

MASALAH PERUTEAN KENDARAAN LISTRIK DENGAN TIME WINDOWS DAN PENGISIAN ULANG DAYA PARSIAL

NINDI KUSUMAWATI



DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024

@Hak cipta milik IPB University

IPB University



IPB University
— Bogor Indonesia —

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

Perpustakaan IPB University



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Hak Cipta milik IPB University

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Masalah Perutean Kendaraan Listrik dengan *Time Windows* dan Pengisian Ulang Daya Parsial” 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, Oktober 2024

Nindi Kusumawati
G5401201051

ABSTRAK

NINDI KUSUMAWATI. Masalah Perutean Kendaraan Listrik dengan *Time Windows* dan Pengisian Ulang Daya Parsial. Dibimbing oleh TONI BAKHTIAR dan HIDAYATUL MAYYANI.

Masalah perutean kendaraan listrik merupakan perluasan dari masalah perutean kendaraan konvensional. Masalah perutean kendaraan listrik dengan *time windows* dan pengisian ulang daya parsial memiliki kelebihan yang membuat model dapat melakukan perutean lebih cepat. Kendaraan dapat melakukan pengisian ulang daya di stasiun pengisian daya kendaraan listrik umum (SPKLU) secara parsial di mana kendaraan hanya mengisi daya sesuai yang dibutuhkan dan ketika sampai depot akhir, daya baterai tidak bersisa atau habis. Tipe kendaraan listrik berupa kendaraan heterogen dengan kapasitas muatan kendaraan, kapasitas baterai kendaraan, dan laju konsumsi baterai kendaraan yang berbeda. Terdapat aturan *time windows* yang membatasi kendaraan tidak boleh melakukan pelayanan di luar jendela waktu yang telah ditentukan. Dalam mengimplementasikan model, terdapat lima skenario validasi model dengan variasi jumlah kendaraan, jenis kendaraan, jumlah pelanggan, jumlah SPKLU, dan aturan *time windows*. Selain itu, terdapat implementasi model yang disesuaikan dengan kondisi sebenarnya. Masalah ini diselesaikan dengan metode eksak dibantu oleh *software* LINGO 20.0 menghasilkan solusi optimum rute perjalanan dengan biaya minimum sesuai dengan aturan pengisian ulang daya parsial dan *time windows* serta kendala lainnya.

Kata kunci: jendela waktu, kendaraan listrik, *partial recharging*, SPKLU

ABSTRACT

NINDI KUSUMAWATI. Electric Vehicle Routing Problem with Time Windows and Partial Recharging. Supervised by TONI BAKHTIAR and HIDAYATUL MAYYANI.

The electric vehicle routing problem is an extension of the conventional vehicle routing problem. The electric vehicle routing problem with time windows and partial recharging has advantages that allow the model to perform routing faster. Vehicles can recharge at charging stations partially where the vehicle only charges as needed and when it reaches the final depot, the battery power is not remaining. Electric vehicle types are heterogeneous vehicles with different vehicle load capacities, vehicle battery capacities, and vehicle battery consumption rates. Time window rules restrict vehicles from performing services outside the predetermined time window. In implementing the model, there are five model validation scenarios with variations in the number of vehicles, types of vehicles, number of customers, number of charging stations, and time window rules. In addition, a model implementation is adjusted to the actual conditions. This problem is solved by the exact method assisted by LINGO 20.0 software resulting in an optimum solution of travel routes with minimum cost following partial recharge rules, time windows, and other constraints.

Keywords: electric vehicle, partial recharging, SPKLU, time windows



@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 2024
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

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

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

MASALAH PERUTEAN KENDARAAN LISTRIK DENGAN TIME WINDOWS DAN PENGISIAN ULANG DAYA PARSIAL

NINDI KUSUMAWATI

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

**DEPARTEMEN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Penguji pada Ujian Skripsi:

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



IPB University
— Bogor Indonesia —

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

Perpustakaan IPB University

Judul Skripsi : Masalah Perutean Kendaraan Listrik dengan *Time Windows* dan
Pengisian Ulang Daya Parsial

Nama : Nindi Kusumawati

NIM : G5401201051

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Toni Bakhtiar S.Si., M.Sc.

