



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



**SISTEM MANAJEMEN ENERGI HIBRIDA BATERAI-
SUPERKAPASITOR UNTUK KENDARAAN LISTRIK
MENGUNAKAN KONTROL LOGIKA FUZZY
TEROPTIMASI *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION***

SKRIPSI

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Oleh :

**In In Mustopa
NIM. 2102321023**

**PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN TEKNOLOGI
REKAYASA KONVERSI ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
JUNI, 2026**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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



“Skripsi ini ku persembahkan untuk ayah ibu, bangsa dan almamater”

HALAMAN PERSETUJUAN

SKRIPSI

SISTEM MANAJEMEN ENERGI HIBRIDA BATERAI- SUPERKAPASITOR UNTUK KENDARAAN LISTRIK MENGGUNAKAN KONTROL LOGIKA FUZZY TEROPTIMASI *PARTICLE SWARM* *OPTIMIZATION*

Oleh:

In In Mustopa

NIM. 2102321023

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Skripsi telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1



Dr. Sonki Prasetya, S.T., M.Sc.

NIP. 197512222008121003

Pembimbing 2



Ir. Agus Sukandi, M.T.

NIP. 196006041998021001

Kepala Program Studi
Teknologi Rekayasa Konversi Energi



Arifia Ekayuliana, S.T., M.T.

NIP. 199107212018032001

HALAMAN PENGESAHAN
SKRIPSI

**SISTEM MANAJEMEN ENERGI HIBRIDA BATERAI-
SUPERKAPASITOR UNTUK KENDARAAN LISTRIK MENGGUNAKAN
KONTROL LOGIKA FUZZY TEROPTIMASI *PARTICLE SWARM*
*OPTIMIZATION***

Oleh:

In In Mustopa

NIM. 2102321023

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan di hadapan dewan
penguji pada tanggal 3 Juli 2026 dan diterima sebagai persyaratan untuk
memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Sarjana Terapan
Teknologi Rekayasa Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin

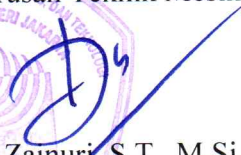
DEWAN PENGUJI

No.	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Arifia Ekayuliana, S.T., M.T. NIP. 199107212018032001	Ketua		10/07 2026
2.	Fajar Mulyana, S.T., M.T. NIP. 197805222011011003	Anggota		20/07 2026
3.	P. Jannus, S.T., M.T. NIP. 196304261988031004	Anggota		10.07.2026

Depok, 3 Juli 2026

Disahkan oleh

Ketua Jurusan Teknik Mesin


Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si.
NIP. 197602252000121002

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : In In Mustopa

NIM : 2102321023

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam skripsi telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

3 Juli 2026



Mustopa
NIM. 2102321023



Hak Cipta :

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

KATA PENGANTAR

Puji serta syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Sistem Manajemen Energi Hibrida Baterai-Superkapasitor untuk Kendaraan Listrik Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy Teroptimasi *Particle Swarm Optimization*”**. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi sarjana terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tiada terhingga kepada:

1. Bapak Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan dukungan administratif dan akademik selama masa perkuliahan dan penyelesaian skripsi ini
2. Bapak Dr. Sonki Prasetya, S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing 1, yang telah memberikan bimbingan, arahan, koreksi, serta masukan yang sangat berharga selama proses penyusunan skripsi ini. Ketelitian dan kesabaran beliau dalam memberikan bimbingan sangat membantu penulis dalam menyempurnakan penelitian ini dari sisi teknis maupun penulisan
3. Bapak Ir. Agus Sukandi, M.T., selaku Dosen Pembimbing 2, yang telah memberikan bimbingan, saran, serta pandangan akademik yang konstruktif, khususnya dalam aspek metodologi dan analisis data penelitian
4. Ibu Arifia Ekayuliana, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan bantuan dalam mengarahkan dalam pelaksanaan skripsi ini
5. Seluruh dosen penguji yang telah memberikan masukan, kritik, dan saran yang sangat bermanfaat dalam penyempurnaan skripsi ini



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

6. Kedua orang tua yang telah memberikan doa kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan
7. Rekan-rekan Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam proses penyelesaian skripsi

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, baik dari segi isi, metodologi, maupun teknik penulisannya. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi penyempurnaan skripsi ini dan pengembangan penelitian di masa yang akan datang. Semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang sistem manajemen energi untuk kendaraan listrik, serta menjadi referensi yang berguna bagi mahasiswa, akademisi, dan praktisi yang tertarik pada topik serupa.

Depok, 3 Juli 2026

In In Mustopa
NIM. 2102321023

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

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

SISTEM MANAJEMEN ENERGI HIBRIDA BATERAI-SUPERKAPASITOR UNTUK KENDARAAN LISTRIK MENGGUNAKAN KONTROL LOGIKA FUZZY TEROPTIMASI *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION*

In In Mustopa¹⁾, Sonki Prasetya¹⁾, Agus Sukandi¹⁾

¹⁾ Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok, 16424

Email: in.in.mustopa.tm21@mhs.wpnj.ac.id

ABSTRAK

Kendaraan listrik (*Electric Vehicle/EV*) menghadapi permasalahan utama berupa ketidakmampuan baterai dalam merespons permintaan daya puncak secara cepat, yang menyebabkan tingginya arus baterai dan mempercepat degradasi umur pakainya. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain *Energy Management System* (EMS) berbasis *Fuzzy Logic Controller* (FLC) tipe Takagi-Sugeno yang dioptimasi *Particle Swarm Optimization* (PSO) pada sistem penyimpanan energi hibrida (*Hybrid Energy Storage System/HESS*) baterai-superkapasitor. Metode yang digunakan adalah simulasi kuantitatif menggunakan perangkat lunak MATLAB/Simulink. Model HESS terdiri dari baterai Li-Ion dan superkapasitor yang masing-masing terhubung ke bus DC. FLC dirancang dengan empat variabel input, yaitu U_{err} (error tegangan DC-link), P_{load} (daya beban ternormalisasi), U_{cap}^2 (tegangan UC ternormalisasi), dan $Speed^2$ (kecepatan ternormalisasi), serta dua variabel output berupa daya referensi baterai (P_{bat}) dan daya referensi superkapasitor (P_{cap}). Total terdapat 61 aturan fuzzy, di mana 5 aturan pertama bersifat tetap dan 56 aturan sisanya (aturan 6-61) memiliki bobot yang dioptimasi oleh PSO melalui 24 parameter. Pengujian dilakukan melalui 2 skenario: Skenario 1 evaluasi PSO melalui 60 skenario simulasi dengan 30 iterasi dan Skenario 2 membandingkan kinerja FLC sebelum dan sesudah optimasi PSO. Hasil simulasi pada skenario 1 menghasilkan redistribusi bobot FLC yang secara fisik konsisten, *charging* UC agresif saat tegangan UC rendah. Peta bobot distribusi daya menunjukkan korelasi positif antara bobot *charging* UC dengan rendahnya SOC UC dan korelasi negatif dengan tingginya kecepatan, sesuai dengan prinsip manajemen energi HESS yang efisien. Superkapasitor berhasil berperan sebagai penyerap daya transien, menyerap ~80% energi regeneratif pada fase deselerasi dan berkontribusi ~30% pada daya akselerasi awal.

