



MASALAH PERUTEAN ARMADA KENDARAAN CAMPURAN DENGAN *TIME WINDOWS* DAN *BATTERY SWAPPING STATION*

AUFALONISYA ELHADJNA HUTAMA



**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**

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



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Masalah Perutean Armada Kendaraan Campuran dengan *Time Windows* dan *Battery Swapping Station*” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

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

Bogor, April 2025

Aufalonisya Elhadjna Utama
G5401201052

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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



AUFALONISYA ELHADJNA HUTAMA. Masalah Perutean Kendaraan Armada Campuran dengan *Time Windows* dan *Battery Swapping Station*. Dibimbing oleh TONI BAKHTIAR dan BIB PARUHUM SILALAHI.

Transportasi merupakan kebutuhan utama masyarakat perkotaan namun berkontribusi signifikan terhadap produksi CO₂. Sebagian besar pemerintah dari negara maju sudah mulai mempromosikan penggunaan kendaraan listrik dengan tujuan untuk mengurangi polusi udara, emisi CO₂, dan Gas Rumah Kaca (GRK). 2 Echelon Electric Vehicle Routing Problem with Time Window and Battery Swapping Station diperlukan untuk memodelkan penyelesaian penggabungan kedua armada, yaitu kendaraan listrik dan konvensional. Tujuan dari penelitian ini untuk menentukan solusi optimum untuk dua armada campuran, yaitu kendaraan listrik dan konvensional, dengan metode eksak dalam bentuk *Mixed Integer Linear Programming*. Dalam implementasi model, terdapat lima kasus perutean dengan variasi jumlah kendaraan listrik dan konvensional, kapasitas baterai, kapasitas muatan, dan aturan *time windows*. Masalah ini diselesaikan dengan bantuan software Lingo 20.0 menghasilkan hasil yang optimal pada setiap kasusnya sesuai dengan permintaan dan *time windows* yang telah disepakati.

Kata kunci: *battery swapping station*, kendaraan listrik, optimisasi, *time window*

ABSTRACT

AUFALONISYA ELHADJNA HUTAMA. Mixed Fleet Vehicle Routing Problem with Time Windows and Battery Swapping Stations. Supervised by TONI BAKHTIAR and BIB PARUHUM SILALAHI.

Transportation is an essential need for urban communities but significantly contributes to CO₂ emissions. Many governments in developed countries are promoting the use of electric vehicles to reduce air pollution, CO₂ emissions, and greenhouse gases (GHG). The 2 Echelon Electric Vehicle Routing Problem with Time Window and Battery Swapping Station is used to model the combination of two types of fleets: electric and conventional vehicles. This study aims to find the best solution for a mixed fleet using an exact method called Mixed Integer Linear Programming (MILP). The model is tested on five routing cases with different numbers of electric and conventional vehicles, battery capacities, load capacities, and time window rules. The problem is solved using Lingo 20.0 software, which provides the best results for each case based on demand and agreed time windows.

Keywords: battery swapping station, electric vehicle, optimization, time window

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



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

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

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

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

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



MASALAH PERUTEAN ARMADA KENDARAAN CAMPURAN DENGAN *TIME WINDOWS* DAN *BATTERY SWAPPING STATION*

AUFALONISYA ELHADJNA HUTAMA

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

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:
Hidayatul Mayyani, S.Si., M.Si.



Judul Skripsi : Masalah Perutean Armada Kendaraan Campuran dengan *Time Windows* dan *Battery Swapping Station*
Nama : Aufalonisya Elhadjna Utama
NIM : G5401201052

Hak cipta milik IPB University

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

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Toni Bakhtiar, S.Si., M.Sc.

Pembimbing 2:
Prof. Dr. Ir. Bib Paruhum Silalahi, M.Kom.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi Matematika:
Dr. Donny Citra Lesmana, S.Si., M.Fin.Math.
NIP 197902272005011001

Tanggal Ujian: 21 Januari 2025

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan November 2023 sampai bulan Februari 2025 ini ialah Riset Operasi Matematika, dengan judul “Masalah Perutean Armada Kendaraan Campuran dengan *Time Windows* dan *Battery Swapping Station*”. Terima kasih penulis ucapkan kepada:

