

**MODEL LALU LINTAS BERBASIS KENDALI PREDIKTIF:
PENDEKATAN *PIECEWISE-AFFINE* BERDASARKAN
METANET**

Skripsi

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
Memencapai derajat Sarjana S-1

Program Studi Matematika



Diajukan oleh:
LIYAS
12610033

Kepada
PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

2016



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga

FM-UINSK-BM-05-07/RO

PENGESAHAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Nomor : UIN.02/D.ST/PP.01.1/2295/2016

Skripsi/Tugas Akhir dengan judul : Model Lalu Lintas Berbasis Kendali Prediktif : Pendekatan *Piecewise-Affine* Berdasarkan METANET

Yang dipersiapkan dan disusun oleh :

Nama : Liyas

NIM : 12610033

Telah dimunaqasyahkan pada : 9 Juni 2016

Nilai Munaqasyah : A

Dan dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga

TIM MUNAQASYAH :

Ketua Sidang

Dr. Muhammad Wakhid Musthofa, M.Si
NIP. 19800402 200501 1 003

Penguji I

Much. Abrori, S.Si, M.Kom
NIP.19720423 199903 1 003

Penguji II

Malahayati, M.Sc
NIP.19840412 201101 2 010

Yogyakarta, 28 Juni 2016

UIN Sunan Kalijaga

Fakultas Sains dan Teknologi

Dekan



Dr. Maizer Said Nahdi, M.Si
NIP. 19550427 198403 2 001



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Surat Persejutuan Skripsi/Tugas Akhir

Lamp :

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Liyas

NIM : 12610033

Judul Skripsi : Model Lalu Lintas Berbasis Kendali Prediktif: Pendekatan *Piecewise-Affine* Berdasarkan METANET

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam ilmu matematika.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 30 Mei 2016

Pembimbing I

Dr. Muhammad Wakhid Musthofa, MSI
NIP. 19800402 200501 1 003

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Liyas

NIM : 12610033

Program Studi : Matematika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi ini merupakan hasil pekerjaan penulis sendiri dan sepanjang pengetahuan penulis tidak berisi materi yang dipublikasikan atau ditulis orang lain, dan atau telah digunakan sebagai persyaratan penyelesaian Tugas Akhir di Perguruan Tinggi lain, kecuali bagian tertentu yang penulis ambil sebagai bahan acuan. Apabila terbukti pernyataan ini tidak benar, sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis.

Yogyakarta, 30 Mei 2016

Yang menyatakan



Liyas
NIM. 12610033

HALAMAN PERSEMBAHAN

Karya sederhana ini penulis persembahkan untuk:

Bapak dan Ibu tercinta

Kedua adikku

*Terima kasih telah memberikan kasih sayang,
pengorbanan, perhatian, motivasi dan doa.*

Semua guru dan dosen

*Engkau adalah pelita dalam kegelapan
dan laksana embun penyejuk dalam kehausan.*

HALAMAN MOTTO

*Dengan kesungguhan, perkara jauh menjadi dekat,
pintu terkunci menjadi terbuka.*

*Titah Allah yang paling berhak bilang sensara,
orang bercita tinggi namun hidupnya miskin papa.*

*Salah satu bukti qadha dan hukum Allah,
orang yang pandai hidupnya susah dan si bodoh hidupnya mewah.*

*Jadikan malam hari sebagai kendaraanmu,
untuk mencapai cita-citamu.*

*”Belajar dari hari kemarin, hidup untuk hari ini, berusaha untuk hari esok. Hal
terpenting adalah berhenti bertanya.”*

(Albert Einstein)

Educations is an ornament in prosperity and a refuge in adversity

*(Pendidikan adalah perhiasan di waktu senang
dan tempat berlindung di waktu susah)*

Mawar takkan sempurna tanpa duri

Mentari takkan sempurna tanpa cahaya

Kebahagiaan takkan sempurna tanpa kesenangan

Manusia takkan sempurna tanpa cinta

demikian juga dengan

Keberhasilan takkan sempurna tanpa perjuangan

KATA PENGANTAR

BISMILLAHIRRAHMANIRRAHIM

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillahirabbil'alamin, Puji syukur kepada Allah SWT, atas limpahan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul "**Model Lalu Lintas Berbasis Kendali Prediktif: Pendekatan Piecewise-Affine Berdasarkan METANET**". Suatu hal yang luar biasa dapat menyelesaikan tugas akhir ini, dengan perjuangan tidak mudah, membutuhkan keteguhan hati, kesabaran dan keikhlasan sehingga tertuntaslah sudah tugas akhir ini.

Shalawat serta salam semoga tetap tercurah kehadiran Nabi akhir, Rasulullah Muhammad SAW, yang selalu menjadi suri tauladan yang mulia bagi semua umatnya, dan pembawa ajaran kepada kebenaran yang hakiki. Semoga kita termasuk umat yang mendapatkan syafaat beliau di akhir zaman kelak. Amin ya rabbal'alamin.

Penulis akan haturkan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah mencerahkan segenap tenaga, pikiran, dan semangatnya kepada penulis. Oleh karena itu, Penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ayah dan bundaku yang selalu setia menjadi tempat curahan, memberikan semangat, mendoakan dan merestui setiap langkah penulis terimakasih atas semua doa yang setiap saat engkau panjatkan untuk anakmu, sehingga Allah selalu memberi kemudahan padaku.
2. Prof. Drs. Yudian Wahyudi, M.A., Ph.D., selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

3. Ibu Dr. Hj. Maizer Said Nahdi M. Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga.
4. Dr. Muhammad Wakhid Musthofa, M.Si., selaku Ketua Prodi Matematika Fakultas Sains dan Teknologi sekaligus selaku pembimbing yang telah memberikan arahan dan saran. Terimakasih juga atas bimbingan, kesabaran, dan pengertian yang telah diberikan kepada saya dari awal sampai akhir selesainya skripsi ini. Mohon maaf jika selama ini banyak bersikap yang kurang berkenan di hati bapak.
5. Muchammad Abrori, S.Si., M.Kom., selaku dosen penasehat akademik mahasiswa program studi matematika angkatan 2012 atas segala pengarahan dan semangat yang selalu bapak berikan selama penulis belajar di Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
6. Bapak/Ibu dosen yang dengan ikhlas telah memberikan ilmu pengetahuan dan pengalaman kepada penulis, sehingga ilmu yang telah didapat memudahkan dalam penyusunan skripsi ini.
7. Kakek dan nenek yang selalu memberi kasih sayang dan perhatian serta paman dan bibi atas perhatian dan dorongan semangat yang tak henti-hentinya agar penulisan tugas akhir ini dapat segera terselesaikan.
8. Adik Isma'il dan Mohammad Khoiri yang selalu menyemangatiku.
9. Teman-teman Jurusan Matematika angkatan 2012 yang selalu memberikan dukungan serta motivasi sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.
10. Teman-teman Forum Komunikasi Santri Banyuanyar (FKMSB) Yogyakarta yang selalu memotivasi dan menemani dalam belajar.

11. Teman-teman Keluarga Mahasiswa Pamekasan Yogyakarta (KMPY) yang selalu memberikan arahan dan motivasi.
12. Teman-teman KKN angkatan ke-86 kelompok 169 yang selalu memberikan semangat kepadaku dan memotivasi.
13. Semua pihak yang memberikan dukungan dan do'a kepada penulis, serta pihak yang membantu penulis menyelesaikan skripsi ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Semoga Allah SWT menerima amal kebaikan beliau sekalian dan memberikan balasan dan pahala yang berlipat-lipat atas kebaikan serta segala yang telah beliau semua berikan kepada penulis dan semoga bermanfaat. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masihlah jauh untuk dikatakan sempurna. Penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun supaya penulis dapat membuat karya dengan lebih baik. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat yang besar.

Banyak kesalahan pastinya dalam penulisan tugas akhir ini. Masukan, saran, dan kritik demi kemajuan, dan kesempurnaan tulisan ini sangat diharapkan oleh penulis. Terima kasih dan mohon maaf atas segala kekurangannya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 1 April 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI	ii
HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
HALAMAN MOTTO	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMBANG	xv
INTISARI	xvi
ABSTRACT	xvii
I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Batasan Masalah	4
1.3. Rumusan Masalah	4
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.6. Tinjauan Pustaka	5
1.7. Sistematika Penulisan	9
II DASAR TEORI	11
2.1. Kendali Diskrit	11
2.1.1. Kestabilan Sistem Diskrit <i>Linear Time Invariant</i> (LTI)	13

2.2. Kendali Model Prediktif (<i>Model Predictive Control/MPC</i>)	17
2.2.1. Kendali MPC tanpa Kendala	19
2.2.2. Kedali MPC dengan Kendala	27
2.3. Metode Pendekatan <i>Piecewise Affine</i>	32
2.4. Program Linear Bilangan Bulat Campuran (<i>Mixed Integer Linear Programming/MILP</i>)	35
III KENDALI MODEL PREDIKTIF (<i>MODEL PREDICTIVE CONTROL/MPC</i>) UNTUK MODEL METANET DENGAN PENDEKATAN PIECEWISE AFFINE (PWA)	41
3.1. Formulasi Model METANET	41
3.2. Pendekatan <i>Piecewise-Affine</i> (PWA)	52
3.2.1. Metode Pendekatan <i>Piecewise-Affine/PWA</i>	53
3.3. Pendekatan <i>Piecewise-Affine/PWA</i> pada METANET	55
3.3.1. Diagram Fundamental	56
3.3.2. Persamaan Arus Lalu Lintas Nonlinear (3.1)	56
3.3.3. Persamaan Kecepatan(3.3) dan (3.5)	57
3.3.4. Dari <i>Piecewise-Affine/PWA</i> pada Program Bilangan Bulat Campuran/ MILP	61
3.4. Kendali Model Prediktif/MPC untuk Kendali Lalu Lintas	66
IV STUDI KASUS DAN SIMULASI	71
V PENUTUP	80
5.1. Kesimpulan	80
5.2. Saran	82
DAFTAR PUSTAKA	83
A M-FILE SOFTWARE MATLAB VERSI 8.1	87
1.1. Arus lalu lintas	87