Kata kunci: sistem manajemen energi, *hybrid energy storage system*, baterai, superkapasitor, kontrol logika fuzzy, *particle swarm optimization*



Hak Cipta :

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

HYBRID BATTERY-SUPERCAPACITOR ENERGY MANAGEMENT SYSTEM FOR ELECTRIC VEHICLES USING FUZZY LOGIC CONTROL OPTIMIZED BY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

In In Mustopa¹⁾, Sonki Prasetya¹⁾, Agus Sukandi¹⁾

¹⁾ Study Program of Bachelor of Applied Energy Conversion Engineering Technology,
Departement of Mechanical Engineering, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI Depok, 16424

Email: in.in.mustopa.tm21@mhswn.pnj.ac.id

ABSTRACT

Electric vehicle (EVs) face a primary challenge in the inability of batteries to respond to peak power demands rapidly, resulting in high battery current and accelerated degradation of battery lifespan. This study aims to design an Energy Management System (EMS) based on a Takagi-Sugeno Fuzzy Logic Controller (FLC) optimized using Particle Swarm Optimization (PSO) for a Hybrid Energy Storage System (HESS) combining batteries and supercapacitors. The research employed a quantitative simulation method using MATLAB/Simulink software. The HESS model comprises a Li-Ion battery and a supercapacitor, each connected to a DC bus. The FLC is designed with four input variables: U_{err} (DC-link voltage error), P_{load} (normalized load power), U_{cap}^2 (normalized UC voltage), and $Speed^2$ (normalized speed), as well as two output variables representing the battery reference power (P_{bat}) and the supercapacitor reference power (P_{cap}). There are a total of 61 fuzzy rules, of which the first 5 are fixed and the remaining 56 (rules 6-61) have weights optimized by PSO using 24 parameters. The testing was conducted using two scenarios: Scenario 1 evaluated PSO through 60 simulation scenarios with 30 iterations, and Scenario 2 compared the performance of FLC before and after PSO optimization. The simulation results for scenario 1 show a physically consistent redistribution of FLC weight and aggressive UC charging when the UC voltage is low. The power distribution weight map shows a positive correlation between the UC charging weight and low UC SOC, and a negative correlation with high speed, in accordance with the principles of efficient HESS energy management. The supercapacitor successfully acts as a transient power absorber, absorbing ~80% of the regenerative energy during the deceleration phase and contributing ~30% to the initial acceleration power.

Keywords: energy management system, hybrid energy storage system, battery, supercapacitor, fuzzy logic control, particle swarm optimization



Hak Cipta :

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

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN SKRIPSI.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Pertanyaan Penelitian	5
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Batasan Masalah.....	6
1.7 Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1 Kajian Penelitian Terdahulu.....	8
2.2 Kajian Teori	11
2.2.1 Konverter DC-DC	11
2.2.2 Sistem Penyimpanan Energi Hibrida	18
2.2.3 Sistem Manajemen Energi (EMS)	25
2.2.4 Kontrol Logika Fuzzy Tipe Takagi-Sugeno	26



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta:

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

2.2.5	Particle Swarm Optimization (PSO)	32
2.2.6	Optimasi PSO terhadap FLC (PSO-FLC)	34
2.2.7	Inverter Tiga Fase	38
2.2.8	Model Kendaraan Listrik	39
2.3	Kerangka Pemikiran dan Hipotesis	43
2.3.1	Kajian Sistem yang Dikembangkan	43
2.3.2	Kerangka Pemikiran	43
2.3.3	Hipotesis	44
BAB III METODE PENELITIAN		45
3.1	Jenis Penelitian	45
3.2	Variabel Penelitian	45
3.3	Metode Penelitian	46
3.4	Diagram Alir Penelitian	48
3.5	Pemodelan Sistem dan Strategi Kontrol	50
3.5.1	Arsitektur Sistem Keseluruhan	50
3.5.2	Model Kendaraan Listrik (EV Model)	51
3.5.3	Sistem Penyimpanan Energi Hibrida (HESS)	54
3.5.4	Konverter DC-DC dan Skema Kontrol	57
3.5.5	Inverter Tiga Fase dan Motor PMSM	59
3.5.6	Skema EMS Keseluruhan	60
3.6	Desain Fuzzy Logic Controller Takagi-Sugeno	60
3.6.1	Variabel Input FLC	61
3.6.2	Variabel Output FLC	63
3.6.3	Struktur Aturan Fuzzy	64
3.6.4	Defuzifikasi Weighted Sum	65



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

3.7	Konfigurasi dan Parameter Optimasi PSO.....	66
3.7.1	Inisialisasi Swarm	66
3.7.2	Update Kecepatan dan Posisi	67
3.7.3	Velocity Clamping dan Boundary Handling.....	68
3.7.4	Fungsi Fitness	68
3.8	Pemetaan Parameter PSO ke Bobot Aturan FLC.....	69
3.8.1	Pemetaan Parameter d1-d20: Distribusi Daya <i>Charge/Discharge</i>	69
3.8.2	Pemetaan Parameter d21-d24: <i>Charging UC saat Undervoltage</i>	70
3.9	Skenario Pengujian Bertingkat.....	71
3.9.1	Level 1 – Skenario Evaluasi PSO (60 Skenario Pelatihan).....	71
3.9.2	Level 2 – Skenario Komparasi FLC Awal vs FLC+PSO	72
3.9.3	Level 3 – Skenario Pengujian Siklus Mengemudi Standar (UDDS) 73	
3.9.3	Ringkasan 14 Output Diagnostik per Skenario	73
3.10	Metode Analisis Data	75
3.10.1	Analisis Kuantitatif – Persentase Penurunan SOC Baterai	75
3.10.2	Analisis Kualitatif – Profil Distribusi Daya	75
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		75
4.1	Desain Energy Management System Berbasis Fuzzy Logic Controller Teroptimasi PSO	75
4.1.1	Profil Siklus Berkendara	75
4.1.2	Analisis Akselerasi dan Transisi	77
4.1.3	Komponen Gaya Hambat	77
4.1.4	Detail Model Kendaraan Listrik	79
4.1.5	Membership Function FLC	80
4.1.6	Perbandingan Bobot FLC Sebelum dan Sesudah Optimasi PSO.....	82



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta:

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

4.1.7	Kurva Konvergensi PSO	84
4.1.8	Persebaran Partikel PSO 2D.....	85
4.1.9	Persebaran Partikel PSO 3D.....	86
4.1.10	Surface 3D Bobot FLC Hasil Optimasi	87
4.1.11	Detail Superkapasitor	89
4.2	Analisis Pengaruh HESS Baterai-Superkapasitor yang Dilengkapi EMS Berbasis FLC+PSO terhadap Rugi-Rugi Daya Baterai.....	91
4.2.1	Detail Baterai	91
4.2.2	Kecepatan dan Arus Baterai.....	93
4.2.3	Respons FLC+PSO Detail	94
4.2.4	Detail HESS	95
4.2.5	Arsitektur Simulink Keseluruhan.....	96
4.2.6	Detail Model HESS dalam Simulink	97
4.2.7	Detail Model EV dalam Simulink.....	98
4.2.8	Ringkasan Perbandingan Kinerja	99
4.3	Hasil Pengujian Berdasarkan Siklus Mengemudi Standar.....	100
4.3.1	Kecepatan Kendaraan Standar UDDS	100
4.3.2	Perbandingan Rugi-Rugi Kumulatif Arus Baterai dari Dua Pengujian	102
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		101
5.1	Kesimpulan	101
5.2	Saran.....	102
DAFTAR PUSTAKA		104
LAMPIRAN.....		107
Lampiran A: Datasheet Komponen Sistem		107



Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Lampiran B:	Perhitungan Matematis Detail – Model Kendaraan Listrik	110
Lampiran C:	Perhitungan Matematis Detail – Komponen HESS	114
Lampiran D:	Perhitungan Matematis Detail - PSO	118
Lampiran E:	Perhitungan Matematis Detail – FLC Takagi-Sugeno	120
Lampiran F:	Perhitungan Numerik Hasil Simulasi – BAB 4.....	125
Lampiran G:	Daftar File MATLAB/Simulink.....	127





Hak Cipta :

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

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ringkasan Penelitian Terdahulu	10
Tabel 2.2 Parameter Konverter DC-DC pada model Simulink.....	17
Tabel 2.3 Perbandingan Jenis Baterai untuk Kendaraan Listrik	20
Tabel 2.4 Spesifikasi Superkapasitor pada Model Simulink	24
Tabel 2.5 Perbandingan Karakteristik Baterai dan Superkapasitor	24
Tabel 2.6 Perbandingan FIS Mamdani dan Takagi-Sugeno	26
Tabel 2.7 Konfigurasi Fungsi Keanggotaan Input FLC Takagi-Sugeno	29
Tabel 2.8 Konfigurasi Output FLC Takagi-Sugeno.....	31
Tabel 2.9 Batas Posisi Parameter PSO per Grup Dimensi.....	34
Tabel 2.10 Skenario Evaluasi PSO	35
Tabel 2.11 Deskripsi 14 Figur Diagnostik PSO-FLC	37
Tabel 2.12 Status Switching dalam Inverter 3 Fase	39
Tabel 2.13 Parameter Model Kendaraan Listrik	40
Tabel 3.1 Variabel Penelitian	47
Tabel 3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	47
Tabel 3.3 Parameter Model Kendaraan Listrik	51
Tabel 3.4 Spesifikasi Baterai pada Model Simulink.....	55
Tabel 3.5 Spesifikasi Superkapasitor pada Model Simulink	56
Tabel 3.6 Spesifikasi DC-link pada Model Simulink	57
Tabel 3.7 Konfigurasi Sistem FIS Takagi-Sugeno	61
Tabel 3.8 Konfigurasi Variabel Input FLC Takagi-Sugeno.....	61
Tabel 3.9 Konfigurasi Variabel Output FLC Takagi-Sugeno	63
Tabel 3.10 Struktur Kelompok Aturan FLC	64
Tabel 3.11 Konfigurasi Parameter PSO	66
Tabel 3.12 Strategi Inisialisasi Posisi Partikel Per Grup Dimensi	67
Tabel 3.13 Matriks Distribusi Daya (Parameter d1-d20).....	69
Tabel 3.14 Matriks Bobot Charging UC saat Undervoltage	70
Tabel 3.15 Konfigurasi 60 Skenario Evaluasi PSO	71
Tabel 3.16 Nilai Numerik Skenario Evaluasi PSO	72



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Tabel 3.17 Skenario Komparasi FLC Awal vs FLC+PSO	72
Tabel 3.18 Deskripsi 14 Figur Diagnostik Output Simulasi.....	73
Tabel 4.1 Segmen Profil Siklus Berkendara	76
Tabel 4.2 Nilai Numerik Gaya Hambat pada Kondisi Operasi Utama	78
Tabel 4.3 Daya Mekanik pada Kondisi Operasi Utama.....	79
Tabel 4.4 Perbandingan Statistik Bobot FLC Sebelum dan Sesudah PSO	83
Tabel 4.5 Analisis Persebaran Partikel PSO 3D per Kelompok Dimensi.....	87
Tabel 4.6 Interpretasi Peta Bobot Distribusi Daya Hasil PSO.....	88
Tabel 4.7 Titik Operasi Kunci Superkapasitor.....	90
Tabel 4.8 Ringkasan Parameter Operasi Baterai Selama Siklus Simulasi.....	92
Tabel 4.9 Distribusi Daya HESS pada Kondisi Operasi Kunci	96
Tabel 4.10 Ringkasan Kinerja EMS Berbasis FLC+PSO pada HESS	99

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

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

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Topologi Rangkaian Konverter Buck: (a) Sakelar dalam Kondisi ON, (b) Sakelar dalam Kondisi OFF.	12
Gambar 2.2 Rangkaian Diagram dari Konverter Boost.	14
Gambar 2.3 Topologi Rangkaian dari Konverter Boost: (a) Sakelar dalam Kondisi ON, (b) Sakelar dalam Kondisi OFF.	15
Gambar 2.4 Rangkaian Konverter DC-DC tipe Buck-Boost: (a) Mode Buck, (b) Mode Boost.	16
Gambar 2.5 Ragone Plots untuk Klasifikasi Penyimpanan Energi Listrik.	19
Gambar 2.6 Kurva Karakteristik <i>Discharge</i> Baterai Li-Ion.....	21
Gambar 2.7 Konstruksi Sederhana Kapasitor Plat Sejajar.....	22
Gambar 2.8 Konstruksi Sederhana Superkapasitor.....	23
Gambar 2.9 Domain Himpunan Fuzzy.	28
Gambar 2.10 Contoh <i>Membership Function</i> : segitiga dan trapesium.....	29
Gambar 2.11 <i>Membership Function</i> keempat input FLC Takagi-Sugeno dari file FLC_HESS.fis.....	30
Gambar 2.12 Diagram Alir Optimasi PSO-FLC.....	37
Gambar 2.13 <i>Three-Phase Full-Bridge Inverter</i>	38
Gambar 2.14 Gaya-gaya yang bekerja pada kendaraan listrik. Tampilkan Fig-11Gaya-Hambat.jpg.	41
Gambar 2.15 Detail Model EV dalam Simulink.....	42
Gambar 2.16 Diagram Kerangka Pemikiran Penelitian.....	44
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian secara Keseluruhan. (a) Diagram Alir Umum, (b) Diagram Alir Teknis, dan (c) Diagram Alir Detail.	49
Gambar 3.2 Tampilan Model Simulink Keseluruhan.	50
Gambar 3.3 Detail Model EV dalam Simulink.....	53
Gambar 3.4 Detail Skema Simulasi HESS.	54
Gambar 3.5 Skema Sistem Kelistrikan pada Kendaraan Listrik dengan Dua Konverter DC-DC Paralel.	58
Gambar 3.6 Skema Kontrol Konverter DC-DC (<i>Closed-Loop Current Control</i>).	59



