

OPTIMASI RUTE KENDARAAN LISTRIK MULTI-DEPOT DENGAN *TIME WINDOWS* MENGGUNAKAN *HYBRID GENETIC ALGORITHM*

HARLEY DEARMANSON GIRSANG



PROGRAM STUDI MATEMATIKA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Optimasi Rute Kendaraan Listrik Multi-Depot dengan *Time Windows* Menggunakan *Hybrid Genetic Algorithm*” 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, Agustus 2026

Harley Dearmanson Girsang
G5401221062

ABSTRAK

HARLEY DEARMANSON GIRSANG. Optimasi Rute Kendaraan Listrik Multi-Depot dengan *Time Windows* Menggunakan *Hybrid Genetic Algorithm*. Dibimbing oleh HIDAYATUL MAYYANI dan TONI BAKHTIAR.

Adaptasi armada kendaraan listrik pada sektor logistik memunculkan masalah optimasi rute kompleks yaitu *Multi-Depot Electric Vehicle Routing Problem with Time Windows* (MDEVRPTW). Penelitian ini bertujuan merancang rute optimal untuk persoalan tersebut dengan mengusulkan metode *Hybrid Genetic Algorithm* (HGA) yang diintegrasikan dengan pencarian lokal 2-Opt, penyisipan SPKLU dinamis, serta mekanisme *delayed departure*. Algoritma diuji pada berbagai skenario operasional lalu dibandingkan dengan hasil metode eksak *Mixed-Integer Linear Programming* (MILP). Hasil pengujian menunjukkan bahwa HGA secara konsisten merancang rute distribusi yang sepenuhnya *feasible* dengan total biaya operasional yang sangat kompetitif. HGA dapat memberikan solusi dalam hitungan detik. Meskipun masih terdapat *gap* solusi HGA hingga 10% pada skenario yang lebih kompleks, metode HGA menawarkan efisiensi komputasi yang tinggi sehingga sangat aplikatif diimplementasikan pada sistem distribusi logistik skala industri.

Kata kunci: Algoritma Genetika, *Hybrid Genetic Algorithm*, kendaraan listrik, multi-depot, *time windows*

ABSTRACT

HARLEY DEARMANSON GIRSANG. Multi-Depot Vehicle Routing Problem with Time Windows Optimization using Hybrid Genetic Algorithm. Supervised by HIDAYATUL MAYYANI and TONI BAKHTIAR.

The adoption of electric vehicles in the logistics sector introduce a complex route optimization problem known as *Multi-Depot Electric Vehicle Routing Problem with Time Windows* (MDEVRPTW). This research aim to design optimal routes for this problem by proposing a *Hybrid Genetic Algorithm* (HGA) method integrated with a 2-Opt local search, dynamic charging station insertion, and a delayed departure mechanism. The algorithm performance is tested across various operational scenarios and compared with the exact *Mixed-Integer Linear Programming* (MILP) method. Experimental indicate that HGA consistently generate fully feasible distribution routes with competitive total operational costs and computation times in mere seconds. Although there is still a solution gap of up to 10% in more complex scenarios, this HGA method offers high computational efficiency, making it highly applicable for implementation in industrial-scale logistics distribution systems.

Keywords: electric vehicle, Genetic Algorithm, Hybrid Genetic Algorithm, multi-depot, time windows



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 2026
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.

OPTIMASI RUTE KENDARAAN LISTRIK MULTI-DEPOT DENGAN TIME WINDOWS MENGGUNAKAN HYBRID GENETIC ALGORITHM

HARLEY DEARMANSON GIRSANG

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

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
SEKOLAH SAINS DATA, MATEMATIKA, DAN INFORMATIKA
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@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.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:
Drs. Prapto Tri Supriyo, S.Si., M.Kom.



Judul Skripsi : Optimasi Rute Kendaraan Listrik Multi-Depot dengan *Time Windows* Menggunakan *Hybrid Genetic Algorithm*

Nama : Harley Dearmanson Girsang

NIM : G5401221062

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Hidayatul Mayyani, S.Si., M.Si.

Pembimbing 2:

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

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Dr. Donny Citra Lesmana, S.Si., M.Fin.Math.

NIP 197902272005011001

Tanggal Ujian: 13 Juli 2026

Tanggal Lulus:



PRAKATA

Segala puji dan syukur kepada Tuhan Yesus Kristus atas segala berkat dan penyertaan-Nya hingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian ini ialah riset operasi, dengan judul “Optimasi Rute Kendaraan Listrik Multi-Depot dengan *Time Windows* Menggunakan *Hybrid Genetic Algorithm*”.

