

SKRIPSI

PEMODELAN DAN PENJADWALAN SISTEM JARINGAN
KRL *COMMUTER LINE* JABODETABEK DENGAN
MENGUNAKAN ALJABAR MAX-PLUS



Satrio Wenas

NPM: 6161801015

PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI DAN SAINS
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
2023

FINAL PROJECT

**MODELING AND SCHEDULING THE JABODETABEK
COMMUTER LINE KRL SYSTEM USING MAX-PLUS
ALGEBRA**



Satrio Wenas

NPM: 6161801015

**DEPARTMENT OF MATHEMATICS
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY AND SCIENCES
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

PEMODELAN DAN PENJADWALAN SISTEM JARINGAN KRL *COMMUTER LINE* JABODETABEK DENGAN MENGUNAKAN ALJABAR MAX-PLUS

Satrio Wenas

NPM: 6161801015

Bandung, 25 Januari 2023

Menyetujui,

Pembimbing 1



Iwan Sugiarto, M.Si.

Pembimbing 2



Jonathan Hoseana, Ph.D.

Ketua Tim Penguji



Benny Yong, Ph.D.

Anggota Tim Penguji



Dr. Daniel Salim

Mengetahui,

Ketua Program Studi



Dr. Livia Owen

PERNYATAAN

Dengan ini saya yang bertandatangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

**PEMODELAN DAN PENJADWALAN SISTEM JARINGAN KRL
COMMUTER LINE JABODETABEK DENGAN MENGGUNAKAN
ALJABAR MAX-PLUS**

adalah benar-benar karya saya sendiri, dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan.

Atas pernyataan ini, saya siap menanggung segala risiko dan sanksi yang dijatuhkan kepada saya, apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non-formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini.

Dinyatakan di Bandung,
Tanggal 25 Januari 2023



Satrio Wenas
NPM: 6161801015

ABSTRAK

Dengan bertambah banyaknya kendaraan di Indonesia, di jalan raya sangat mungkin terjadi kemacetan. Oleh karena itu, tidak jarang seseorang lebih memilih alat transportasi lain, misalnya menggunakan kereta listrik (KRL). Namun, KRL memiliki kelemahan berupa pelayanannya dari segi ketepatan waktu. Salah satu KRL yang sering mengalami keterlambatan adalah KRL Jabodetabek. Penjadwalan yang tepat sangat diperlukan untuk mencegah keterlambatan tersebut. Pada skripsi ini, dipelajari sistem jaringan KRL dengan aljabar max-plus guna mengoptimalkan jadwal keberangkatan. Dalam pembahasannya, digunakan dua jalur/rute yang dilintasi oleh KRL *commuter line* Jabodetabek, yakni Bogor – Manggarai – Jakarta Kota (Pulang Pergi) dan Bogor – Tanah Abang – Jatinegara (Pulang Pergi). Kedua rute tersebut disajikan dalam bentuk sebuah graf, kemudian dibuat model matematis berupa suatu sistem persamaan untuk mendesain penjadwalannya dengan aljabar max-plus. Kemudian, ditentukan nilai eigen dan vektor eigen dari matriks koefisien dari sistem persamaan tersebut dengan perangkat lunak *Scilab*. Didapat nilai eigen 3,023, yang merupakan rentang waktu antarkeberangkatan kereta dari setiap stasiun (dalam menit), dan suatu vektor eigen yang bersesuaian dengan nilai eigen tersebut, yang merepresentasikan waktu keberangkatan tiap-tiap kereta.

Kata-kata kunci: Penjadwalan, Kereta Listrik (KRL) Jabodetabek, Aljabar Max-Plus, Sistem Jaringan, Nilai Eigen, Vektor Eigen.