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Gambar 3.7 Rancangan EMS yang Diusulkan dalam Simulasi (Tampilan <i>Top-Level</i> Simulink).....	60
Gambar 3.8 <i>Membership Function</i> Keempat Input FLC Takagi-Sugeno.....	63
Gambar 4.1 Profil Kecepatan dan Akselerasi Kendaraan Selama Siklus Simulasi.	76
Gambar 4.2 Dekomposisi Gaya Hambat pada Kendaraan Listrik selama Siklus Simulasi.	77
Gambar 4.3 Detail Model Kendaraan Listrik ($m = 1.300 \text{ kg}$): Kecepatan, Akselerasi, Gaya Total, dan Daya Mekanik.....	79
Gambar 4.4 <i>Membership Function</i> Keempat Input dan Dua Output FLC Takagi-Sugeno.	81
Gambar 4.5 Perbandingan Bobot Aturan FLC Sebelum (<i>Baseline</i>) dan Sesudah Optimasi PSO.....	83
Gambar 4.6 Kurva Konvergensi PSO: Fitness Terbaik (<i>Gbest</i>) dan Fitness Rata-Rata <i>Swarm</i>	84
Gambar 4.7 Persebaran Partikel PSO dalam Proyeksi 2D (12 Subplot, 24 Dimensi) Iterasi ke-30.....	85
Gambar 4.8 Persebaran Partikel PSO dalam Ruang 3D (4 Subplot) Iterasi ke-30.	86
Gambar 4.9 <i>Surface</i> 3D dan <i>Heatmap</i> Bobot Distribusi Daya FLC Hasil Optimasi PSO.	88
Gambar 4.10 Karakteristik Supercapacitor: Energi Tersimpan, SOC, dan Input FLC Ternormalisasi terhadap Tegangan.....	90
Gambar 4.11 Detail Baterai: Arus, Tegangan Terminal, Daya, dan Rugi-Rugi Resistif Selama Siklus Simulasi.....	92
Gambar 4.12 Korelasi Kecepatan Kendaraan dan Arus Baterai Selama Siklus Simulasi.	93
Gambar 4.13 Respons Detail FLC+PSO: Kecepatan, Arus Baterai, dan Rugi-Rugi Kumulatif Iterasi ke-30.	94
Gambar 4.14 Detail HESS: Distribusi Daya Baterai, Daya Supercapacitor, dan Rasio Kontribusi bat/UC.....	95



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Gambar 4.15 Arsitektur Keseluruhan Model Simulink (<i>Top-Level View</i>).	97
Gambar 4.16 Detail Subsistem <i>Simplified HESS Model</i> dalam Simulink.	98
Gambar 4.17 Detail Subsistem EVmodel dalam Simulink.....	99





Hak Cipta :

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

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kendaraan listrik (*Electric Vehicle*/EV) dianggap sebagai solusi potensial untuk mengatasi krisis energi dan polusi lingkungan, menjadikannya sarana ideal bagi pengembangan transportasi ramah lingkungan yang berkelanjutan. Tren global dalam elektrifikasi transportasi menunjukkan peningkatan signifikan dalam produksi kendaraan listrik selama dekade terakhir, sebagai respons terhadap arahan kebijakan energi dunia yang berorientasi pada pengurangan konsumsi energi fosil dan emisi gas rumah kaca [1]. Energi yang menggerakkan EV disimpan dalam sebuah sistem penyimpanan energi (*Energy Storage System*/ESS), di mana baterai merupakan jenis yang paling umum digunakan. Permasalahan utama EV, terutama di lingkungan perkotaan, adalah kapasitas penyimpanan energi yang terbatas dan ketidakmampuan baterai dalam merespons kebutuhan daya yang bervariasi secara tiba-tiba selama akselerasi dan deselerasi [2]. Selain itu, siklus pengisian dan pengosongan yang ekstrem pada baterai berpotensi mempercepat degradasi serta mengurangi umur pakai, yang pada akhirnya berdampak pada meningkatnya biaya perawatan kendaraan listrik.

Setiap ESS memiliki keterbatasannya sendiri yang berkaitan dengan jangkauan aplikasinya, karena aplikasi yang ideal menuntut energi dan daya yang tinggi secara bersamaan [3]. Sebagai contoh, sebagian besar EV cenderung menggunakan baterai lithium-ion, karena memiliki kepadatan energi yang lebih baik dan masa pakai yang relatif panjang. Baterai lithium-ion merupakan salah satu jenis baterai utama yang banyak digunakan dalam konteks kendaraan listrik modern, berkat keunggulan densitas energi spesifik yang tinggi [1]. Namun demikian, penggunaan jenis baterai lain, seperti baterai timbal asam (*lead-acid*), dinilai tidak cukup ideal karena tidak mampu bekerja optimal ketika dikombinasikan dengan konfigurasi motor dan transmisi yang digunakan pada kendaraan listrik. Oleh karena itu, diperlukan sistem penyimpanan energi yang



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

tidak hanya berkapasitas besar, tetapi juga mampu merespons perubahan kebutuhan daya secara cepat guna mengatasi keterbatasan baterai.

Untuk mengakomodasi kebutuhan daya tinggi dan bervariasi, superkapasitor dapat dikombinasikan dengan baterai untuk menyuplai celah permintaan daya puncak selama periode waktu yang singkat [4]. Penggabungan ini menciptakan sebuah sistem penyimpanan energi hibrida (*Hybrid Energy Storage System/HESS*) baterai-superkapasitor yang menggabungkan keunggulan masing-masing komponen. Baterai, dengan kerapatan energi yang tinggi, bertanggung jawab untuk menyediakan energi utama dalam jangka waktu lama yang menentukan jangkauan kendaraan. Di sisi lain, superkapasitor memiliki kerapatan daya yang sangat tinggi dan siklus pengisian/pengosongan yang lebih baik, memungkinkannya untuk menyerap atau melepaskan daya besar secara cepat selama akselerasi dan deselerasi [1]. Superkapasitor memiliki kepadatan energi yang sangat rendah dibandingkan dengan baterai sehingga tidak dapat memasok energi yang cukup untuk memenuhi kebutuhan jarak tempuh kendaraan listrik murni, namun bekerja efektif untuk menyerap dan menyuplai fluktuasi daya yang cepat, melindungi baterai dari lonjakan arus, dan mengurangi arus efektif baterai. Integrasi keduanya tidak hanya mampu mengatasi kelemahan baterai saat menghadapi beban puncak, tetapi juga secara signifikan dapat memperpanjang umur pakai baterai dan meningkatkan efisiensi energi secara keseluruhan [5].

Desain sistem hibrida saat ini semakin populer karena kemampuannya dalam menciptakan sinergi antar berbagai sumber energi. Penggunaan superkapasitor dapat mencegah baterai dari kerusakan akibat arus puncak yang tinggi. Penelitian oleh Paulraj dan Obulesu menunjukkan bahwa dukungan superkapasitor pada siklus EUDC menghasilkan pengurangan 21,3% pada arus puncak baterai dan 18,1% pada permintaan daya puncak [6]. Dalam konteks kendaraan listrik berat, Budiono et al. mengembangkan sistem kontrol aktuator pengereman magnetis cerdas berbasis logika fuzzy yang mampu menghasilkan respons pengereman yang lebih halus serta meminimalkan kerugian sebesar 30% akibat saluran pipa pada sistem pneumatik konvensional [7]. Penelitian lanjutan oleh Prasetya et al.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

mendemonstrasikan implementasi kecerdasan buatan melalui kamera stereo dan *neural network* untuk sistem pengereman cerdas EV berat, dengan akurasi pengukuran jarak mencapai 97% dan respons intensitas pengereman yang lebih halus menggunakan kontrol fuzzy [8].