1.2. Kepadatan lalu lintas	90
1.3. Kecepatan rata-rata	93
1.4. Panjang antrian w_o terhadap waktu	96
1.5. Fungsi objektif J_{TTS} terdapat waktu	99
1.6. Kendali MPC J_{TTS}^{MPC} terdapat waktu	102
B DAFTAR RIWAYAT HIDUP	105
2.1. Identitas Diri	105
2.2. Riwayat Pendidikan	105
2.2.1. Pendidikan Formal	105
2.3. Penghargaan	106
2.4. Pengalaman Organisasi	106

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Kajian Pustaka	8
Tabel 4.1	Nilai Parameter	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	(a) Titik ekuilibrium x_e stabil; (b) titik ekuilibrium x_e stabil asimtotik; (c) titik ekuilibrium x_e tidak stabil (Ogata, 1995) .	15
Gambar 2.2	Kendali model prediktif (MPC)	18
Gambar 3.1	Model METANET pada suatu link jalan bebas hambatan dibagi menjadi beberapa segmen	42
Gambar 3.2	Perubahan waktu dan segmen	43
Gambar 3.3	Model antrian asal- <i>link</i>	47
Gambar 3.4	Simpangan masuk yang menghubungkan pada jalan bebas hambatan	48
Gambar 3.5	Ketika ada pengurangan jalur	50
Gambar 3.6	Diagram fundamental arus lalu lintas	56
Gambar 4.1	Segmen 3 dan 4 diberi batas kecepatan	71
Gambar 4.2	Arus lalu lintas	75
Gambar 4.3	Kepadatan lalu lintas	76
Gambar 4.4	Kecepatan rata-rata	77
Gambar 4.5	Panjang antrian	77
Gambar 4.6	Fungsi objektif	78
Gambar 4.7	Kendali MPC	79

DAFTAR LAMBANG

$x \in A$: x anggota A
$A \subseteq X$: A himpunan bagian (<i>subset</i>) atau sama dengan X
\mathbb{Z}	: himpunan semua bilangan bulat
\mathbb{R}	: himpunan semua bilangan real
\rightarrow	: menuju
$\sum_{i=1}^n a_i$: penjumlahan $a_1 + a_2 + \dots + a_n$
$p \Rightarrow q$: jika p maka q
\Leftrightarrow	: jika dan hanya jika
$ (.) $: nilai mutlak dari (.)
$\ v\ $: norma dari v
\mathbb{R}^{n_x}	: vektor kolom berdimensi n_x dengan entri-enrtinya bilangan real
$int(X)$: interior X

INTISARI

MODEL LALU LINTAS BERBASIS KENDALI PREDIKTIF: PENDEKATAN *Piecewise-affine* BERDASARKAN METANET

Oleh

LIYAS

12610033

Kemacetan lalu lintas di jalan bebas hambatan merupakan masalah yang serius untuk masyarakat modern. Pengelolaan lalu lintas yang dinamis merupakan solusi alternatif yang baik untuk meningkatkan efisiensi pada jaringan yang ada. Penelitian ini menganalisis bagian jaringan pada jalan bebas hambatan dan mengkaji model analitik (METANET) yang termasuk bagian dari model arus lalu lintas secara makroskopik dimana lalu lintas menggambarkan kumpulan parameter seperti kecepatan rata-rata, arus lalu lintas, dan kepadatan.

Menggunakan pendekatan *piecewise-affine* (PWA) pada model METANET merupakan tujuan dari kendali lalu lintas dan diuji di suatu struktur model lalu lintas berbasis kendali prediktif. Pendekatan PWA pada model METANET dibuat untuk mempermudah perhitungan terhadap model nonlinear nonkonveks berbasis kendali lalu lintas, pendekatan tersebut dapat digunakan pada model kendali prediktif (*model predictive control/MPC*). Beberapa persamaan pada model METANET akan didekati oleh fungsi PWA. Pendekatan PWA-MPC sebagai perhitungan secara langsung, persamaan model PWA dapat diubah menjadi program bilangan bulat campuran (*mixed integer linear programming/MILP*). Selanjutnya, melakukan simulasi numerik menggunakan MATLAB dari model METANET.

Kata kunci : Kendali lalu lintas, model lalu lintas berbasis kendali prediktif, pendekatan model *piecewise-affine*.

ABSTRACT

MODEL-BASED PREDICTIVE TRAFFIC CONROL: A PIECEWISE-AFFINE APPROACH BASED ON METANET

By

LIYAS

12610033

Traffic congestion in the freeways is a serious problem for modern society. The dynamic traffic management is a solution alternative of the good to improve the efficiency of the existing networks. In this research is to analyze a section of the freeway network and to study its analytical model (METANET) that belongs to the set of macroscopic freeway models where traffic is described in aggregate terms such as average speed, flow, and traffic density.

Using a piecewise-affine (PWA) approximation of the METANET model is the purpose of traffic control and tested in a model-based predictive control framework. A PWA approximation of the METANET model was made to ease the computational of the nonlinear nonconvex model - based traffic control, the approximation can be used in a model predictive control (MPC). Several model equations of the METANET model are approximated by a PWA function. As a direct PWA-MPC approximation computation, the PWA model equations were converted into a mixed integer linear programming (MILP). Then, perform numerical simulations with using MATLAB of the METANET model.

Keywords: Traffic control, model-based predictive control, piecewise-affine model approximation.

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan dijelaskan mengenai latar belakang yang mendasari penelitian ini yang kemudian dirumuskan dalam rumusan masalah. Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah disusun, ditentukan tujuan penelitian agar penelitian ini memiliki arahan yang jelas mengenai apa saja yang ingin dicapai. Selanjutnya pada bab ini juga dijelaskan mengenai manfaat penelitian, tinjauan pustaka dan sistematika penulisan skripsi ini.

1.1. Latar Belakang Masalah

Masalah transportasi telah melanda manusia jauh sebelum munculnya mobil. Namun keadaan berubah seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin canggih khususnya di bidang alat transportasi. Seiring dengan kemajuannya muncul pula berbagai masalah lalu lintas seperti kemacetan lalu lintas (Haberman, 1977: 256). Untuk mencegah hal tersebut perlu dilakukan pengendalian lalu lintas.

Tingginya tingkat mobilitas manusia menyebabkan semakin dibutuhkan keberadaan jalan raya sebagai media sarana transportasi yang dapat memenuhi keperluan banyak pengguna jalan raya, tentunya hal tersebut harus disertai oleh kondisi jalan raya yang aman dan efisien.

Salah satu alternatif untuk dapat menghasilkan kondisi jalan raya yang dimaksud tersebut adalah dengan melakukan pemodelan arus lalu lintas, dan melakukan simulasi yang dapat digunakan untuk menghasilkan rekayasa lalu lintas

yang mudah. Pemodelan arus lalu lintas dapat bersifat makroskopik atau mikroskopik. Pemodelan arus lalu lintas secara makroskopik adalah pemodelan arus lalu lintas yang terjadi pada sejumlah besar kendaraan pada suatu ruas jalan, dimana pada pemodelan ini dapat dilihat parameter seperti kepadatan, kecepatan dan arus.

Sedangkan pemodelan arus lalu lintas secara mikroskopik adalah pemodelan yang memodelkan perilaku pengemudi dalam berinteraksi dengan kendaraan lain di depannya pada suatu jalan, dimana pada pemodelan ini dapat dilihat parameter seperti posisi dan kecepatan individual.

Masalah pengendalian lalu lintas secara umum dapat diformulasikan sebagai berikut. Diberikan struktur dari suatu jaringan seperti jaringan yang terdiri dari kota, jalan tol, jalan raya, gangguan yang dapat diprediksi seperti jumlah arus dari suatu kota ke kota lain, kendali lalu lintas yang dapat dihitung, dan kendala seperti maksimum batas kecepatan atau maksimum arus yang keluar dari jalan tertentu, akan ditentukan sinyal kendali yang mengoptimalkan fungsi objektif yang diberikan. Berdasarkan permasalahan tersebut diperlukan kendali yang dapat menangani masalah sistem *multi-input* dan *multi-output*, bersifat prediktif seperti dapat memprediksi jumlah arus untuk beberapa hari yang akan datang, dapat menangani kendala, dan dapat menentukan *input* kendali yang mengoptimalkan fungsi objektif (Elen, 2014: 1).

Kendali model berbasis prediktif terhadap jaringan lalu lintas merupakan salah satu kebutuhan kedua model yang dapat melacak keadaan lalu lintas (arus, kecepatan dan lain-lain) dan memperhitungkan pendekatan optimisasi seperti variabel batas kecepatan yang menghasilkan kendali optimal. Pada skripsi ini dipilih model arus lalu lintas secara makroskopik yang menghasilkan deskripsi cukup akurat untuk memberikan permintaan lalu lintas, kondisi lalu lintas dan

batasan *output* pada salah satu sisi. Model METANET merupakan bagian dari model arus lalu lintas secara makroskopik yang diterapkan ke jalan bebas hambatan, model METANET berbentuk diskrit dan nonlinear.

Kendali model prediktif (*model predictive control/MPC*) merupakan teknik kendali optimal yang dapat menangani sistem *state* dan *output* pada nilai yang diinginkan dengan meminimumkan fungsi pembayaran. Kendali MPC tidak menunjukkan strategi yang lebih khusus tetapi memiliki ruang lingkup yang sangat cukup pada metode kendali, kendali MPC digunakan pada sebuah model yang diperoses untuk diperoleh sinyal kendali dengan meminimumkan fungsi objektif (Camacho, 1999: 1).

Kendali MPC merupakan kendali yang memenuhi kriteria-kriteria di atas sehingga MPC cocok diaplikasikan dalam masalah pengendalian lalu lintas. Masalah MPC merupakan metode kendali optimal yang diaplikasikan pada struktur horison, MPC digunakan pada prediksi model METANET.