1. Bapak Leo Dirgahutama dan Ibu Nita Kus Endang selaku orang tua penulis, Audyva Zahwa Utama dan Auqsanio Athallah Utama selaku saudara kandung penulis yang telah memberikan banyak sekali cinta dan kasih sayang, doa, motivasi, serta semangat kepada penulis,
2. Bapak Prof. Dr. Toni Bakhtiar, S.Si., M.Sc. selaku pembimbing 1, Bapak Prof. Dr. Ir. Bib Paruhum Silalahi, M. Kom. selaku pembimbing 2 dan Ibu Hidayatul Mayyani, S.Si., M.Si. yang telah membimbing dan memberi saran kepada penulis selama penyusunan karya ilmiah,
3. Seluruh dosen dan staf Departemen Matematika IPB yang telah memberikan ilmu dan memfasilitasi penulis selama masa studi,
4. Seluruh mahasiswa Matematika dan Aktuaria IPB Angkatan 57 yang telah memberikan motivasi, saran, dukungan, dan kerja sama kepada penulis.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, April 2025

Aufalonisya Elhadjna Utama



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xi
PENDAHULUAN	2
1.1 Latar Belakang	2
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan	4
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Integer Linear Programming</i>	5
2.2 <i>Mixed Integer Linear Programming</i>	5
2.3 <i>Vehicle Routing Problem</i>	5
2.4 <i>Electric Vehicle Routing Problem</i>	7
2.5 <i>2-Echelon Electric Vehicle Routing Problem</i>	8
2.6 <i>Time Windows</i>	9
2.7 Stasiun Penukaran Baterai Kendaraan Listrik Umum (SPBKLU)	9
2.8 <i>2-Echelon Electric Vehicle Routing Problem with Time Windows and Battery Swapping Station</i>	10
III METODE	11
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	12
4.1 Deskripsi Masalah	12
4.2 Formulasi Masalah	13
4.3 Aplikasi Masalah	17
V SIMPULAN DAN SARAN	44
5.1 Simpulan	44
5.2 Saran	44
DAFTAR PUSTAKA	45
LAMPIRAN	47
RIWAYAT HIDUP	48



DAFTAR TABEL

1	Kondisi setiap kasus	18
2	Data parameter yang digunakan	19
3	Jarak antarlokasi	20
4	Koordinat dan jumlah permintaan barang setiap lokasi pada kasus 1	21
5	<i>Time Windows</i> , waktu awal dan akhir pelayanan, dan lama waktu pelayanan pada kasus 1	22
6	Rute optimal pada kasus 1	22
7	Waktu mulai pelayanan di setiap lokasi pada kasus 1	23
8	Sisa muatan dan baterai pada kendaraan di setiap lokasi pada kasus 1	24
9	<i>Time windows</i> , waktu awal dan akhir pelayanan, dan lama waktu pelayanan pada kasus 2	26
10	Rute optimal pada kasus 2	27
11	Waktu mulai pelayanan di setiap lokasi kasus 2	27
12	Sisa muatan dan baterai pada kendaraan di setiap lokasi pada kasus 2	28
13	<i>Time windows</i> , waktu awal dan akhir mulai pelayanan, dan lama waktu pelayanan pada kasus 3	30
14	Rute optimal pada kasus 3	31
15	Waktu mulai pelayanan di setiap lokasi pada kasus 3	32
16	Jumlah permintaan pada kasus 4	35
17	<i>Time windows</i> , waktu awal dan akhir pelayanan, dan lama waktu pelayanan pada kasus 4	35
18	Rute optimal pada kasus 4	36
19	Waktu mulai pelayanan di setiap lokasi pada kasus 4	37
20	Sisa muatan dan sisa baterai kendaraan di setiap lokasi pada kasus 4	38
21	<i>Time windows</i> , waktu mulai dan akhir pelayanan, dan lama waktu pelayanan pada kasus 5	40
22	Rute optimal kasus 5	41
23	Waktu mulai pelayanan di setiap lokasi pada kasus 5	41
24	Sisa muatan dan sisa baterai kendaraan di setiap lokasi pada kasus 5	42

DAFTAR GAMBAR

1	Ilustrasi 2E-EVRP	8
2	Proses penukaran baterai	9
3	Rute kasus 1	25
4	Rute kasus 2	29
5	Rute kasus 3	34
6	Rute kasus 4	39
7	Rute kasus 5	43

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