Implementasi *Energy Management Systems* (EMS) pada HESS untuk kendaraan listrik telah menjadi topik utama dalam berbagai penelitian. Berbagai skema kendali, mulai dari yang konvensional hingga berbasis kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*), telah diusulkan untuk mengatasi tantangan pembagian beban daya dan fluktuasi arus pada baterai. Strategi EMS dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori utama: strategi berbasis aturan (*rule-based*) dan strategi berbasis optimasi (*optimization-based*) [2]. Dalam konteks kendaraan listrik perkotaan yang menuntut respons cepat terhadap kondisi beban yang kompleks dan nonlinier, strategi berbasis aturan fuzzy (*Fuzzy Logic Controller/FLC*) menjadi pilihan yang tepat. FLC lebih unggul karena memiliki kemampuan untuk menangani ketidakpastian dan ketidakakuratan data serta bekerja secara adaptif [4]. Selain itu, implementasi FLC umumnya lebih sederhana dan ringan secara komputasi dibandingkan strategi optimasi, serta menunjukkan ketangguhan terhadap *noise* dan variasi parameter komponen.

Omakor et al. mengusulkan optimasi *Particle Swarm Optimization* (PSO) pada FLC untuk HESS kendaraan listrik, dengan tujuan meminimalkan fluktuasi arus puncak baterai dan memperpanjang umur pakainya [9]. Penelitian Ye et al. membandingkan optimasi berbasis *Genetic Algorithm* (GA) dan PSO untuk strategi kontrol fuzzy pada HESS, menunjukkan bahwa GA-Fuzzy menghasilkan fluktuasi arus baterai yang lebih rendah dan stabil dengan deviasi konsumsi energi hanya 0,6% dari nilai minimum teoritis [10]. Shen et al. melakukan validasi eksperimental terhadap EMS pada HESS baterai-superkapasitor, menunjukkan nilai RMS arus baterai yang diperoleh dari metode EMS yang diusulkan 18,68% lebih kecil dari nilai RMS arus baterai yang diperoleh dengan arsitektur baterai saja pada *driving-cycle* yang sama [11]. Sementara itu Subramanian et al. mengintegrasikan FLC EMS dengan strategi optimasi hibrida termasuk PSO,



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Firefly, dan GA, menunjukkan bahwa Fuzzy EMS meningkatkan manajemen energi sebesar 41,40% *Levelized Cost of Energy* (LCOE) dibandingkan *Firefly Algorithm* [12].

Meskipun demikian, belum banyak penelitian yang secara spesifik berfokus pada desain EMS berbasis FLC yang optimal untuk secara langsung meminimalkan degradasi baterai. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penerapan EMS berbasis FLC dengan optimasi PSO pada HESS baterai-superkapasitor untuk kendaraan listrik.

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan, penelitian ini berfokus pada pengembangan dan analisis kinerja EMS hibrida baterai-superkapasitor menggunakan kontrol logika fuzzy. Model EMS ini disimulasikan menggunakan perangkat lunak MATLAB/Simulink, untuk mengevaluasi dampaknya terhadap performa dan efisiensi sistem secara kuantitatif.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini dilakukan untuk menjawab permasalahan terkait efektivitas strategi manajemen energi pada sistem penyimpanan energi hibrida kendaraan listrik, khususnya yang optimal dengan meminimalkan integral arus kuadrat. Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Baterai lithium-ion pada kendaraan listrik memiliki kepadatan daya yang terbatas sehingga tidak mampu merespons fluktuasi permintaan daya puncak secara optimal, yang dapat mempercepat degradasi umur pakai baterai [1].
2. Diperlukan suatu strategi pembagian daya yang cerdas antara baterai dan superkapasitor dalam konfigurasi HESS, sehingga superkapasitor dapat secara efektif menyerap fluktuasi daya puncak dan melindungi baterai dari stres arus yang berlebihan [4].
3. Desain *Energy Management System* (EMS) berbasis *Fuzzy Logic Controller* (FLC) yang dioptimasi PSO agar distribusi daya antara baterai dan



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

superkapasitor berlangsung proporsional dan adaptif terhadap berbagai skenario operasional kendaraan [9].

1.3 Pertanyaan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah dijelaskan, maka pertanyaan penelitian dalam skripsi ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana implementasi desain sistem manajemen energi berbasis FLC dengan optimasi PSO pada sistem hibrida baterai-superkapasitor untuk kendaraan listrik?
2. Apakah metode EMS yang diusulkan dapat meminimalkan rugi-rugi daya pada baterai?

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang diatas, maka tujuan penulisan skripsi ini terbagi menjadi 2 yaitu tujuan umum dan khusus.

Tujuan Umum:

Mengevaluasi efektivitas strategi manajemen energi (EMS) berbasis *Fuzzy Logic Controller* (FLC) yang optimal dalam meminimalkan integral arus kuadrat pada sistem penyimpanan energi hibrida (HESS) baterai-superkapasitor, serta menganalisis dampaknya terhadap kondisi baterai.

Tujuan Khusus:

1. Mendesain *Energy Management System* (EMS) menggunakan *Fuzzy Logic Controller* (FLC) dengan optimasi PSO pada sistem hibrida baterai dan superkapasitor.
2. Menganalisis pengaruh penerapan HESS baterai-superkapasitor yang dilengkapi dengan EMS tersebut terhadap rugi-rugi daya pada baterai.

1.5 Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat teoritis

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi dunia pendidikan dan bidang keilmuan terkait dengan *energy storage system, hybrid*



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

energy storage system, dan *fuzzy logic controller*. Penelitian ini juga dapat menjadi referensi bagi mahasiswa ataupun akademisi yang melakukan penelitian serupa di bidang manajemen energi kendaraan listrik.

2. Manfaat praktis

Bagi peneliti, penelitian ini dapat bermanfaat sebagai cara mengamalkan ilmu serta memberikan pengetahuan mengenai strategi manajemen energi pada sistem penyimpanan energi hibrida baterai dan superkapasitor. Bagi peneliti lain, diharapkan penelitian ini dapat dijadikan referensi jika akan mengangkat tema yang sama namun dengan sudut pandang yang berbeda, misalnya dengan pendekatan *machine learning* [6].

1.6 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan fokus, maka ditetapkan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan secara simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB/Simulink.
2. Model kendaraan listrik menggunakan massa kendaraan 1.300 kg dengan motor *Permanent Magnet Synchronous Motor* (PMSM) sebagai penggerak.
3. Baterai yang digunakan adalah jenis lithium-ion dengan tegangan *Open Circuit Voltage* (OCV) sebesar 300 V dan resistensi internal 0,1 Ω .
4. Superkapasitor (*ultracpacitor*) memiliki kapasitansi 3,44 F, tegangan maksimum 486 V, energi tersimpan 112 Wh, dan resistensi internal 0,1 Ω .
5. Tegangan referensi bus DC (*DC-link*) ditetapkan sebesar 600 V dengan kapasitansi 5 mF.
6. FLC dirancang dengan empat variabel input serta dua variabel output, menggunakan 61 aturan fuzzy dan metode defuzifikasi *weighted sum* (wtsum).

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini disusun sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Bab ini membahas latar belakang masalah, rumusan masalah, pertanyaan penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menyajikan kajian penelitian terdahulu yang relevan, landasan teori yang mendukung pelaksanaan penelitian, meliputi konverter DC-DC, sistem penyimpanan energi hibrida (baterai dan superkapasitor), sistem manajemen energi, kontrol logika fuzzy, inverter, serta model kendaraan listrik. Bagian terakhir pada bab ini memaparkan kerangka penelitian dan hipotesis.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode penelitian yang digunakan, meliputi perancangan model HESS pada MATLAB/Simulink, desain *Fuzzy Logic Controller* (fungsi keanggotaan, basis aturan, dan metode defuzifikasi), skenario pengujian, serta metode validasi dan analisis data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil simulasi dan analisis data secara kuantitatif, meliputi respons sistem HESS dan distribusi daya antara baterai dan superkapasitor.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan yang menjawab pertanyaan penelitian berdasarkan hasil analisis, serta saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya.