Kendali MPC sebelumnya telah diaplikasikan dalam model kendali lalu lintas seperti pada Hegyi (2004) yang menghasilkan masalah optimisasi model nonlinear nonkonveks (METANET). Masalah optimisasi nonlinear MPC akan sulit diselesaikan dengan cepat untuk optimalitas. Pada masalah model METANET dipilih suatu pendekatan *piecewise affine* (PWA) dari fungsi nonlinear yang dibuat, dimungkinkan untuk memformulasikan masalah optimisasi MPC sebagai masalah program linear bilangan bulat campuran (*mixed integer linear programming/MILP*). Pembentukan perumusan PWA terhadap model METANET untuk digunakan dalam jaringan MPC yang memiliki solusi nontrivial, namun perumusan tersebut dapat menghasilkan solusi yang baik daripada menggunakan model awal nonlinear.

1.2. Batasan Masalah

Pembahasan model lalu lintas pada skripsi ini berbasis kendali prediktif dengan pendekatan *piecewise-affine* berdasarkan METANET. Pemodelan tersebut memiliki banyak variabel yang mempengaruhi. Oleh karena itu, agar pembahasan skripsi ini tidak meluas maka terdapat batasan masalah yang digunakan sebagai acuan dalam penyelesaian tugas akhir ini yaitu:

1. Tidak ada simpangan keluar dari jalan bebas hambatan.
2. Pendekatan PWA serta metodenya.
3. Pendekatan PWA-MPC.
4. Menerapkan batas kecepatan.

1.3. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penulisan skripsi ini sebagai berikut:

1. Bagaimana membuat model lalu lintas berbasis kendali prediktif dengan pendekatan PWA dan berdasarkan METANET?
2. Bagaimana cara mengidentifikasi model dengan pendekatan PWA dan pendekatan PWA-MPC?
3. Bagaimana menginterpretasikan model lalu lintas dengan melakukan simulasi model?

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membentuk model lalu lintas berbasis kendali prediktif berdasarkan METANET.
2. Membentuk pendekatan PWA dari METANET (PWA - MPC).
3. Membentuk kendali MPC untuk lalu lintas dengan meminimumkan jumlah waktu menunggu (*Total Time Spent/TTS*).
4. Melakukan simulasi menggunakan program MATLAB terhadap model sehingga dapat ditentukan solusinya.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penulisan skripsi ini adalah:

1. Memberikan kemudahan dalam perhitungan model arus lalu lintas dengan pendekatan *piecewise-affine/PWA* berdasarkan METANET.
2. Mengetahui simulasi dari model lalu lintas berbasis kendali prediktif dengan pendekatan PWA berdasarkan METANET.
3. Peneliti dan pembaca dapat dijadikan sebagai referensi untuk penelitian lebih lanjut, dan memberikan pengetahuan kepada pembaca untuk lebih mengenal adanya model arus lalu lintas METANET.

1.6. Tinjauan Pustaka

Penulisan skripsi ini merujuk pada jurnal yang ditulis oleh András Hegyi dkk (*Transportation Research Part C Vol. 13 No. 3 pp. 185-209 Juni 2005*) "Model Predictive Control for Optimal Coordination of Ramp Metering and Variable Speed Limits". Dalam jurnal tersebut dibahas koordinasi yang optimal pada variabel batas kecepatan dan *ramp metering* di jaringan lalu lintas bebas

hambatan, dimana tujuan kendalinya adalah untuk meminimumkan jumlah waktu kendaraan menunggu di jaringan itu. Masalah ini diselesaikan dengan kendali model prediktif/MPC, dimana model arus lalu lintas METANET yang makroskopik digunakan sebagai prediksi modelnya.

Penulisan skripsi ini mengacu pada jurnal yang ditulis oleh Apostolos Kotsialos dkk (*IEEE Transactions on Intelligent Transportation System* Vol. 3 No. 4 pp. 282 - 292 Desember 2002) "*Traffic Flow Modeling of Large - Scale Motorway Networks Using the Macroscopic Modeling Tool METANET*". Jurnal tersebut membahas model arus lalu lintas di jalan raya yang berskala besar dengan menggunakan alat pemodelan METANET. Jurnal tersebut menggunakan simulator makroskopik yang melibatkan model arus lalu lintas tingkat dua seperti menggunakan perluasan jaringan yang relevan.

Pada penelitian Apostolos Kotsialos dkk menggunakan validasi model untuk kasus tertentu yang dilakukan pada dua tahap yaitu validasi kuantitatif dan validasi kualitatif. Validasi model kuantitatif diaplikasikan untuk jaringan *link* secara individu, sedangkan validasi model kualitatif digunakan pada tingkat jaringan. Mempertimbangkan dalam penelitian ini pada jaringan jalan raya berskala besar disekitar Amsterdam, Netherlands.

Penulisan skripsi ini juga merujuk pada jurnal yang ditulis oleh M. Van Den Berg dkk (*Proceedings of the 42nd IEEE Conference on Decision and Control* pp. 2774 - 2779 Desember 2003) "*A Macroscopic Traffic Flow Model Integrated Control of Freeway and Urban Traffic Networks*". Jurnal tersebut menjelaskan tentang model arus lalu lintas untuk menggabungkan kendali jaringan jalan bebas hambatan dan lalu lintas perkotaan. Pada lalu lintas perkotaan mengajukan dengan menggunakan model Kashani.

Pada penelitian M. Van Den Berg dkk juga menjelaskan model arus lalu

lintas berdasarkan model Kashani, perluasan pada model METANET digunakan untuk antrian horisontal. Perluasan pada model tersebut digunakan untuk memperhitungkan efek memblokir yang timbul ketika mobil sedang menunggu sebelum persimpangan. Hal ini menyebabkan kendala pada jumlah mobil yang dapat masuk pada jalur yang diberikan, yaitu membatasi jumlah mobil yang dapat menyimpang dari pangkal perempatan. Model Kashani digunakan pada lalu lintas perkotaan, model tersebut menggunakan waktu siklus dari tanda lalu lintas yang ditetapkan sebagai simulasi langkah waktu.

Skripsi dengan judul "*Model Lalu Lintas Berbasis Kendali Prediktif: Pendekatan Piecewise-Affine Berdasarkan METANET*" yang disusun oleh penulis terinspirasi dari ketiga tinjauan pustaka di atas. Penelitian ini menggunakan pendekatan *piecewise-affine* pada model METANET, pendekatan tersebut dibuat untuk mempermudah penghitungan terhadap model arus lalu lintas yang nonlinear. Model METANET yang digunakan pada penelitian ini adalah sama halnya dengan jurnal pada tinjauan pustaka di atas. Dengan demikian diharapkan dapat menghasilkan suatu hasil yang lebih beragam.

Tabel 1.1 Kajian Pustaka

No	Nama Peneliti	Aspek yang dibahas	Metode	Hasil
1	András Hegyi, dkk	Mengoptimalkan koordinasi pada variabel batas kecepatan dan <i>ramp metering</i> di jaringan lalu lintas bebas hambatan	Metode kendali optimal	Variabel batas kecepatan dapat menghalangi kemacetan lalu lintas dan mempertahankan arus keluas yang lebih tinggi. Menggunakan batas kecepatan dinamik secara signifikan dapat mengurangi kemacetan dan menghasilkan jumlah waktu menunggu /TTS yang lebih rendah.
2	Apostolos Kotsialos, dkk	model arus lalu lintas di jalan raya yang berskala besar dengan menggunakan alat pemodelan METANET	Kuantitatif dan kualitatif	Validasi kuantitatif merupakan metode yang sulit untuk menentukan parameter model pada jumlah luas jalan raya yang terpilih dari kemacetan.

3	M. van den Berg, dkk	model arus lalu lintas untuk menggabungkan kendali jaringan bebas hambatan dan lalu lintas perkotaan	Kendali model prediktif/ MPC	Menggabungkan model untuk membaurkan jalan bebas hambatan dan jaringan lalu lintas perkotaan.
4	Liyas	Model lalu lintas berbasis kendali prediktif dengan pendekatan PWA berdasarkan METANET	Pendekatan PWA	Formulasi PWA dari lalu lintas model METANET dibuat untuk memudahkan penghitungan yang kompleks terhadap model nonlinear nonkonveks berbasis kendali lalu lintas.

1.7. Sistematika Penulisan

Agar penulisan ini lebih terarah, mudah ditelaah dan dipahami, maka digunakan sistematika pembahasan yang terdiri dari lima bab. Masing-masing bab dibagi ke dalam beberapa subbab dengan rumusan sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Pendahuluan meliputi: latar belakang, batasan masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, tinjauan pustaka dan sistematika penulisan.

BAB II : LANDASAN TEORI

Pada bagian ini terdiri atas konsep-konsep (teori-teori) yang mendukung bagian pembahasan. Konsep-konsep tersebut membahas tentang kendali diskrit,

kendali model prediktif (*model predictive control/MPC*), metode pendekatan *piecewise affine* (PWA), dan program bilangan bulat campuran (*Mixed Integer Linear Programming/MILP*).

BAB III : KENDALI MODEL PREDICTIVE CONTROL (MPC) UNTUK MODEL METANET DENGAN PENDEKATAN PIECEWISE AFFINE (PWA)

Pembahasan berisi tentang formulasi model METANET, pendekatan *piecewise-affine* (PWA), pendekatan PWA pada METANET dan MPC untuk kendali lalu lintas.

BAB IV : SIMULASI NUMERIK

Pada bab ini berisi tentang simulasi numerik dari pemodelan yang dibahas, sehingga diperoleh gambaran hari hasil penelitian yang dilakukan.

BAB V : PENUTUP

Pada bab ini berisi kesimpulan dan saran yang dapat diambil dari hasil penelitian ini.

BAB V

PENUTUP

Berdasarkan hasil analisis dan simulasi model lalu lintas berbasis kendali prediktif untuk model METANET dengan pendekatan *piecewise-affine*, diperoleh kesimpulan dan saran sebagai berikut.