Pembimbing 2:

Hidayatul Mayyani S.Si., M.Si.

Diketahui oleh

Ketua Departemen Matematika:

Dr. Ir. Endar Hasafah Nugrahani, M.S.

NIP 19631228 198903 2 001

Tanggal Ujian: 20 Agustus 2024

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 Oktober 2023 sampai bulan Juni 2024 ini ialah riset operasi, dengan judul “Masalah Perutean Kendaraan Listrik dengan *Time Windows* dan Pengisian Ulang Daya Parsial”. Proses penyusunan karya ilmiah ini melibatkan berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Suwadi dan Ibu Titi Mutiah selaku orang tua penulis, Silva Rahayu, Silvia Wadiningsih, dan Ulva Uswatul Hasanah selaku saudara kandung penulis yang telah memberikan banyak sekali cinta kasih, doa, serta dukungan moral dan material tanpa henti,
2. Bapak Prof. Dr. Toni Bakhtiar, M.Sc. dan Ibu Hidayatul Mayyani, M.Si. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya dalam membimbing serta memberikan ilmu dan saran,
3. Prof. Dr. Ir. Bib Paruhum Silalahi, M. Kom selaku dosen penguji tugas akhir yang telah meluangkan waktu dalam memberi saran,
4. seluruh dosen dan staf Departemen Matematika IPB yang telah memfasilitasi, membimbing dan memberikan ilmunya selama masa studi penulis,
5. Ahmad Nawawi, Aufalonisya Elhadjna Utama, Azzahra Nurramdania, Deva Meilina, Elfina Tan, Fatika Rahma Febriyanti, Meyliana Nurfadila, Nisriina Aqilah Nur Yuda, Putri Fajar Illahi, Rafi Sahar Muzakki, Shidqiyya Aufan Nada, Tazkia Nur Hafizha, Widia Faturahmah, dan Zeane Azahra Rachmayanti selaku teman dekat penulis yang selalu mendengarkan keluh kesah penulis dan kebersamaian penulis dalam masa-masa penyelesaian tugas akhir serta memberikan semangat dan bantuan yang tulus kepada penulis,
6. keluarga besar Matematika 57 yang sudah menemani perjalanan empat tahun di IPB,
7. diri saya sendiri, Nindi Kusumawati yang selalu berusaha dan tidak menyerah,
8. pihak-pihak lain yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu, yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam bentuk apapun.

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

Bogor, Oktober 2024

Nindi Kusumawati

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Pemrograman Linear dan <i>Mixed Integer Linear Programming</i>	4
2.2 <i>Vehicle Routing Problem</i>	4
2.3 <i>Electric Vehicle Routing Problem</i>	6
2.4 <i>Electric Vehicle Routing Problem with Time Windows dan Partial Recharge</i>	7
III METODE	9
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	10
4.1 Deskripsi Masalah	10
4.2 Formulasi Model	10
4.3 Validasi Model	15
4.3.1 Skenario 1 Perutean Kendaraan Listrik Lima Pelanggan, 1 SPKLU, dan 2 Kendaraan (Kecil dan Sedang)	16
4.3.2 Skenario 2 Perutean Kendaraan Listrik Lima Pelanggan, 1 SPKLU, dan 2 Kendaraan (Sedang dan Besar)	20
4.3.3 Skenario 3 Perutean Kendaraan Listrik Tujuh Pelanggan, 1 SPKLU, dan 1 Kendaraan (Besar)	23
4.3.4 Skenario 4 Perutean Kendaraan Listrik Tujuh Pelanggan, 2 SPKLU, dan 2 Kendaraan (Kecil dan Besar)	27
4.3.5 Skenario 5 Perutean Kendaraan Listrik Sepuluh Pelanggan, 2 SPKLU, dan 3 Kendaraan (Kecil, Sedang, dan Besar)	31
4.4 Implementasi Model	36
V SIMPULAN DAN SARAN	43
5.1 Simpulan	43
5.2 Saran	43
DAFTAR PUSTAKA	44
LAMPIRAN	46
RIWAYAT HIDUP	47