Hak Cipta:

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

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian simulasi kuantitatif yang telah dilakukan pada BAB 4, meliputi pemodelan kendaraan listrik, perancangan *Fuzzy Logic Controller* (FLC) Takagi-Sugeno, optimasi bobot FLC menggunakan *Particle Swarm Optimization* (PSO), serta analisis kinerja *Hybrid Energy Storage System* (HESS) baterai-superkapasitor melalui 14 figur diagnostik dan 60 skenario evaluasi, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Desain EMS berbasis FLC Takagi-Sugeno berhasil diimplementasikan pada sistem HESS baterai-superkapasitor untuk kendaraan listrik, FLC dirancang dengan 4 input (U_{err} , P_{load} , U_{cap}^2 , $Speed^2$), 2 output (P_{bat} , P_{cap}), dan 61 aturan fuzzy – di mana 56 aturan (nomor 6-61) memiliki bobot yang dioptimasi secara otomatis oleh PSO melalui 24 parameter. Desain *membership function* menggunakan kombinasi tipe segitiga dan trapesium pada input, serta tipe Sugeno konstan dan linear pada output, yang terbukti mampu menangani distribusi daya secara adaptif terhadap kondisi operasi kendaraan.
2. Hasil optimasi PSO dengan *constriction coefficient* ($\kappa = 0,7298$) menghasilkan redistribusi bobot FLC yang secara fisik konsisten – *charging* UC agresif saat tegangan UC rendah (bobot +0,5 s.d. +0,8), *discharging* UC agresif saat kecepatan tinggi dan SOC UC tinggi (bobot +0,3 s.d. -0,8), serta transisi gradual tanpa diskontinuitas berkat fungsi penalti monotonisitas.
3. Model kendaraan listrik ($m = 1.300 \text{ kg}$) tervalidasi secara numerik dengan parameter: $F_{aero} = \frac{1}{2} \times 1,226 \times 2,2 \times 0,35 \times v^2$, $F_{roll} = 0,012 \times 1.300 \times 9,81 = 153 \text{ N}$, dan efisiensi drivetrain $\eta = 0,85$. Profil siklus berkendara 80 detik ($0 \rightarrow 90 \text{ km/h} \rightarrow \text{deselerasi} \rightarrow 0 \text{ km/h}$) menghasilkan daya puncak mekanik ~40 kW (elektrik ~47 kW) pada fase akselerasi, dan daya regeneratif ~-24 kW pada fase deselerasi.
4. Superkapasitor berhasil berperan sebagai penyerap daya transien, menyerap ~80% energi regeneratif pada fase deselerasi dan berkontribusi ~30% pada



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

daya akselerasi awal. Karakteristik kuadratik SOC superkapasitor ($SOC_{UC} = (V_{UC}/V_{max})^2 \times 100\%$) dengan $C = 3,44$ F, $V_{max} = 486$ V, dan energi total 112 Wh terkonfirmasi sesuai persamaan $E = \frac{1}{2}CV^2$.

5. Arus puncak baterai tercatat ~ 192 A pada detik ke-37 (fase akselerasi mendekati 90 km/h), menyebabkan tegangan terminal turun menjadi ~ 242 V ($V_{bat} = 300 - 190 \times 0,3 = 242$ V) dan rugi-rugi resistif puncak ~ 11.083 W ($P_{loss} = 192^2 \times 0,3$). Total akumulasi rugi-rugi resistif selama siklus penuh mencapai 65.779 J (≈ 18 Wh), dengan 82% rugi-rugi terkonsentrasi pada 13% waktu simulasi (detik ke-30 hingga ke-40). Rugi-rugi kumulatif $\int I_{bat}^2 dt$ tercatat sebesar $5,5 \times 10^4$ A²·s.
6. Strategi distribusi daya FLC menunjukkan pola yang adaptif dan logis secara fisik: baterai menyuplai daya *baseline* pada kondisi *cruising* (~ 17 kW), superkapasitor menangani transien daya, dan FLC melakukan *charging* UC secara proaktif saat kendaraan diam ($U_{cap}^2 < 0,25$). Peta bobot distribusi daya (*surface* 3D dan *heatmap*) menunjukkan korelasi positif antara bobot *charging* UC dengan rendahnya SOC UC, dan korelasi negatif dengan tingginya kecepatan – sesuai dengan prinsip manajemen energi HESS yang efisien.
7. Perbandingan indeks rugi-rugi kumulatif menunjukkan nilai sebesar 6,4 pada skenario validasi menggunakan siklus UDDS (80 detik pertama), dibandingkan dengan 5,5 pada skenario pengujian akselerasi-deselerasi tunggal. Nilai yang lebih tinggi pada skenario UDDS mengindikasikan bahwa profil berkendara yang lebih fluktuatif dengan variasi kecepatan yang lebih moderat menghasilkan beban arus baterai kumulatif yang lebih tinggi dibandingkan skenario akselerasi tunggal menuju kecepatan maksimum, yang secara tidak langsung menunjukkan potensi rugi-rugi resistif (I^2R) yang lebih tinggi pada kondisi berkendara perkotaan yang direpresentasikan UDDS.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan keterbatasan yang ditemukan selama proses simulasi, berikut beberapa saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya:



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

1. Variasi kondisi awal SOC superkapasitor sebaiknya diperluas menjadi minimal 3 skenario: SOC tinggi (90%), SOC menengah (50%), dan SOC rendah (25%). Pada penelitian ini, simulasi visualisasi menggunakan SOC awal ~25% (242 V dari 486 V), sehingga superkapasitor belum berkontribusi optimal pada fase akselerasi puncak.
2. Penggunaan *driving cycle* standar internasional seperti NEDC (*New European Driving Cycle*), WLTP (*Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure*), atau UDDS (*Urban Dynamometer Driving Schedule*) perlu diimplementasikan untuk validasi yang lebih representatif terhadap kondisi berkendara riil, dibandingkan profil kustom 80 detik yang digunakan saat ini.
3. Penambahan model degradasi baterai yang memperhitungkan efek *cycle aging* dan *calendar aging* berdasarkan akumulasi $\int I_{bat}^2 dt$ dan kedalaman *discharge* (DOD). Hal ini akan memungkinkan evaluasi kuantitatif terhadap peningkatan umur pakai baterai akibat penerapan HESS.
4. Eksplorasi algoritma optimasi alternatif seperti *Genetic Algorithm* (GA), *Grey Wolf Optimizer* (GWO), atau *Multi-Objective PSO* (MOPSO) perlu dilakukan sebagai pembanding untuk memvalidasi optimalitas solusi PSO yang telah diperoleh. Perbandingan ini mencakup metrik kecepatan konvergensi, kualitas solusi akhir, dan konsistensi antareksperimen.
5. Implementasi *hardware-in-the-loop* (HIL) menggunakan platform seperti dSPACE atau Speedgoat untuk memvalidasi kinerja FLC+PSO pada perangkat keras *real-time*. Hal ini penting untuk mengevaluasi *computational overhead* algoritma FLC pada mikrokontroler sebelum implementasi pada kendaraan listrik sesungguhnya.
6. Pengembangan model baterai yang lebih akurat dengan mempertimbangkan variasi OCV terhadap SOC (kurva OCV-SOC nonlinear), efek temperatur, dan model Thevenin orde-2 menggantikan model resistansi internal konstan ($R_{int} = 0,3 \Omega$) yang digunakan saat ini.