5.1. Kesimpulan

1. Model arus lalu lintas secara makroskopik berdasarkan METANET adalah:

$$\begin{aligned} q_{m,i}(k) &= \lambda_m \rho_{m,i}(k) v_{m,i}(k) \\ \rho_{m,i}(k+1) &= \rho_{m,i}(k) + \frac{T_s}{L_m \lambda_m} [q_{m,i-1}(k) - q_{m,i}(k)] \\ v_{m,i}(k+1) &= v_{m,i}(k) + \frac{T_s v_{m,i}(k) [v_{m,i-1}(k) - v_{m,i}(k)]}{L_m} \\ &\quad + \frac{T_s}{\tau} (V(\rho_{m,i}(k)) - v_{m,i}(k)) - \frac{T_s \eta [\rho_{m,i+1}(k) - \rho_{m,i}(k)]}{\tau L_m [\rho_{m,i}(k) + \kappa]} \\ V(\rho_{m,i}(k)) &= \left[v_{free,m} \exp \left(-\frac{1}{a_m} \left(\frac{\rho_{m,i}(k)}{\rho_{ctit,m}} \right)^{a_m} \right) \right] \\ V(\rho_{m,i}(k)) &= \min \left(v_{free,m} \exp \left[-\frac{1}{a_m} \left(\frac{\rho_{m,i}(k)}{\rho_{ctit,m}} \right)^{a_m} \right], (1 + \alpha) v_{control,m,i}(k) \right) \\ w_o(k+1) &= w_o(k) + T_s (d_o(k) - q_o(k)) \\ q_o(k) &= \min \left[d_o(k) + \frac{w_o(k)}{T_s}, r_o(k) C_o, C_o \left(\frac{\rho_{jam,m} - \rho_{m,1}(k)}{\rho_{jam,m} - \rho_{crit,m}} \right) \right] \\ v_{m,i}(k+1) &= v_{m,i}(k) + \frac{T_s v_{m,i}(k) (v_{m,i-1}(k) - v_{m,i}(k))}{L_m} \\ &\quad + \frac{T_s}{\tau} (V(\rho_{m,i}(k)) - v_{m,i}(k)) - \frac{T_s \eta [\rho_{m,i+1}(k) - \rho_{m,i}(k)]}{\tau L_m [\rho_{m,i}(k) + \kappa]} \\ &\quad - \frac{\delta T_s q_o(k) v_{m,1}(k)}{L_m \lambda_m [\rho_{m,1}(k) + \kappa]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
v_{m,i}(k+1) &= v_{m,i}(k) - \frac{T_s \Delta \lambda \phi \rho_{m,N_m}(k) v_{m,N_m}^2(k)}{\lambda_m L_m \rho_{crit,m}} \\
&\quad - \frac{T_s v_{m,i}(k)(v_{m,i}(k) - v_{m,i-1}(k))}{L_m} \\
&\quad + \frac{T_s}{\tau} (V(\rho_{m,i}(k)) - v_{m,i}(k)) \\
&\quad - \frac{T_s \eta}{\tau L_m} \left[\frac{\rho_{m,i+1}(k) - \rho_{m,i}(k)}{\rho_{m,i}(k) + \kappa} \right]
\end{aligned}$$

2. Persamaan yang didekati oleh pendekatan *piecewise affine* sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
q_{m,i}(k) &= 3\rho_{m,i}(k) \frac{v_j + v_{j+1}}{2} \quad \text{untuk } v_{m,i}(k) \in [v_j, v_{j+1}] \\
\rho_{m,i}(k+1) &= \rho_{m,i}(k) + 9.26 \times 10^{-4} [q_{m,i-1}(k) - q_{m,i}(k)] \\
V(\rho_{m,i}(k)) &= \min \left(102 \exp \left[-\frac{1}{1.867} \left(\frac{\rho_{m,i}(k)}{33.5} \right)^{1.867} \right], (1.1)v_{control,m,i}(k) \right) \\
v_{m,i}(k+1) &= v_{m,i}(k) + 2.78 \times 10^{-3} v_{m,i}(k) [v_{m,i-1}(k) - v_{m,i}(k)] \\
&\quad + 0.55[V(\rho_{m,i}(k)) - v_{m,i}(k)] - 33.33 \frac{\rho_{m,i+1}(k) - \rho_{m,i}(k)}{\rho_{m,i}(k) + 40} \\
w_o(k+1) &= w_o(k) + 2.78 \times 10^{-3} (d_o(k) - q_o(k)) \\
q_o(k) &= \min \left[d_o(k) + \frac{w_o(k)}{10/3600}, 1C_o, C_o \left(\frac{180 - \rho_{m,1}(k)}{180 - 33.5} \right) \right] \\
v_{m,i}(k+1) &= v_{m,i}(k) + 2.78 \times 10^{-3} v_{m,i}(k) [v_{m,i-1}(k) - v_{m,i}(k)] \\
&\quad + 0.55[V(\rho_{m,i}(k)) - v_{m,i}(k)] - 33.33 \frac{\rho_{m,i+1}(k) - \rho_{m,i}(k)}{\rho_{m,i}(k) + 40} \\
&\quad - \frac{1.13 \times 10^{-5} q_o(k) v_{m,1}(k)}{\rho_{m,1}(k) + 40}
\end{aligned}$$

3. Persamaan berikut merupakan kendali MPC dengan meminimumkan jumlah waktu menunggu di arus lalu lintas

$$J_{TTS}^{MPC}(k) = T_s \sum_{j=k}^{k+N_p} \left(\sum_{(m,i) \in I_{all}} L_m \lambda_m \rho_{m,i}(j) + \sum_{o \in O_{all}} w_o(j) \right)$$

dengan $j \in k, k+1, k+2, \dots, k+N_p$.

4. Berdasarkan simulasi model, hanya variabel kecepatan rata - rata yang mengalami peningkatan dalam waktu 0 – 2.5 jam sedangkan yang lainnya menuju nol dalam waktu 0 – 2.5 jam.

5.2. Saran

Pada skripsi ini model makroskopik yang digunakan adalah model makroskopik METANET dengan pendekatan *piecewise affine* (PWA). Pada penelitian lebih lanjut dapat digunakan model METANET dengan kendali MPC seperti masalah koordinasi pada *speed limits*, *ramp metering* dan pemilihan rute. Pada penelitian lebih lanjut juga dapat diterapkan untuk lalu lintas di Yogyakarta dengan menggunakan model METANET. Tujuan dari pengendali adalah menentukan sinyal kendali yang dapat menghasilkan perilaku lalu lintas optimal yang diproses.

DAFTAR PUSTAKA

- Atamtürk, A. and Savelsbergh, M., 2005, Integer-programming software systems, *Annals of Operations Research*, vol. 140, no. 1, pp. 67-124.
- Azuma, S., Imura, J., and Sugie, T., 2010, Lebesque piecewise affine approximation of nonlinear systems, *Nonlinear Analysis: Hybrid Systems*, vol. 4, no. 1, pp. 92-102.
- Bemporad, A. and Morari, M., 1999, Control of systems integrating logic, dynamics, and constraints, *Automatica*, vol. 35, no. 3, pp. 407-427.
- Brensteiner, E. and Bennett, K., 1999, Multicategory classification by support vector machines, *Computational Optimizations and Applications*, vol. 12, no. 1-3, pp. 53-79.
- Caggiani, L., Dell'Orco, M., Marinelli, M., and Ottomanelli, M., 2012, A metaheuristic dynamic traffic assignment model for O-D matrix estimation using aggregate data, *15th Meeting of EURO Working Group on Transportation*, 54, 685-695.
- Camacho, E.F. and Bordons, C., 1999, *Model Predictive Control*, 2nd ed., Springer-Verlag, London.
- Christophersen, F. J., 2007, *Optimal Control of Constrained Piecewise Affine Systems*, Springer-Verlag, New York.
- Elaydi, S., 2005, *An Introduction to Difference Equations*, 3rd ed., Springer Science Business Media, Inc., USA.

Elen, Kristin., 2014, *Kendali Model Prediktif pada Masalah Pemilihan Rute Menggunakan Program Linear Bilangan Bulat Campuran*, Yogyakarta: SKRIPSI Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Ferrari-Trecate, G., Muselli, M., Liberati, D., and Morari, M., 2003, A clustering technique for the identifacation of piecewise affine systems, *Automatica*, vol. 39, no. 2, pp. 205-217.

Groot, N., 2013, Reverse stackelberg games: theory and applications in traffic control, *Ph.D. Thesis*, Delft University of Technology, The Netherlands.

Groot, N., De Schutter, B., Zegeye, S.K., and Hellendoorn, H., 2011, Model-based traffic and emission control using PWA models a mixed-logical dynamic approach, *Proceedings of the 14th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2011)*, Washington, DC, pp. 2142-2147, Oct. 2011.

Haberman, Richard., 1997, *Mathematical Models: Michanical Vibrations, Population Dynamics, and Traffic Flow*, Prentice-Hall, Inc., USA.

Hegyi, A., 2004, Model predictive control for integrating traffic control measures, *Ph.D. Thesis*, TRAIL Thesis Series T2004/2, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.

Hegyi, A., De Schutter, B., and Hellendoorn, H., 2005, Model predictive control for optimal coordination of ramp metering and variable speed limits, *Transportation Reseach Part C*, vol. 13, no. 3, pp. 185-209.

_____, 2005, Optimal coordination of variable speed limits to suppress shock waves, *IEEE Transections on Intelligent Transportation Systems*, vol. 6, no. 1, pp. 102-112.

