:00	22:16:00	22:18:00	22:22:00	22:22:00	⋮	02:56:00	02:56:00	03:02:00	03:02:00	03:11:00	03:11:00	03:17:00

LAMPIRAN F 2 JADWAL OUTPUT PADA MINIMUM HEADWAY 8 MENIT

No	KALIMAS	MESIGIT	PASAR TURI	⋮	BRUMBUNG	ALASTUA	SMG PONCOL	SMG TAWANG					
1	01:14:00	01:21:00	01:23:00	01:27:00	01:27:00	⋮	06:01:00	06:01:00	06:07:00	06:07:00	06:16:00	06:16:00	06:22:00
2	03:15:00	03:22:00	03:24:00	03:28:00	03:28:00	⋮	08:02:00	08:02:00	08:08:00	08:08:00	08:17:00	08:17:00	08:23:00
3	06:06:00	06:13:00	06:15:00	06:19:00	06:19:00	⋮	10:53:00	10:53:00	10:59:00	10:59:00	11:08:00	11:08:00	11:14:00
4	08:32:00	08:39:00	08:41:00	08:45:00	08:45:00	⋮	13:19:00	13:19:00	13:25:00	13:25:00	13:34:00	13:34:00	13:40:00
5	08:56:00	09:03:00	09:05:00	09:09:00	09:09:00	⋮	13:43:00	13:43:00	13:49:00	13:49:00	13:58:00	13:58:00	14:04:00
6	10:31:00	10:38:00	10:40:00	10:44:00	10:44:00	⋮	15:18:00	15:18:00	15:24:00	15:24:00	15:33:00	15:33:00	15:39:00
7	11:43:00	11:50:00	11:52:00	11:56:00	11:56:00	⋮	16:30:00	16:30:00	16:36:00	16:36:00	16:45:00	16:45:00	16:51:00
8	13:11:00	13:18:00	13:20:00	13:24:00	13:24:00	⋮	17:58:00	17:58:00	18:04:00	18:04:00	18:13:00	18:13:00	18:19:00
9	22:09:00	22:16:00	22:18:00	22:22:00	22:22:00	⋮	02:56:00	02:56:00	03:02:00	03:02:00	03:11:00	03:11:00	03:17:00

LAMPIRAN F 2 JADWAL OUTPUT PADA MINIMUM HEADWAY 10 MENIT

No	KALIMAS	MESIGIT	PASAR TURI	⋮	BRUMBUNG	ALASTUA	SMG PONCOL	SMG TAWANG
1	01:10:00	01:17:00 01:19:00	01:23:00 01:23:00	⋮	05:57:00 05:57:00	06:03:00 06:03:00	06:12:00 06:12:00	06:18:00
2	03:25:00	03:32:00 03:34:00	03:38:00 03:38:00	⋮	08:12:00 08:12:00	08:18:00 08:18:00	08:27:00 08:27:00	08:33:00
3	08:30:00	08:37:00 08:39:00	08:43:00 08:43:00	⋮	13:17:00 13:17:00	13:23:00 13:23:00	13:32:00 13:32:00	13:38:00
4	09:00:00	09:07:00 09:09:00	09:13:00 09:13:00	⋮	13:47:00 13:47:00	13:53:00 13:53:00	14:02:00 14:02:00	14:08:00
5	10:35:00	10:42:00 10:44:00	10:48:00 10:48:00	⋮	15:22:00 15:22:00	15:28:00 15:28:00	15:37:00 15:37:00	15:43:00
6	11:45:00	11:52:00 11:54:00	11:58:00 11:58:00	⋮	16:32:00 16:32:00	16:38:00 16:38:00	16:47:00 16:47:00	16:53:00
7	13:15:00	13:22:00 13:24:00	13:28:00 13:28:00	⋮	18:02:00 18:02:00	18:08:00 18:08:00	18:17:00 18:17:00	18:23:00
8	22:15:00	22:22:00 22:24:00	22:28:00 22:28:00	⋮	03:02:00 03:02:00	03:08:00 03:08:00	03:17:00 03:17:00	03:23:00

LAMPIRAN F 3 JADWAL OUTPUT PADA MINIMUM HEADWAY 14 MENIT

No	KALIMAS	MESIGIT	PASAR TURI	⋮	BRUMBUNG	ALASTUA	SMG PONCOL	SMG TAWANG
1	01:18:00	01:25:00 01:27:00	01:31:00 01:31:00	⋮	06:05:00 06:05:00	06:11:00 06:11:00	06:20:00 06:20:00	06:26:00
2	08:42:00	08:49:00 08:51:00	08:55:00 08:55:00	⋮	13:29:00 13:29:00	13:35:00 13:35:00	13:44:00 13:44:00	13:50:00
3	22:13:00	22:20:00 22:22:00	22:26:00 22:26:00	⋮	03:00:00 03:00:00	03:06:00 03:06:00	03:15:00 03:15:00	03:21:00

LAMPIRAN F 4 JADWAL OUTPUT PADA MINIMUM HEADWAY 18 MENIT

No	KALIMAS	MESIGIT	PASAR TURI	⋮	BRUMBUNG	ALASTUA	SMG PONCOL	SMG TAWANG
1	03:25:00	03:32:00 03:34:00	03:38:00 03:38:00	⋮	08:12:00 08:12:00	08:18:00 08:18:00	08:27:00 08:27:00	08:33:00
2	08:36:00	08:43:00 08:45:00	08:49:00 08:49:00	⋮	13:23:00 13:23:00	13:29:00 13:29:00	13:38:00 13:38:00	13:44:00

LAMPIRAN G JADWAL OUTPUT MODEL 2 (RANGKUMAN)

No	KALIMAS	MESIGIT	PASAR TURI	⋮	BRUMBUNG	ALASTUA	SMG PONCOL	SMG TAWANG
1	02:22:00	02:29:00 02:31:00	02:35:00 02:35:00	⋮	08:12:00 08:42:00	08:48:00 08:51:00	09:00:00 09:00:00	09:06:00
2	03:25:00	03:32:00 03:58:00	04:02:00 04:11:00	⋮	09:14:00 09:17:00	09:23:00 10:40:00	10:49:00 11:24:00	11:30:00
3	04:13:00	04:20:00 04:22:00	04:26:00 05:40:00	⋮	11:51:30 11:51:30	11:57:30 11:57:30	12:06:30 12:06:30	12:12:30
4	05:26:00	05:33:00 05:42:00	05:46:00 06:24:00	⋮	12:15:30 12:15:30	12:21:30 12:21:30	12:30:30 12:30:30	12:36:30
5	17:03:00	17:10:00 17:23:00	17:27:00 17:36:00	⋮	00:16:00 00:16:00	00:22:00 00:25:00	00:34:00 00:34:00	00:40:00