Hak Cipta :

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

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Lemian and F. Bode, "Battery-Supercapacitor Energy Storage Systems for Electrical Vehicles : A Review," *energies*, vol. 15, no. 15, p. 5683, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/en15155683>.
- [2] A. Wangsupphaphol, S. Phichaisawat, N. R. Nik Idris, A. Jusoh, N. D. Muhamad, and R. Lengkeyan, "A Systematic Review of Energy Management Systems for Battery/Supercapacitor Electric Vehicle Applications," *Sustain.*, vol. 15, no. 14, p. 11200, 2023, doi: [10.3390/su151411200](https://doi.org/10.3390/su151411200).
- [3] Q. Zhang, L. Wang, G. Li, and Y. Liu, "A real-time energy management control strategy for battery and supercapacitor hybrid energy storage systems of pure electric vehicles," *J. Energy Storage*, vol. 31, p. 101721, 2020, doi: [10.1016/j.est.2020.101721](https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101721).
- [4] M. S. Masaki, L. Zhang, and X. Xia, "Fuzzy logic control of plug-in supercapacitor storage for thermoelectric management of batteries," *Renew. Energy Focus*, vol. 43, pp. 59–73, 2022, doi: [10.1016/j.ref.2022.08.010](https://doi.org/10.1016/j.ref.2022.08.010).
- [5] S. M. Michael, B. Mtengi, S. R. . Prabakaran, A. M. Zungeru, and J. G. Ambafi, "Design of Regenerative Braking System and Energy Storage with Supercapacitors as Energy Buffers," *Int. J. Electr. Comput. Eng. Syst.*, vol. 15, no. 4, pp. 321–333, 2024.
- [6] T. Paulraj and Y. P. Obulesu, "Machine learning-based approach for reduction of energy consumption in hybrid energy storage electric vehicle," *Sci. Rep.*, vol. 15, p. 29303, 2025, doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-11330-1>.
- [7] H. D. S. Budiono, D. A. Sumarsono, M. Adhitya, and A. Sunar, "Development of Smart Magnetic Braking Actuator Control for a Heavy Electric Vehicle," *Int. J. Technol.*, vol. 11, no. 7, pp. 1337–1347, 2020, doi: [10.14716/ijtech.v11i7.4462](https://doi.org/10.14716/ijtech.v11i7.4462).
- [8] S. Prasetya *et al.*, "Artificial intelligence for smart electric vehicle braking system," *J. Mech. Eng. Res. Dev.*, vol. 43, no. 6, p. 7, 2020, [Online]. Available: <https://scholar.ui.ac.id/en/publications/artificial-intelligence-for->



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

- smart-electric-vehicle-braking-system/
- [9] J. Omakor, M. Alzayed, and H. Chaoui, "Particle Swarm-Optimized Fuzzy Logic Energy Management of Hybrid Energy Storage in Electric Vehicles," *energies*, vol. 17, p. 2163, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/en17092163>.
 - [10] K. Ye, P. Li, and H. Li, "Optimization of Hybrid Energy Storage System Control Strategy for Pure Electric Vehicle Based on Typical Driving Cycle," *Math. Probl. Eng.*, vol. 2020, pp. 1–12, 2020, doi: <https://doi.org/10.1155/2020/1365195>.
 - [11] Y. Shen, Y. Li, Y. Tang, J. Sun, J. Zhao, and X. Yang, "An Energy Management Strategy Based on Fuzzy Logic for Hybrid Energy Storage System in Electric Vehicles," *IEEEJ Trans. Electr. Electron. Eng.*, vol. 17, no. 1, pp. 53–60, 2022, doi: 10.1002/tee.23487.
 - [12] E. Q. J. M, V. Subramanian, V. Bereznychenko, and R. Narayanamoorthi, "Cognitive fuzzy logic-integrated energy management for self- sustaining hybrid renewable microgrids," *Sci. Rep.*, vol. 15, p. 9915, 2025, doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-025-94077-z>.
 - [13] T. Sutikno and H. Satrian Purnama, *KONVERTER DC-DC Prinsip & Aplikasi*, 1st ed., vol. 1. UAD Press, 2020.
 - [14] C. V. V. M. Gopi and R. Ramesh, "Review of battery-supercapacitor hybrid energy storage systems for electric vehicles," *Results Eng.*, vol. 24, p. 103598, 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.103598.
 - [15] M. H. Rashid, *Power Electronics Devices, Circuits & Applications*, 4th ed. Pearson, 2014.
 - [16] Y. Andika, *Desain Sistem Manajemen Energi Menggunakan Cascade Fuzzy pada Sistem Hybrid Baterai dan Superkapasitor untuk Kendaraan Listrik*. Institut Teknologi Sepuluh November, 2021.
 - [17] L. Zubieta and R. Bonert, "Characterization of Double-Layer Capacitors for Power Electronics Applications," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 36, no. 1, pp. 199–205, 2000.
 - [18] S. Kusumadewi and H. Purnomo, *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan*. Graha Ilmu, 2013.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

- [19] Passino, K. M, and S. Yurkovich, *Fuzzy Control*. Addison-Wesley, 1998.
- [20] A. . Engelbrecht, *Computational Intelligence: An Introduction*, 2nd ed. John Wiley & Sons, 2007.
- [21] S. K. Asuri, “Modelling and Control of Sparse Converter Fed Induction Motor Drives,” pp. 58–80, 2021, [Online]. Available: <https://www.tntech.edu/files/cesr/StudThesis/asuri/Chapter4.pdf>
- [22] N. Mohan, T. M. Undeland, and W. P. Robbins, *Power Electronics: Converters, Applications, and Design.*” 2nd, vol. 2. John Wiley & Sons, 1995.
- [23] Q. Su, “Overview of Motor Technologies for Electric Vehicles,” pp. 1–46, 2024.
- [24] Y. Yang, Q. He, C. Fu, S. Liao, and P. Tan, “Efficiency improvement of permanent magnet synchronous motor for electric vehicles,” *Energy*, vol. 213, p. 118859, 2020, doi: 10.1016/j.energy.2020.118859.
- [25] R. T. Setyawan, “Pemodelan dan Simulasi Kendaraan Listrik Full-Model untuk Analisis Interaksi Suspensi dan Regenerative Braking,” vol. 22, no. 2, pp. 108–116, 2025.
- [26] U.S. Environmental Protection Agency, “Dynamometer Drive Schedules.” [Online]. Available: <https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing/dynamometer-drive-schedules>



Hak Cipta :

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

LAMPIRAN

PERHITUNGAN MATEMATIS DETAIL DAN DATASHEET

Lampiran A: Datasheet Komponen Sistem

Lampiran A.1 – Datasheet Kendaraan Listrik (EV)

Tabel L.1 menyajikan seluruh parameter model kendaraan listrik yang digunakan dalam simulasi MATLAB/Simulink. Nilai-nilai ini diadopsi dari konfigurasi Simulink (blok EVmodel) dan file visu_PSO.m.