ABSTRACT

With the rise of personal vehicle ownerships in Indonesia, congestion becomes much of the norm in our daily travels. As such, opting for electric trains (KRL) would be a viable alternative. However, a new problem rises from this choice, namely, the trains' unpunctuality. Jabodetabek KRL frequently encounters this problem. In order to prevent unpunctuality, an appropriate scheduling is necessary. In this thesis, we study the KRL network system using max-plus algebra, with the aim of optimising departure schedules. In the discussion, we use two Jabodetabek commuter line routes, namely, Bogor – Manggarai – Jakarta Kota (vv) and Bogor – Tanah Abang – Jatinegara (vv). We represent these routes in the form of a graph, and construct a mathematical model, in the form of a system of equations, in order to design the scheduling using max-plus algebra. Subsequently, we determine the eigenvalues and eigenvectors of the system's coefficient matrix, using the software Scilab. We obtain the eigenvalue 3,023, which is the interdeparture time-interval (in minutes) of trains at each station, and an eigenvector associated to the above eigenvalue, which represents the departure times of each train.

Keywords: Scheduling, Jabodetabek Electric Trains (KRL), Max-Plus Algebra, Network, Eigenvalue, Eigenvector.

Untuk kalian yang sering bertanya "Kapan lulus?"

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yesus atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Pemodelan dan Penjadwalan Sistem Jaringan KRL *Commuter Line* Jabodetabek dengan Menggunakan Aljabar Max-Plus" yang disusun sebagai salah satu syarat wajib untuk menyelesaikan studi Strata-1 Program Studi Matematika, Fakultas Teknologi Informasi dan Sains, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dalam menambah wawasan dan pengetahuan bagi para pembaca.

Selama masa studi maupun penyusunan skripsi, penulis telah mendapatkan banyak bantuan dari berbagai pihak baik dalam bentuk ilmu, dukungan moral, emosional, maupun materi. Untuk itu, penulis menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Daddy dan Mama untuk semua dukungan, nasihat serta doa agar penulis dapat menyelesaikan skripsi, serta Ce Ovi, Cleo, dan keluarga besar atas dukungan, doa dan semangat yang diberikan untuk menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Iwan Sugiarto, M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah dengan sabar meluangkan waktu untuk membimbing, memberi arahan, didikan, saran dan nasihat dalam proses penyusunan skripsi maupun dari awal perkuliahan hingga akhir perkuliahan penulis.
3. Bapak Jonathan Hoseana, Ph.D. selaku dosen pembimbing yang selalu sabar membimbing, meluangkan waktu, dan saran yang membangun dalam penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Benny Yong, Ph.D. selaku dosen pengujian-1 dan Bapak Dr. Daniel Salim selaku dosen pengujian-2 dan koordinator skripsi yang telah memberikan ilmu, saran dan kritik sehingga skripsi ini menjadi lebih baik.
5. Bapak Liem Chin, M.Si selaku dosen wali yang telah memberikan arahan dan bantuan selama masa perkuliahan.
6. Seluruh dosen dan staf Tata Usaha FTIS, terima kasih atas segala waktu dan bantuan yang diberikan penulis dalam melengkapi segala hal yang dibutuhkan selama proses perkuliahan.
7. Ivan Oktavianus dan Jessica Sugandhi yang selalu setia menjadi teman terbaik penulis dari 17 tahun yang lalu dan selalu mendengarkan keluh kesah penulis dan juga selalu memberikan saran-saran yang terkadang tidak masuk akal.
8. Nevan, Raisa, dan Tiffany sebagai kakak tingkat terbaik dan tentunya sebagai partner jilid yang tiada duanya.
9. Jovan, Farel, Yohanes, dan Alma Zoraya yang selalu memberikan hiburan dan dukungan selama masa-masa perkuliahan dikala pandemi.
10. Chihan, Maya, Vellina, Elbert, Meilyana, Bryan, Audrey, Anya, Dimas, Adrian selaku teman seangkatan yang selalu menemani selama perkuliahan serta kebersamaan dan keseruan selama perkuliahan.
11. Inez, Caca, Bella, Alson, Ardel, Cartung, dan Pepita yang menjadi teman sejak hari pertama menginjak Unpar dan selalu memberikan semangat serta keluhan terutama ketika ujian.
12. Andi dan Nehemia sebagai teman seperjuangan skripsi yang sering berkeluh kesah bersama dan membuat penulis tidak merasa sendirian.
13. Enrico, Darwin, Arvin, Aldynova, Allet, William (Adbis 19), dan Advent yang selalu menemani penulis bersenang-senang dan memberikan memori indah diakhir perkuliahan.
14. Vido dan Virya sebagai teman sekolah yang selalu menemani penulis nongki dari dulu hingga sekarang.