- Heij, C., Ran, A., and Schagen, F.V., 2007, *Introduction to Mathematical systems Theory: Linear Systems, Identification and Control*, Birkhäuser Verlag, Germany.
- Kavasnica, M., Grieder, P., Baotić, M., and Christophersen, F.J., 2004, multi-parameter toolbox (MPT). <http://control.ee.ethz.ch/~mpt/>.
- Kotsialos, A., Papageorgeou, M., Diakaki, C., Pavlis, Y., and Middelham, F., 2002, Traffic flow modeling of large-scale motorway networks using the macroscopic modeling tool METANET, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 3, no. 4, pp. 282-292.
- Liu, S., Schutter, B.D., and Hellendoorn, H., 2014, Model predictive control based on a new multi-class METANET model, *Automatic Control*, South Africa, August 24-29.
- Lu, X.Y., Qiu, T.Z., Horowitz, R., Chow, A., and Shladover, S., 2011, METANET model improvement for traffic control, *14th International IEEE Conference on Transportation Systems*, USA, October 5-7.
- _____, 2014, METANET model improvement for traffic control, *Transportation*, vol. 2, no. 2, pp. 65-88.
- Maciejowski, J.M., 2002, *Predictive Control with Constraints*, Prentice Hall, USA.
- Ogata, K., 1995, *Discrete-Time Control Systems*, 2nd ed., Prentice Hall, USA.
- Olsder, G.J. and van der Woude, J.W., 1994, *Mathematical Systems Theory*, Delft University Press, Delft, The Netherlands.
- Parzynski, W.R. and Zipse, P.W., 1982, *Introduction to Mathematical Analysis*, McGraw-Hill, Inc., USA.

Setywan, S., 2014. *Analisa Operasional Jalan Pemuda Tengah Depan Toko Laris Dan Plasa Matahari*. Yogyakarta: TUGAS AKHIR (D3) Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

Szücs, A., Kvasnica, M., and Fikar, M. 2012. Optimal piecewise affine approximations of nonlinear functions obtained from measurements, *14th IFAC Conference of Analysis and Design of Hybrid Systems (ADHS 12)*. Eindhoven, The Netherlands.

van de Berg, M., Hegyi, A., Schutter, B.D., and Hellendoorn, H., 2003, A macroscopic traffic flow model for integrated control of freeway and urban traffic network, *Proceedings of the 42nd IEEE Conference on Decision and Control*, Maui, Hawai, pp. 2774-2779.

Vapnik, V. N., 1998, *Statistical Learning Theory*, John Wiley and Sons, Inc., New York.

Williams, H. P., 1993, *Modeling Building in Mathematical Programming*, 5rd ed., John Wiley and Sons Ltd., England.

LAMPIRAN A

M-FILE SOFTWARE MATLAB VERSI 8.1

1.1. Arus lalu lintas

```
1 %Arus lalu lintas%
2 - clear;
3 - clc;
4 %Inisial parameter%
5 - a=1.867;
6 - vfree=102;
7 - T=10;
8 - Ts=T/3600;
9 - tau=18/3600;
10 - kappa=40;
11 - eta=60;
12 - pcrit=33.5;
13 - pmax=180;
14 - L=1;
15 - N=40;
16 - delta=0.0122;
17 - lambda1=3;
18 - lambda2=3;
19 - C01=4000;
20 - C02=2000;
21 - d0=4000;
22 - d01=25;
23 - d02=40;
24 - r0=1;
25 - alpha=0.1;
26 %Nilai awal%
27 - w01(1)=150;
28 - w02(1)=100;
29 - q10(1)=0;
30 - v10(1)=0;
31 - v11(1)=38.8;
32 - v12(1)=31.5;
33 - v13(1)=31.8;
34 - v14(1)=31.6;
35 - v21(1)=32;
```

```

36 -     v22(1)=26;
37 -     p11(1)=20.4;
38 -     p12(1)=27.4;
39 -     p13(1)=29.5;
40 -     p14(1)=30.8;
41 -     p15(1)=34.0;
42 -     p21(1)=34;
43 -     p22(1)=44;
44 -     p23(1)=53;
45
46 -     t=1;
47 -     t(1)=0;
48 -     for k=1:N
49 -         q11(k+1)=lambda1*p11(k)*v11(k);
50 -         p11(k+1)=p11(k)+(q10(1)-q11(k))*Ts/(lambda1*L);
51 -         V11=vfree*exp((p11(k))^a/((-a)*(pcrit)^a));
52 -         A1=min(d01+w01(k)/Ts,ro*Co1);
53 -         B1=min(ro*Co1,Co1*((pmax-p11(k))/(pmax-pcrit)));
54 -         q01=min(A1,B1);
55 -         w01(k+1)=w01(k)+Ts*(d01-q01);
56 -         v11(k+1)=v11(k)+Ts*(V11-v11(k))/tau+v11(k)*(v10(1)-v11(k))*Ts/L-
57 -             Ts*eta*(p12(k)-p11(k))/(tau*L*(p11(k)+kappa))- ...
58 -                 delta*Ts*q01*v11(k)/(L*lambda1*(p11(k)+kappa));
59 -         q12(k+1)=lambda1*p12(k)*v12(k);
60 -         p12(k+1)=p12(k)+(q11(k)-q12(k))*Ts/(lambda1*L);
61 -         V12=vfree*exp((p12(k))^a/((-a)*(pcrit)^a));
62 -         v12(k+1)=v12(k)+Ts*(V12-v12(k))/tau+v12(k)*(v11(k)-v12(k))*Ts/L-
63 -             Ts*eta*(p13(k)-p12(k))/(tau*L*(p12(k)+kappa));
64 -         q13(k+1)=lambda1*p13(k)*v13(k);
65 -         p13(k+1)=p13(k)+(q12(k)-q13(k))*Ts/(lambda1*L);
66 -         V13=min(vfree*exp((p13(k))^a/((-a)*(pcrit)^a)),(1+alpha)*v13(k));
67 -         v13(k+1)=v13(k)+Ts*(V13-v13(k))/tau+v13(k)*(v12(k)-v13(k))*Ts/L-
68 -             Ts*eta*(p14(k)-p13(k))/(tau*L*(p13(k)+kappa));
69 -         q14(k+1)=lambda1*p14(k)*v14(k);
70 -         p14(k+1)=p14(k)+(q13(k)-q14(k))*Ts/(lambda1*L);

```

```

71 -      V14=min(vfree*exp((p14(k))^a/((-a)*(pcrit)^a)),(1+alpha)*v14(k));
72 -      v14(k+1)=v14(k)+Ts*(V14-v14(k))/tau+v14(k)*(v13(k)-v14(k))*Ts/L- ...
73 -      Ts*eta*(p21(k)-p14(k))/(tau*L*(p14(1)+kappa));
74 -      q21(k+1)=lambda2*p21(k)*v21(k);
75 -      p21(k+1)=p21(k)+(q14(k)-q21(k))*Ts/(lambda2*L);
76 -      V21=vfree*exp((p21(k))^a/((-a)*(pcrit)^a));
77 -      A2=min(do2+wo2(k)/Ts,ro*Co2);
78 -      B2=min(ro*Co2,Co2*((pmax-p21(k))/(pmax-pcrit)));
79 -      qo2=min(A2,B2);
80 -      wo2(k+1)=wo2(k)+Ts*(do2-qo2);
81 -      v21(k+1)=v21(k)+Ts*(V21-v21(k))/tau+v21(k)*(v14(k)-v21(k))*Ts/L- ...
82 -      Ts*eta*(p22(k)-p21(k))/(tau*L*(p21(k)+kappa))- ...
83 -      delta*Ts*qo2*v21(k)/(L*lambda2*(p21(k)+kappa));
84 -      q22(k+1)=lambda2*p22(k)*v22(k);
85 -      p22(k+1)=p22(k)+(q21(k)-q22(k))*Ts/(lambda2*L);
86 -      V22=vfree*exp((p22(k))^a/((-a)*(pcrit)^a));
87 -      v22(k+1)=v22(k)+Ts*(V22-v22(k))/tau+v22(k)*(v21(k)-v22(k))*Ts/L- ...
88 -      Ts*eta*(p23(1)-p22(k))/(tau*L*(p22(k)+kappa));
89 -      t(k+1)=t(k)+k*Ts;
90 - end
91
92 - plot(t,q11,'o-r', 'LineWidth', 2)
93 - hold on; plot(t,q12, 'x-g', 'LineWidth', 2)
94 - hold on; plot(t,q13, 's-b', 'LineWidth', 2)
95 - hold on; plot(t,q14, 'd-m', 'LineWidth', 2)
96 - hold on; plot(t,q21, 'p-c', 'LineWidth', 2)
97 - hold on; plot(t,q22, 'h-k', 'LineWidth', 2)
98 - title('Arus lalu lintas')
99 - xlabel('Waktu');
100 - ylabel('Arus');
101 - legend('link 1,segme 1','link 1,segme 2','link 1,segme 3', ...
102 - 'link 1,segme 4','link 2,segme 1','link 2,segme 2');
103 - grid on
104