Karya ilmiah ini tidak akan selesai tanpa adanya bantuan moral dan material dari banyak pihak yang diberikan ke penulis. Berkat dukungan tersebut, penulis mampu menyelesaikan karya ilmiah ini tepat waktu. Oleh karena itu, penulis sangat berterima kasih kepada:

1. Mama dan Papa selaku orang tua penulis yang telah memberi banyak dukungan fisik dan psikis, serta doa-doa yang tiada henti.
2. Ibu Hidayatul Mayyani, S.Si., M.Si. dan Bapak Prof. Dr. Toni Bakhtiar, S.Si., M.Sc. selaku dosen pembimbing 1 dan 2 yang telah membimbing penulis dan memberikan masukan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Bapak Drs. Tri Supriyo, S.Si., M.Kom. selaku moderator seminar dan dosen penguji yang memberikan saran dalam penyelesaian tugas akhir ini.
4. Mas Jimly, Mbak Tania, dan seluruh tenaga kependidikan yang telah membantu urusan administrasi penulis selama masa perkuliahan.
5. Gigi yang menemani proses penulis dari penelitian sampai menyusun tugas akhir ini.
6. Teman-teman DONUT GENK, Ramda, Abu, Jordan, Atur, Desy, Aaz, dan Alya yang senantiasa berbagi cerita dan momen bersama.
7. Teman-teman MBL Taufik, Ferdy, Gailan, Chintya, Cathleen, Azizah, dan Muthi selaku rekan belajar, bermain, dan bercerita sejak hari pertama perkuliahan.
8. Jeje sahabat dari SMP tempat bertukar pikiran dan ide dan juga yang menyempatkan hadir dalam seminar hasil.

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

Bogor, Agustus 2026

Harley Dearmanson Girsang



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vi
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Vehicle Routing Problem (VRP)	4
2.2 Electric Vehicle Routing Problem (EVRP)	5
2.3 VRP dengan Multi-Depot	6
2.4 VRP dengan <i>Time Windows</i>	7
2.5 EVRP Multi-Depot dengan <i>Time Windows</i>	8
2.6 <i>Genetic Algorithm</i>	9
2.7 <i>Hybrid Genetic Algorithm</i>	16
III METODE	21
3.1 Alat dan Bahan	21
3.2 Tahapan Penyelesaian Masalah	21
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1 Skenario dan Parameter Pengujian	25
4.2 Uji Coba <i>Hybrid Genetic Algorithm</i> pada Skala Kecil	29
4.3 Analisis Komparasi HGA dan Solusi Eksak pada Kasus Kecil	37
4.4 Hasil Pengujian dan Analisis Rute	39
4.5 Analisis komparasi HGA dengan Metode Eksak (MILP)	48
V KESIMPULAN DAN SARAN	51
5.1 Simpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52
LAMPIRAN	54
RIWAYAT HIDUP	56



DAFTAR TABEL

1	Istilah <i>Genetic Algorithm</i>	11
2	Notasi Matematis <i>Genetic Algorithm</i>	11
3	Parameter Pengendali Algoritma HGA	25
4	Parameter Biaya dan Operasional Model	25
5	Koordinat Lokasi, Jumlah Permintaan, dan <i>Time Windows</i> Skala Kecil	27
6	Parameter Operasional Skala Kecil	27
7	Koordinat Lokasi, Jumlah Permintaan, dan <i>Time Windows</i> Data Utama	28
8	Kapasitas Baterai, Kapasitas Muatan, dan <i>Time Windows</i>	28
9	Perubahan <i>Time Windows</i> Skenario 4	29
10	Hasil dari Inisialisasi Populasi Awal	30
11	Proses <i>Decoding</i> dan Pemetaan Kromosom ke-1	30
12	Komparasi Jarak Euclidean pada Operasi 2-Opt Kendaraan 0	31
13	Rincian Biaya Operasional Individu ke-1	32
14	Rekapitulasi Nilai <i>Fitness</i> Populasi Awal	33
15	Hasil Seleksi Turnamen Pasangan Induk	34
16	Rekapitulasi Operasi <i>Single-Point Crossover</i> pada Populasi Awal	35
17	Mutasi pada <i>Offspring</i>	36
18	Komparasi Performa Solusi Eksak dan HGA pada Kasus Skala Kecil	38
19	Rekapitulasi Hasil Kedua Metode untuk Kasus 1	43
20	Rekapitulasi Hasil Kedua Metode untuk Kasus 2	47
21	Perbandingan Solusi MILP dengan HGA	48
22	Perbandingan Waktu Komputasi MILP dengan HGA	50

DAFTAR GAMBAR

1	Diagram Alir Penelitian Umum	22
2	Diagram Alur <i>Hybrid Genetic Algorithm</i>	23
3	Visualisasi Rute Kendaraan dari Solusi Eksak dan Solusi HGA	38
4	Rute Kendaraan Skenario 1 Kasus 1 MILP dan HGA	39
5	Rute Kendaraan Skenario 2 Kasus 1 MILP dan HGA	40
6	Rute Kendaraan Skenario 3 Kasus 1 MILP dan HGA	41
7	Rute Kendaraan Skenario 4 Kasus 1 MILP dan HGA	42
8	Rute Kendaraan Skenario 5 Kasus 1 MILP dan HGA	43
9	Rute Kendaraan Skenario 1 Kasus 2 MILP dan HGA	44
10	Rute Kendaraan Skenario 2 Kasus 2 MILP dan HGA	45
11	Rute Kendaraan Skenario 3 Kasus 2 MILP dan HGA	46
12	Rute Kendaraan Skenario 4 Kasus 2 MILP dan HGA	46
13	Rute Kendaraan Skenario 5 Kasus 2 MILP dan HGA	47