15. Yesuit, Anjul, Syawqi, Andrea, Femilia sebagai adik tingkat kesayangan penulis yang selalu memberikan motivasi dan canda tawa selama penulis berkuliah.
16. Semua teman divisi *Liaison Officer* KOMAT 2018, 2019, dan 2020 untuk segala keseruan dan pengalaman yang didapatkan selama proses acara berlangsung.
17. Teman-teman Matematika UNPAR angkatan 2015, 2016, 2017, 2019, 2020, 2021, dan 2022 yang turut membantu memberikan ilmu perkuliahan yang tidak dapat disebutkan satu persatu.
18. Semua teman di Komsel Unpar 10 dan 1 GKPB Fajar Pengharapan membantu yang telah mendoakan agar penulis dapat menyelesaikan perkuliahan dengan baik.
19. Semua staff dari Kost Platinum yang menyediakan fasilitas dan membantu penulis untuk menetap di Bandung selama berkuliah.
20. Semua pihak yang telah berjasa kepada penulis selama masa studi dan dalam proses penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari skripsi ini masih jauh dari sempurna karena adanya keterbatasan ilmu dan pengalaman yang dimiliki. Oleh karena itu, penulis dengan terbuka mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari para pembaca. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi segala pihak yang membacanya.

Bandung, Januari 2023

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	1
1.3 Tujuan	2
1.4 Sistematika Pembahasan	2
2 LANDASAN TEORI	3
2.1 Aljabar Max-Plus	3
2.1.1 Definisi	3
2.1.2 Matriks Aljabar Max-Plus	4
2.2 Teori Graf	6
2.2.1 Definisi	6
2.2.2 Lintasan dan Sirkuit	6
2.2.3 Graf Berbobot	6
3 NILAI EIGEN DAN VEKTOR EIGEN ALJABAR MAX-PLUS	9
3.1 Nilai Eigen dan Vektor Eigen	9
3.1.1 Menentukan Nilai Eigen	9
3.1.2 Menentukan Vektor Eigen	10
3.2 Algoritma <i>Power</i> untuk Nilai Eigen dan Vektor Eigen	11
3.3 Pemodelan Sistem Penjadwalan Kereta Sederhana	13
4 DATA DAN ANALISIS	15
4.1 Pengumpulan Data	15
4.2 Penyusunan Graf dari Rute KRL <i>Commuter Line</i> Jabodetabek	16
4.3 Aturan Sinkronisasi	19
4.4 Pembentukan Model	24
4.5 Desain Penjadwalan	28
5 KESIMPULAN DAN SARAN	33
5.1 Kesimpulan	33
5.2 Saran	33
DAFTAR REFERENSI	35

DAFTAR GAMBAR

2.1	Contoh Graf Berarah	6
2.2	Contoh Graf Berbobot	7
3.1	Graf $G(A)$	10
3.2	Jaringan Kereta Sederhana	13
4.1	Graf Dua Rute KRL <i>Commuter Line</i> Jabodetabek	18

DAFTAR TABEL

3.1	Tabel Penentuan Bobot Rata-Rata dari Gambar 3.1	11
4.1	Nama dan Kode Stasiun	16
4.2	Data Waktu Perjalanan Rata-Rata dan Rata-Rata Banyaknya KRL dari Stasiun ke Stasiun pada Rute Bogor – Manggarai – Jakarta Kota (PP)	17
4.3	Data Waktu Perjalanan Rata-Rata dan Rata-Rata Banyaknya KRL dari Stasiun ke Stasiun pada Rute Bogor – Tanah Abang – Jatinegara (PP)	17
4.4	Entri-entri Matriks A_1 , A_2 , A_3 , dan A_4 yang Tidak Sama dengan e maupun ϵ	28
4.5	Perbandingan Jadwal Keberangkatan pada Rute Bogor – Manggarai – Jakarta Kota (PP)	30
4.6	Perbandingan Jadwal Keberangkatan pada Rute Bogor – Tanah Abang – Jatinegara (PP)	31