```

1.2. Kepadatan lalu lintas

```
1 %Kepdatan lalu lintas%
2 - clear;
3 - clc;
4 %Inisial parameter%
5 - a=1.867;
6 - vfree=102;
7 - T=10;
8 - Ts=T/3600;
9 - tau=18/3600;
10 - kappa=40;
11 - eta=60;
12 - pcrit=33.5;
13 - pmax=180;
14 - L=1;
15 - N=40;
16 - delta=0.0122;
17 - lambda1=3;
18 - lambda2=3;
19 - C01=4000;
20 - C02=2000;
21 - d0=4000;
22 - d01=25;
23 - d02=40;
24 - ro=1;
25 - alpha=0.1;
26 %Nilai awal%
27 - w01(1)=150;
28 - w02(1)=100;
29 - q10(1)=0;
30 - v10(1)=0;
31 - v11(1)=38.8;
32 - v12(1)=31.5;
33 - v13(1)=31.8;
34 - v14(1)=31.6;
35 - v21(1)=32;
```

```

36 -     v22(1)=26;
37 -     p11(1)=20.4;
38 -     p12(1)=27.4;
39 -     p13(1)=29.5;
40 -     p14(1)=30.8;
41 -     p15(1)=34.0;
42 -     p21(1)=34;
43 -     p22(1)=44;
44 -     p23(1)=53;
45
46 -     t=1;
47 -     t(1)=0;
48 -     for k=1:N
49 -         q11(k)=lambda1*p11(k)*v11(k);
50 -         p11(k+1)=p11(k)+(q10(1)-q11(k))*Ts/(lambda1*L);
51 -         V11=vfree*exp((p11(k))^a/((-a)*(pcrit)^a));
52 -         A1=min(dol+w01(k)/Ts,ro*Co1);
53 -         B1=min(ro*Co1,Co1*((pmax-p11(k))/(pmax-pcrit)));
54 -         qo1=min(A1,B1);
55 -         w01(k+1)=w01(k)+Ts*(dol-qo1);
56 -         v11(k+1)=v11(k)+Ts*(V11-v11(k))/tau+v11(k)*(v10(1)-v11(k))*Ts/L- ...
57 -             Ts*eta*(p12(k)-p11(k))/(tau*L*(p11(k)+kappa))- ...
58 -                 delta*Ts*qo1*v11(k)/(L*lambda1*(p11(k)+kappa));
59 -         q12(k)=lambda1*p12(k)*v12(k);
60 -         p12(k+1)=p12(k)+(q11(k)-q12(k))*Ts/(lambda1*L);
61 -         V12=vfree*exp((p12(k))^a/((-a)*(pcrit)^a));
62 -         v12(k+1)=v12(k)+Ts*(V12-v12(k))/tau+v12(k)*(v11(k)-v12(k))*Ts/L- ...
63 -             Ts*eta*(p13(k)-p12(k))/(tau*L*(p12(k)+kappa));
64 -         q13(k)=lambda1*p13(k)*v13(k);
65 -         p13(k+1)=p13(k)+(q12(k)-q13(k))*Ts/(lambda1*L);
66 -         V13=min(vfree*exp((p13(k))^a/((-a)*(pcrit)^a)),(1+alpha)*v13(k));
67 -         v13(k+1)=v13(k)+Ts*(V13-v13(k))/tau+v13(k)*(v12(k)-v13(k))*Ts/L- ...
68 -             Ts*eta*(p14(k)-p13(k))/(tau*L*(p13(k)+kappa));
69 -         q14(k)=lambda1*p14(k)*v14(k);
70 -         p14(k+1)=p14(k)+(q13(k)-q14(k))*Ts/(lambda1*L);

```

```

71 -      V14=min(vfree*exp((p14(k))^a/((-a)*(pcrit)^a)),(1+alpha)*v14(k));
72 -      v14(k+1)=v14(k)+Ts*(V14-v14(k))/tau+v14(k)*(v13(k)-v14(k))*Ts/L- ...
73 -      Ts*eta*(p21(k)-p14(k))/(tau*L*(p14(1)+kappa));
74 -      q21(k)=lambda2*p21(k)*v21(k);
75 -      p21(k+1)=p21(k)+(q14(k)-q21(k))*Ts/(lambda2*L);
76 -      V21=vfree*exp((p21(k))^a/((-a)*(pcrit)^a));
77 -      A2=min(do2+wo2(k)/Ts,ro*Co2);
78 -      B2=min(ro*Co2,Co2*((pmax-p21(k))/(pmax-pcrit)));
79 -      qo2=min(A2,B2);
80 -      wo2(k+1)=wo2(k)+Ts*(do2-qo2);
81 -      v21(k+1)=v21(k)+Ts*(V21-v21(k))/tau+v21(k)*(v14(k)-v21(k))*Ts/L- ...
82 -      Ts*eta*(p22(k)-p21(k))/(tau*L*(p21(k)+kappa))- ...
83 -      delta*Ts*qo2*v21(k)/(L*lambda2*(p21(k)+kappa));
84 -      q22(k)=lambda2*p22(k)*v22(k);
85 -      p22(k+1)=p22(k)+(q21(k)-q22(k))*Ts/(lambda2*L);
86 -      V22=vfree*exp((p22(k))^a/((-a)*(pcrit)^a));
87 -      v22(k+1)=v22(k)+Ts*(V22-v22(k))/tau+v22(k)*(v21(k)-v22(k))*Ts/L- ...
88 -      Ts*eta*(p23(1)-p22(k))/(tau*L*(p22(k)+kappa));
89 -      t(k+1)=t(k)+k*Ts;
90 -  end
91
92 - plot(t,p11,'o-r', 'LineWidth', 2)
93 - hold on; plot(t,p12, 'x-g', 'LineWidth', 2)
94 - hold on; plot(t,p13, 's-b', 'LineWidth', 2)
95 - hold on; plot(t,p14, 'd-m', 'LineWidth', 2)
96 - hold on; plot(t,p21, 'p-c', 'LineWidth', 2)
97 - hold on; plot(t,p22, 'h-k', 'LineWidth', 2)
98 - title('Kepadatan lalu lintas');
99 - xlabel('Waktu');
100 - ylabel('Kepadatan');
101 - legend('link 1,segme 1','link 1,segme 2','link 1,segme 3', ...
102 -         'link 1,segme 4','link 2,segme 1','link 2,segme 2');
103 - grid on
104

```

1.3. Kecepatan rata-rata

```
1 %Kecepatan rata-rata%
2 - clear;
3 - clc;
4 %Inisial parameter%
5 - a=1.867;
6 - vfree=102;
7 - T=10;
8 - Ts=T/3600;
9 - tau=18/3600;
10 - kappa=40;
11 - eta=60;
12 - pcrit=33.5;
13 - pmax=180;
14 - L=1;
15 - N=40;
16 - delta=0.0122;
17 - lambda1=3;
18 - lambda2=3;
19 - C01=4000;
20 - C02=2000;
21 - d0=4000;
22 - d01=25;
23 - d02=40;
24 - ro=1;
25 - alpha=0.1;
26 %Nilai awal%
27 - w01(1)=150;
28 - w02(1)=100;
29 - q10(1)=0;
30 - v10(1)=0;
31 - v11(1)=38.8;
32 - v12(1)=31.5;
33 - v13(1)=31.8;
34 - v14(1)=31.6;
35 - v21(1)=32;
```

```

36 -     v22(1)=26;
37 -     p11(1)=20.4;
38 -     p12(1)=27.4;
39 -     p13(1)=29.5;
40 -     p14(1)=30.8;
41 -     p15(1)=34.0;
42 -     p21(1)=34;
43 -     p22(1)=44;
44 -     p23(1)=53;
45
46 -     t=1;
47 -     t(1)=0;
48 -     for k=1:N
49 -         q11(k)=lambda1*p11(k)*v11(k);
50 -         p11(k+1)=p11(k)+(q10(1)-q11(k))*Ts/(lambda1*L);
51 -         V11=vfree*exp((p11(k))^a/((-a)*(pcrit)^a));
52 -         A1=min(dol+wol(k)/Ts,ro*C01);
53 -         B1=min(ro*C01,C01*((pmax-p11(k))/(pmax-pcrit)));
54 -         qo1=min(A1,B1);
55 -         wol(k+1)=wol(k)+Ts*(dol-qo1);
56 -         v11(k+1)=v11(k)+Ts*(V11-v11(k))/tau+v11(k)*(v10(1)-v11(k))*Ts/L-
57 -             Ts*eta*(p12(k)-p11(k))/(tau*L*(p11(k)+kappa))-...
58 -                 delta*Ts*qo1*v11(k)/(L*lambda1*(p11(k)+kappa));
59 -         q12(k)=lambda1*p12(k)*v12(k);
60 -         p12(k+1)=p12(k)+(q11(k)-q12(k))*Ts/(lambda1*L);
61 -         V12=vfree*exp((p12(k))^a/((-a)*(pcrit)^a));
62 -         v12(k+1)=v12(k)+Ts*(V12-v12(k))/tau+v12(k)*(v11(k)-v12(k))*Ts/L-
63 -             Ts*eta*(p13(k)-p12(k))/(tau*L*(p12(k)+kappa));
64 -         q13(k)=lambda1*p13(k)*v13(k);
65 -         p13(k+1)=p13(k)+(q12(k)-q13(k))*Ts/(lambda1*L);
66 -         V13=min(vfree*exp((p13(k))^a/((-a)*(pcrit)^a)),(1+alpha)*v13(k));
67 -         v13(k+1)=v13(k)+Ts*(V13-v13(k))/tau+v13(k)*(v12(k)-v13(k))*Ts/L-
68 -             Ts*eta*(p14(k)-p13(k))/(tau*L*(p13(k)+kappa));
69 -         q14(k)=lambda1*p14(k)*v14(k);
70 -         p14(k+1)=p14(k)+(q13(k)-q14(k))*Ts/(lambda1*L);

```

```

71 -      V14=min(vfree*exp((p14(k))^a/((-a)*(pcrit)^a)),(1+alpha)*v14(k));
72 -      v14(k+1)=v14(k)+Ts*(V14-v14(k))/tau+v14(k)*(v13(k)-v14(k))*Ts/L- ...
73 -      Ts*eta*(p21(k)-p14(k))/(tau*L*(p14(1)+kappa));
74 -      q21(k)=lambda2*p21(k)*v21(k);
75 -      p21(k+1)=p21(k)+(q14(k)-q21(k))*Ts/(lambda2*L);
76 -      V21=vfree*exp((p21(k))^a/((-a)*(pcrit)^a));
77 -      A2=min(do2+wo2(k)/Ts,ro*Co2);
78 -      B2=min(ro*Co2,Co2*((pmax-p21(k))/(pmax-pcrit)));
79 -      qo2=min(A2,B2);
80 -      wo2(k+1)=wo2(k)+Ts*(do2-qo2);
81 -      v21(k+1)=v21(k)+Ts*(V21-v21(k))/tau+v21(k)*(v14(k)-v21(k))*Ts/L- ...
82 -      Ts*eta*(p22(k)-p21(k))/(tau*L*(p21(k)+kappa))- ...
83 -      delta*Ts*qo2*v21(k)/(L*lambda2*(p21(k)+kappa));
84 -      q22(k)=lambda2*p22(k)*v22(k);
85 -      p22(k+1)=p22(k)+(q21(k)-q22(k))*Ts/(lambda2*L);
86 -      V22=vfree*exp((p22(k))^a/((-a)*(pcrit)^a));
87 -      v22(k+1)=v22(k)+Ts*(V22-v22(k))/tau+v22(k)*(v21(k)-v22(k))*Ts/L- ...
88 -      Ts*eta*(p23(1)-p22(k))/(tau*L*(p22(k)+kappa));
89 -      t(k+1)=t(k)+k*Ts;
90 - end
91
92 - plot(t,v11,'o-r', 'LineWidth', 2)
93 - hold on; plot(t,v12, 'x-g', 'LineWidth', 2)
94 - hold on; plot(t,v13, 's-b', 'LineWidth', 2)
95 - hold on; plot(t,v14, 'd-m', 'LineWidth', 2)
96 - hold on; plot(t,v21, 'p-c', 'LineWidth', 2)
97 - hold on; plot(t,v22, 'h-k', 'LineWidth', 2)
98 - title('Kecepatan rata-rata');
99 - xlabel('Waktu');
100 - ylabel('Kecepatan');
101 - legend('link 1,segme 1','link 1,segme 2','link 1,segme 3', ...
102 -       'link 1,segme 4','link 2,segme 1','link 2,segme 2');
103 - grid on
104