DAFTAR TABEL

1	Ringkasan data setiap skenario	15
2	Karakteristik kendaraan listrik pada validasi model	16
3	Koordinat lokasi dan jumlah permintaan barang setiap lokasi pada skenario pertama	17
4	Jarak antarlokasi pada skenario pertama (km)	17
5	<i>Time windows</i> , waktu awal dan akhir mulai pelayanan, dan lama waktu layanan pada skenario pertama	17
6	Rute optimal pada skenario pertama	18
7	Waktu mulai pelayanan di setiap lokasi pada skenario pertama	18
8	Sisa muatan dan sisa baterai kendaraan listrik di setiap lokasi pada skenario pertama	19
9	<i>Time windows</i> , waktu awal dan akhir mulai pelayanan, dan lama waktu layanan pada skenario kedua	20
10	Rute optimal pada skenario kedua	21
11	Waktu mulai pelayanan di setiap lokasi pada skenario kedua	21
12	Sisa muatan dan sisa baterai kendaraan listrik di setiap lokasi pada skenario kedua	22
13	Koordinat lokasi dan jumlah permintaan barang setiap lokasi pada skenario ketiga	23
14	Jarak antarlokasi pada skenario ketiga (km)	24
15	<i>Time windows</i> , waktu awal dan akhir mulai pelayanan, dan lama waktu layanan pada skenario ketiga	24
16	Rute optimal pada skenario ketiga	25
17	Waktu mulai pelayanan di setiap lokasi pada skenario ketiga	25
18	Sisa muatan dan sisa baterai kendaraan listrik di setiap lokasi pada skenario ketiga	26
19	Koordinat lokasi dan jumlah permintaan barang setiap lokasi pada skenario keempat	27
20	Jarak antarlokasi pada skenario keempat (km)	28
21	<i>Time windows</i> , waktu awal dan akhir mulai pelayanan, dan lama waktu layanan pada skenario keempat	28
22	Rute optimal pada skenario keempat	29
23	Waktu mulai pelayanan di setiap lokasi pada skenario keempat	29
24	Sisa muatan dan sisa baterai kendaraan listrik di setiap lokasi pada skenario keempat	30
25	Koordinat lokasi dan jumlah permintaan barang setiap lokasi pada skenario kelima	32
26	Jarak antarlokasi pada skenario kelima (km)	32
27	<i>Time windows</i> , waktu awal dan akhir mulai pelayanan, dan lama waktu layanan pada skenario kelima	33
28	Rute optimal pada skenario kelima	33
29	Waktu mulai pelayanan di setiap lokasi pada skenario kelima	34
30	Sisa muatan dan sisa baterai kendaraan listrik di setiap lokasi pada skenario kelima	35
31	Ringkasan data implementasi model	37

32	Karakteristik kendaraan listrik pada implementasi model	37
33	Koordinat lokasi dan jumlah permintaan barang setiap lokasi pada implementasi model	38
34	Jarak antarlokasi pada implementasi model (km)	38
35	<i>Time windows</i> , waktu awal dan akhir mulai pelayanan, dan lama waktu layanan pada implementasi model	39
36	Rute optimal pada implementasi model	39
37	Waktu mulai pelayanan di setiap lokasi pada implementasi model	40
38	Sisa muatan dan sisa baterai kendaraan listrik di setiap lokasi pada implementasi model	41

DAFTAR GAMBAR

1	Contoh solusi EVRP	7
2	Rute skenario pertama	19
3	Rute skenario kedua	22
4	Rute skenario ketiga	26
5	Rute skenario keempat	31
6	Rute skenario kelima	36
7	Rute implementasi model	42