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Transportasi merupakan sarana untuk memenuhi kebutuhan masyarakat, khususnya dalam hal perpindahan suatu barang ataupun manusia dari satu tempat ke tempat lainnya. Kerap kali masyarakat Indonesia cenderung menggunakan transportasi darat jika mereka bepergian masih dalam pulau yang sama. Namun, dengan bertambah banyaknya kendaraan di Indonesia, sangat mungkin terjadi kemacetan. Oleh karena itu, tidak jarang seseorang lebih memilih menggunakan kereta listrik (KRL). Selain terhindar dari macet, murahnya harga tiket KRL, dan kapasitas orang dan barang yang cukup besar menjadi alasan seseorang lebih memilih menggunakan transportasi tersebut. Namun, KRL memiliki kelemahan, yaitu sering tidak tepat waktu karena adanya pergantian masuk KRL di stasiun transit yang mengakibatkan penumpukan penumpang. Salah satu KRL yang sering mengalami keterlambatan adalah KRL Jabodetabek, yang penumpangnya tercatat sudah mendekati 750.000 orang per hari¹. Oleh karena itu, pembuatan jadwal yang tepat sangat diperlukan untuk mencegah keterlambatan keberangkatan KRL.

Dalam pembuatan jadwal keberangkatan KRL diperlukan proses sinkronisasi yang berguna untuk menjamin adanya cukup waktu untuk penumpang berpindah jalur/rute. Terdapat sebuah cara untuk menyusun jadwal yang lebih mudah berdasarkan aturan sinkronisasi yaitu, dengan aljabar max-plus [1, hlm. iii].

Untuk mendapatkan penjadwalan yang optimal, pada skripsi ini akan dibuat pemodelan penjadwalan KRL *Commuter Line* (kereta rel listrik komuter) di wilayah Jakarta, Bogor, Depok, Tangerang, dan Bekasi (Jabodetabek) dan sekitarnya. Dipilih dua jalur/rute yang dilalui, yakni Bogor – Manggarai – Jakarta Kota (Pulang Pergi) dan Bogor – Tanah Abang – Jatinegara (Pulang Pergi). Kedua jalur/rute tersebut dimodelkan dengan aljabar max-plus. Dari model tersebut, dicari nilai dan vektor eigen dari suatu matriks yang merepresentasikan sistem jaringan kereta tersebut. Nilai eigen yang didapat merupakan rentang waktu antarkeberangkatan kereta dari setiap stasiun dan vektor eigen yang bersesuaian dengan nilai eigen tersebut, yang merepresentasikan waktu keberangkatan tiap-tiap kereta.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut masalah yang akan dibahas dalam skripsi ini.

1. Bagaimana aljabar max-plus dapat diterapkan dalam mengonstruksi model sistem jaringan KRL *commuter line* Jabodetabek?
2. Bagaimana konsep nilai eigen dan vektor eigen pada aljabar max-plus dapat digunakan dalam mendesain jadwal keberangkatan yang optimal dari KRL *commuter line* Jabodetabek?

¹<https://ekonomi.bisnis.com/read/20221114/98/1598030/kci-catat-layani-745106-penumpang-krl-per-hari>
diakses 19 Desember 2022

1.3 Tujuan

Tujuan dari penulisan skripsi ini adalah

1. menerapkan aljabar max-plus dalam mengonstruksi model sistem jaringan KRL *commuter line* Jabodetabek,
2. menggunakan konsep nilai eigen dan vektor eigen pada aljabar max-plus untuk mendesain jadwal keberangkatan yang optimal dari KRL *commuter line* Jabodetabek.

1.4 Sistematika Pembahasan

Skripsi ini terdiri dari lima bab berikut.

Bab 1 : Pendahuluan

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penulisan, dan sistematika penulisan.

Bab 2 : Landasan Teori

Bab ini membahas teori pendukung yang dipakai yaitu aljabar max-plus dan teori graf.

Bab 3 : Nilai Eigen dan Vektor Eigen Aljabar *Max-Plus*

Bab ini membahas langkah-langkah menentukan nilai eigen dan vektor eigen dalam aljabar max-plus beserta pemodelan sederhana.

Bab 4 : Data dan Analisis

Bab ini membahas model penjadwalan sistem jaringan KRL *Commuter Line* Jabodetabek dengan penerapan aljabar max-plus.

Bab 5 : Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan dari bab-bab sebelumnya, dan saran untuk mengembangkan skripsi ini.