```

1.4. Panjang antrian w_o terhadap waktu

```
1 %Panjang antrian%
2 - clear;
3 - clc;
4 %Inisial parameter%
5 - a=1.867;
6 - vfree=102;
7 - T=10;
8 - Ts=T/3600;
9 - tau=18/3600;
10 - kappa=40;
11 - eta=60;
12 - pcrit=33.5;
13 - pmax=180;
14 - L=1;
15 - N=40;
16 - delta=0.0122;
17 - lambda1=3;
18 - lambda2=3;
19 - Co1=4000;
20 - Co2=2000;
21 - do=4000;
22 - do1=25;
23 - do2=40;
24 - ro=1;
25 - alpha=0.1;
26 %Nilai awal%
27 - wo1(1)=150;
28 - wo2(1)=100;
29 - q10(1)=0;
30 - v10(1)=0;
31 - v11(1)=38.8;
32 - v12(1)=31.5;
33 - v13(1)=31.8;
34 - v14(1)=31.6;
35 - v21(1)=32;
```

```

36 -     v22(1)=26;
37 -     p11(1)=20.4;
38 -     p12(1)=27.4;
39 -     p13(1)=29.5;
40 -     p14(1)=30.8;
41 -     p15(1)=34.0;
42 -     p21(1)=34;
43 -     p22(1)=44;
44 -     p23(1)=53;
45
46 -     t=1;
47 -     t(1)=0;
48 -     for k=1:N
49 -         q11(k)=lambda1*p11(k)*v11(k);
50 -         p11(k+1)=p11(k)+(q10(1)-q11(k))*Ts/(lambda1*L);
51 -         V11=vfree*exp((p11(k))^a/((-a)*(pcrit)^a));
52 -         A1=min(d01+w01(k)/Ts,ro*C01);
53 -         B1=min(ro*C01,C01*((pmax-p11(k))/(pmax-pcrit)));
54 -         q01=min(A1,B1);
55 -         w01(k+1)=w01(k)+Ts*(d01-q01);
56 -         v11(k+1)=v11(k)+Ts*(V11-v11(k))/tau+v11(k)*(v10(1)-v11(k))*Ts/L-
57 -             Ts*eta*(p12(k)-p11(k))/(tau*L*(p11(k)+kappa))- ...
58 -                 delta*Ts*q01*v11(k)/(L*lambda1*(p11(k)+kappa));
59 -         q12(k)=lambda1*p12(k)*v12(k);
60 -         p12(k+1)=p12(k)+(q11(k)-q12(k))*Ts/(lambda1*L);
61 -         V12=vfree*exp((p12(k))^a/((-a)*(pcrit)^a));
62 -         v12(k+1)=v12(k)+Ts*(V12-v12(k))/tau+v12(k)*(v11(k)-v12(k))*Ts/L-
63 -             Ts*eta*(p13(k)-p12(k))/(tau*L*(p12(k)+kappa));
64 -         q13(k)=lambda1*p13(k)*v13(k);
65 -         p13(k+1)=p13(k)+(q12(k)-q13(k))*Ts/(lambda1*L);
66 -         V13=min(vfree*exp((p13(k))^a/((-a)*(pcrit)^a)),(1+alpha)*v13(k));
67 -         v13(k+1)=v13(k)+Ts*(V13-v13(k))/tau+v13(k)*(v12(k)-v13(k))*Ts/L-
68 -             Ts*eta*(p14(k)-p13(k))/(tau*L*(p13(k)+kappa));
69 -         q14(k)=lambda1*p14(k)*v14(k);
70 -         p14(k+1)=p14(k)+(q13(k)-q14(k))*Ts/(lambda1*L);

```

```

71 - V14=min(vfree*exp((p14(k))^a/((-a)*(pcrit)^a)),(1+alpha)*v14(k));
72 - v14(k+1)=v14(k)+Ts*(V14-v14(k))/tau+v14(k)*(v13(k)-v14(k))*Ts/L- ...
73 - Ts*eta*(p21(k)-p14(k))/(tau*L*(p14(1)+kappa));
74 - q21(k)=lambda2*p21(k)*v21(k);
75 - p21(k+1)=p21(k)+(q14(k)-q21(k))*Ts/(lambda2*L);
76 - V21=vfree*exp((p21(k))^a/((-a)*(pcrit)^a));
77 - A2=min(do2+wo2(k)/Ts,ro*Co2);
78 - B2=min(ro*Co2,Co2*((pmax-p21(k))/(pmax-pcrit)));
79 - qo2=min(A2,B2);
80 - wo2(k+1)=wo2(k)+Ts*(do2-qo2);
81 - v21(k+1)=v21(k)+Ts*(V21-v21(k))/tau+v21(k)*(v14(k)-v21(k))*Ts/L- ...
82 - Ts*eta*(p22(k)-p21(k))/(tau*L*(p21(k)+kappa))- ...
83 - delta*Ts*qo2*v21(k)/(L*lambda2*(p21(k)+kappa));
84 - q22(k)=lambda2*p22(k)*v22(k);
85 - p22(k+1)=p22(k)+(q21(k)-q22(k))*Ts/(lambda2*L);
86 - V22=vfree*exp((p22(k))^a/((-a)*(pcrit)^a));
87 - v22(k+1)=v22(k)+Ts*(V22-v22(k))/tau+v22(k)*(v21(k)-v22(k))*Ts/L- ...
88 - Ts*eta*(p23(1)-p22(k))/(tau*L*(p22(k)+kappa));
89 - t(k+1)=t(k)+k*Ts;
90 - end
91
92 - plot(t,wo1,'o-r', 'LineWidth', 2)
93 - hold on; plot(t,wo2, 'x-g', 'LineWidth', 2)
94 - title('panjang antrian');
95 - xlabel('Waktu');
96 - ylabel('Antrian');
97 - legend ('O1', 'O2');
98 - grid on
99

```

1.5. Fungsi objektif J_{TTS} terdapat waktu

```
1 %Fungsi objektif%
2 - clear;
3 - clc;
4 %Inisial parameter%
5 - a=1.867;
6 - vfree=102;
7 - T=10;
8 - Ts=T/3600;
9 - tau=18/3600;
10 - kappa=40;
11 - eta=60;
12 - pcrit=33.5;
13 - pmax=180;
14 - L=1;
15 - N=40;
16 - delta=0.0122;
17 - lambda1=3;
18 - lambda2=3;
19 - C01=4000;
20 - C02=2000;
21 - d0=4000;
22 - d01=25;
23 - d02=40;
24 - ro=1;
25 - alpha=0.1;
26 %Nilai awal%
27 - w01(1)=150;
28 - w02(1)=100;
29 - q10(1)=0;
30 - v10(1)=0;
31 - v11(1)=38.8;
32 - v12(1)=31.5;
33 - v13(1)=31.8;
34 - v14(1)=31.6;
35 - v21(1)=32;
```

```

36 -     v22(1)=26;
37 -     p11(1)=20.4;
38 -     p12(1)=27.4;
39 -     p13(1)=29.5;
40 -     p14(1)=30.8;
41 -     p15(1)=34.0;
42 -     p21(1)=34;
43 -     p22(1)=44;
44 -     p23(1)=53;
45
46 -     t=1;
47 -     t(1)=0;
48 -     for k=1:N
49 -         q11(k)=lambda1*p11(k)*v11(k);
50 -         p11(k+1)=p11(k)+(q10(1)-q11(k))*Ts/(lambda1*L);
51 -         V11=vfree*exp((p11(k))^a/((-a)*(pcrit)^a));
52 -         A1=min(dol+w01(k)/Ts,ro*Co1);
53 -         B1=min(ro*Co1,Co1*((pmax-p11(k))/(pmax-pcrit)));
54 -         qo1=min(A1,B1);
55 -         w01(k+1)=w01(k)+Ts*(dol-qo1);
56 -         v11(k+1)=v11(k)+Ts*(V11-v11(k))/tau+v11(k)*(v10(1)-v11(k))*Ts/L-
57 -             Ts*eta*(p12(k)-p11(k))/(tau*L*(p11(k)+kappa))-...
58 -                 delta*Ts*qo1*v11(k)/(L*lambda1*(p11(k)+kappa));
59 -         J1(k+1)=Ts*lambda1*L*p11(k)+Ts*w01(k);
60 -         q12(k)=lambda1*p12(k)*v12(k);
61 -         p12(k+1)=p12(k)+(q11(k)-q12(k))*Ts/(lambda1*L);
62 -         V12=vfree*exp((p12(k))^a/((-a)*(pcrit)^a));
63 -         v12(k+1)=v12(k)+Ts*(V12-v12(k))/tau+v12(k)*(v11(k)-v12(k))*Ts/L-
64 -             Ts*eta*(p13(k)-p12(k))/(tau*L*(p12(k)+kappa));
65 -         q13(k)=lambda1*p13(k)*v13(k);
66 -         p13(k+1)=p13(k)+(q12(k)-q13(k))*Ts/(lambda1*L);
67 -         V13=min(vfree*exp((p13(k))^a/((-a)*(pcrit)^a)),(1+alpha)*v13(k));
68 -         v13(k+1)=v13(k)+Ts*(V13-v13(k))/tau+v13(k)*(v12(k)-v13(k))*Ts/L-
69 -             Ts*eta*(p14(k)-p13(k))/(tau*L*(p13(k)+kappa));
70 -         q14(k)=lambda1*p14(k)*v14(k);

```

```

71 -      p14(k+1)=p14(k)+(q13(k)-q14(k))*Ts/(lambda1*L);
72 -      V14=min(vfree*exp((p14(k))^a/((-a)*(pcrit)^a)),(1+alpha)*v14(k));
73 -      v14(k+1)=v14(k)+Ts*(V14-v14(k))/tau+v14(k)*(v13(k)-v14(k))*Ts/L- ...
74 -      Ts*eta*(p21(k)-p14(k))/(tau*L*(p14(1)+kappa));
75 -      q21(k)=lambda2*p21(k)*v21(k);
76 -      p21(k+1)=p21(k)+(q14(k)-q21(k))*Ts/(lambda2*L);
77 -      V21=vfree*exp((p21(k))^a/((-a)*(pcrit)^a));
78 -      A2=min(do2+wo2(k)/Ts,ro*Co2);
79 -      B2=min(ro*Co2,Co2*((pmax-p21(k))/(pmax-pcrit)));
80 -      qo2=min(A2,B2);
81 -      wo2(k+1)=wo2(k)+Ts*(do2-qo2);
82 -      v21(k+1)=v21(k)+Ts*(V21-v21(k))/tau+v21(k)*(v14(k)-v21(k))*Ts/L- ...
83 -      Ts*eta*(p22(k)-p21(k))/(tau*L*(p21(k)+kappa))- ...
84 -      delta*Ts*qo2*v21(k)/(L*lambda2*(p21(k)+kappa));
85 -      J2(k+1)=Ts*lambda2*L*p21(k)+Ts*wo2(k);
86 -      q22(k)=lambda2*p22(k)*v22(k);
87 -      p22(k+1)=p22(k)+(q21(k)-q22(k))*Ts/(lambda2*L);
88 -      V22=vfree*exp((p22(k))^a/((-a)*(pcrit)^a));
89 -      v22(k+1)=v22(k)+Ts*(V22-v22(k))/tau+v22(k)*(v21(k)-v22(k))*Ts/L- ...
90 -      Ts*eta*(p23(1)-p22(k))/(tau*L*(p22(k)+kappa));
91 -      t(k+1)=t(k)+k*Ts;
92 - end
93
94 - plot(t,J1,'o-r', 'LineWidth', 2)
95 - hold on; plot(t,J2, 'x-g', 'LineWidth', 2)
96 - xlabel('Waktu');
97 - ylabel('Fungsi objektif');
98 - legend('link 1','link 2');
99 - grid on
100

```

1.6. Kendali MPC J_{TTS}^{MPC} terdapat waktu

```
1 %Kendali MPC%
2 - clear;
3 - clc;
4 %Inisial Parameter%
5 - a=1.867;
6 - vfree=102;
7 - T=10;
8 - Ts=T/3600;
9 - tau=18/3600;
10 - kappa=40;
11 - eta=60;
12 - pcrit=33.5;
13 - pmax=180;
14 - L=1;
15 - K=35;
16 - Np=7;
17 - delta=0.0122;
18 - lambda1=3;
19 - lambda2=3;
20 - C01=4000;
21 - C02=2000;
22 - do=4000;
23 - do1=25;
24 - do2=40;
25 - ro=1;
26 - alpha=0.1;
27 %Nilai awal%
28 - w01(1)=150;
29 - w02(1)=100;
30 - q10(1)=0;
31 - v10(1)=0;
32 - v11(1)=38.8;
33 - v12(1)=31.5;
34 - v13(1)=31.8;
35 - v14(1)=31.6;
```

```

36 -     v21(1)=32;
37 -     v22(1)=26;
38 -     p11(1)=20.4;
39 -     p12(1)=27.4;
40 -     p13(1)=29.5;
41 -     p14(1)=30.8;
42 -     p15(1)=34.0;
43 -     p21(1)=34;
44 -     p22(1)=44;
45 -     p23(1)=53;
46
47 -     t=1;
48 -     t(1)=0;
49 -     for k=1:K+Np
50 -         q11(k)=lambda1*p11(k)*v11(k);
51 -         p11(k+1)=p11(k)+(q10(1)-q11(k))*Ts/(lambda1*L);
52 -         V11=vfree*exp((p11(k))^a/((-a)*(pcrit)^a));
53 -         A1=min(dol+wo1(k)/Ts,ro*Co1);
54 -         B1=min(ro*Co1,Co1*((pmax-p11(k))/(pmax-pcrit)));
55 -         qo1=min(A1,B1);
56 -         wo1(k+1)=wo1(k)+Ts*(dol-qo1);
57 -         v11(k+1)=v11(k)+Ts*(V11-v11(k))/tau+v11(k)*(v10(1)-v11(k))*Ts/L- ...
58 -             Ts*eta*(p12(k)-p11(k))/(tau*L*(p11(k)+kappa))- ...
59 -                 delta*Ts*qo1*v11(k)/(L*lambda1*(p11(k)+kappa));
60 -         J1(k+1)=Ts*lambda1*L*p11(k)+Ts*wo1(k);
61 -         q12(k)=lambda1*p12(k)*v12(k);
62 -         p12(k+1)=p12(k)+(q11(k)-q12(k))*Ts/(lambda1*L);
63 -         V12=vfree*exp((p12(k))^a/((-a)*(pcrit)^a));
64 -         v12(k+1)=v12(k)+Ts*(V12-v12(k))/tau+v12(k)*(v11(k)-v12(k))*Ts/L- ...
65 -             Ts*eta*(p13(k)-p12(k))/(tau*L*(p12(k)+kappa));
66 -         q13(k)=lambda1*p13(k)*v13(k);
67 -         p13(k+1)=p13(k)+(q12(k)-q13(k))*Ts/(lambda1*L);
68 -         V13=min(vfree*exp((p13(k))^a/((-a)*(pcrit)^a)),(1+alpha)*v13(k));
69 -         v13(k+1)=v13(k)+Ts*(V13-v13(k))/tau+v13(k)*(v12(k)-v13(k))*Ts/L- ...
70 -             Ts*eta*(p14(k)-p13(k))/(tau*L*(p13(k)+kappa));

```

```

71 -      q14(k)=lambda1*p14(k)*v14(k);
72 -      p14(k+1)=p14(k)+(q13(k)-q14(k))*Ts/(lambda1*L);
73 -      V14=min(vfree*exp((p14(k))^a/((-a)*(pcrit)^a)),(1+alpha)*v14(k));
74 -      v14(k+1)=v14(k)+Ts*(V14-v14(k))/tau+v14(k)*(v13(k)-v14(k))*Ts/L- ...
75 -      Ts*eta*(p21(k)-p14(k))/(tau*L*(p14(1)+kappa));
76 -      q21(k)=lambda2*p21(k)*v21(k);
77 -      p21(k+1)=p21(k)+(q14(k)-q21(k))*Ts/(lambda2*L);
78 -      V21=vfree*exp((p21(k))^a/((-a)*(pcrit)^a));
79 -      A2=min(do2+wo2(k)/Ts,ro*Co2);
80 -      B2=min(ro*Co2,Co2*((pmax-p21(k))/(pmax-pcrit)));
81 -      qo2=min(A2,B2);
82 -      wo2(k+1)=wo2(k)+Ts*(do2-qo2);
83 -      v21(k+1)=v21(k)+Ts*(V21-v21(k))/tau+v21(k)*(v14(k)-v21(k))*Ts/L- ...
84 -      Ts*eta*(p22(k)-p21(k))/(tau*L*(p21(k)+kappa))- ...
85 -      delta*Ts*qo2*v21(k)/(L*lambda2*(p21(k)+kappa));
86 -      J2(k+1)=Ts*lambda2*L*p21(k)+Ts*wo2(k);
87 -      q22(k)=lambda2*p22(k)*v22(k);
88 -      p22(k+1)=p22(k)+(q21(k)-q22(k))*Ts/(lambda2*L);
89 -      V22=vfree*exp((p22(k))^a/((-a)*(pcrit)^a));
90 -      v22(k+1)=v22(k)+Ts*(V22-v22(k))/tau+v22(k)*(v21(k)-v22(k))*Ts/L- ...
91 -      Ts*eta*(p23(1)-p22(k))/(tau*L*(p22(k)+kappa));
92 -      t(k+1)=t(k)+k*Ts;
93 - end
94
95 - plot(t,J1,'o-r', 'LineWidth', 2)
96 - hold on; plot(t,J2, 'x-g', 'LineWidth', 2)
97 - xlabel('Waktu');
98 - ylabel('Kendali MPC');
99 - legend('link 1','link 2');
100 - grid on
101

```

LAMPIRAN B

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

2.1. Identitas Diri

Nama : Liyas
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Agama : Islam
Tempat/tanggal lahir : Pamekasan, 21 April 1993
Domisili : Jl. Pedak No 16 Banguntapan Bantul Yogyakarta
Alamat : Dsn Bagunung Ds Ambender
No. telepon : -
Email : loiyas.alay@gmail.com
Nama Orang Tua :
Ayah : Angwar
Ibu : Maryami

2.2. Riwayat Pendidikan

2.2.1. Pendidikan Formal

- a. 2000-2006 : MI Riyadlul Muhtadin Pasanggar
- b. 2006-2009 : MTs Riyadlul Muhtadin Pasanggar
- c. 2009-2012 : MA Darul Ulum Pamekasan
- d. 2012-2016 : Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta

2.3. Penghargaan

Juara III Mathematic Competition yang diselenggarakan oleh Himpunan Mahasiswa Program Studi (HM-PS) Pendidikan Matematika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta pada tahun 2014.

2.4. Pengalaman Organisasi

1. Forum Komunikasi Mahasiswa Santri Banyuanyar (FKMSB) Yogyakarta
2. Keluarga Mahasiswa Pamekasan Yogyakarta (KMPY)
3. Ikatan Mahasiswa Muhammadiyah (IMM)
4. Himpunan Mahasiswa Islam (HMI)