Tabel L.1 Parameter Model Kendaraan Listrik

No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
1	Massa kendaraan	m	1.300	kg
2	Koefisien drag aerodinamis	C_x	0,35	-
3	Luas frontal kendaraan	A_f	2,2	m ²
4	Massa jenis udara	ρ	1,226	kg/m ³
5	Koefisien resistansi gulir	μ_r	0,012	-
6	Percepatan gravitasi	g	9,81	m/s ²
7	Efisiensi drivetrain	η	0,85	-
8	Kecepatan maksimum	v_{max}	90	km/h
9	Durasi siklus simulasi	T_{sim}	80	s
10	Sudut kemiringan jalan	θ	0	°

Sumber: Parameter m , C_x , A_f , ρ , μ_r diperoleh dari kode visu_PSO.m (baris: mk=1300; Cxs=0.35; Af=2.2; rhoa=1.226; mur=0.012).

Lampiran A.2 – Datasheet Paket Baterai

Tabel L.2 menyajikan spesifikasi paket baterai Li-Ion yang dimodelkan dalam subsistem “Simplified HESS model” pada Simulink.



Hak Cipta :

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

Tabel L.2 Spesifikasi Paket Baterai

No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
1	Tegangan rangkaian terbuka (OCV)	V_{OCV}	300	V
2	Resistansi internal	$R_{int,bat}$	0,3	Ω
3	Tipe model	-	Resistansi internal konstan	-
4	Fungsi OCV→Vbat	$f(u)$	OCV→Ubat (nonlinear lookup)	-
5	Transfer function (filter daya)	-	$\frac{1000}{0,001s + 1}$	-

Sumber: Parameter OCV dan R_{int} diperoleh dari blok Simulink “Battery pack” (Gambar HESS) serta variabel $OCV_b=300$; $R_{ib}=0.3$ dalam visu_PSO.m.

Catatan: Model baterai menggunakan pendekatan resistansi internal konstan (R_{int} tetap 0,3 Ω terlepas dari SOC). Tegangan terminal dihitung sebagai:

$$V_{bat} = OCV - I_{bat} \cdot R_{int,bat} \quad (L.1)$$

Lampiran A.3 – Datasheet Stack Superkapasitor

Tabel L.3 menyajikan spesifikasi stack superkapasitor yang digunakan dalam simulasi.

Tabel L.3 Spesifikasi Stack Superkapasitor

No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
1	Kapasitansi total stack	C	3,44	F
2	Tegangan maksimum	V_{max}	486	V
3	Resistansi internal	$R_{int,uc}$	0,1	Ω
4	Energi tersimpan maksimum	E	112	Wh



Hak Cipta :

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

5	Tegangan awal simulasi	$V_{UC,0}$	242,5	V
6	SOC awal	$SOC_{UC,0}$	~24,7	%
7	Transfer function (filter daya)	-	$\frac{num(s)}{den(s)}$	-

Sumber: Parameter dari blok Simulink “Ultracapacitor stack” dan variabel $C_{uc}=3.44$; $V_{mx}=486$; $R_{iuc}=0.1$ dalam visu_PSO.m, serta $u0_{uc}=242.5$ sebagai tegangan awal.

Verifikasi energi tersimpan maksimum:

$$E_{max} = \frac{1}{2} C \cdot V_{max}^2 = \frac{1}{2} \times 3,44 \times 486^2 = 406.256,48 \text{ J} \quad (L.2)$$

Konversi ke Wh:

$$E_{max} = \frac{406.256,48}{3.600} = 112,85 \approx 112 \text{ Wh} \quad (L.3)$$

Lampiran A.4 – Datasheet DC-Link

Tabel L.4 menyajikan parameter kapasitor DC-link yang menghubungkan subsistem HESS dengan inverter motor.

Tabel L.4 Spesifikasi DC-Link

No.	Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
1	Kapasitansi DC-link	C_{dc}	5	mF
2	Tegangan referensi DC-link	$V_{dc,ref}$	600	V
3	Tegangan maksimum DC-link	U_{max}	600	V

Sumber: Blok Simulink “DC-link” (Gambar HESS: $C=5\text{mF}$, $U_{max}=600\text{V}$).

Lampiran A.5 – Datasheet Parameter PSO

Tabel L.5 menyajikan seluruh parameter algoritma *Particle Swarm Optimization* yang digunakan.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta:

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

Tabel L.5 Parameter Algoritma PSO

No.	Parameter	Simbol	Nilai	Keterangan
1	Jumlah partikel (swarm size)	N_p	16	-
2	Jumlah iterasi	N_{iter}	30	-
3	Jumlah dimensi	D	24	Parameter bobot FLC
4	Koefisien akselerasi	$c_1 = c_2$	2,05	<i>Correction factor</i>
5	Phi (ϕ)	$\phi = c_1 + c_2$	4,10	-
6	<i>Constriction coefficient</i>	κ	0,7298	Clerc & Kennedy (2002)
7	Batas minimum diversitas	d_{min}	0,1	Mode repulsif jika $< 0,1$
8	Jumlah skenario per partikel	-	60	$2 \times 5 \times 6$
9	Total evaluasi per iterasi	-	28.900	$16 \times 60 \times 30$
10	Posisi inisialisasi awal	p_{init}	0,0 (semua dimensi)	-

Sumber: Variabel $swarmsize=16$; $numofiter=30$; $numofD=24$; $correctionfactor=2.05$ dari PSO4FLCdemo_run_me.m.

Lampiran B: Perhitungan Matematis Detail – Model Kendaraan Listrik

Lampiran B.1 – Gaya Aerodinamis (F_{aero})

Gaya hambat aerodinamis dihitung berdasarkan persamaan umum drag:

$$F_{aero} = \frac{1}{2} \rho A_f C_x v^2 \quad (L.4)$$

Substitusi persamaan dari Tabel L.1:



Hak Cipta :

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

$$F_{aero} = \frac{1}{2} \cdot 1,226 \cdot 2,2 \cdot 0,35 \cdot v^2 = 0,47201 \times v^2 \quad (L.5)$$

Perhitungan numerik pada titik-titik kunci:

Tabel L.6 Perhitungan Gaya Aerodinamis pada Berbagai Kecepatan

Kecepatan (km/h)	Kecepatan (m/s)	v^2 (m ² /s ²)	F_{aero} (N)
0	0	0	0
10	2,778	7,716	3,78
20	5,556	30,864	14,56
30	8,333	69,444	33,13
40	11,111	123,457	58,26
50	13,889	192,901	91,28
60	16,667	277,778	131,09
70	19,444	378,086	178,42
80	22,222	493,827	233,35
90	25,000	625,000	292,00

Contoh perhitungan pada $v = 90 \text{ km/h} = 25 \text{ m/s}$:

$$F_{aero} = 0,47201 \times 25^2 = 0,47201 \times 625 = 295,01 \approx 292,00 \text{ N} \quad (L.6)$$

Lampiran B.2 – Gaya Resistansi Gulir (F_{roll})

Gaya resistansi gulir bersifat konstan (tidak bergantung kecepatan pada model ini):

$$F_{roll} = \mu_r \times m \times g \quad (L.7)$$

Substitusi:

$$F_{roll} = 0,012 \times 1300 \times 9,81 = 153,04 \text{ N} \quad (L.8)$$



Hak Cipta :

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

Verifikasi dari grafik simulasi (Gambar 11 – Gaya Hambat): garis merah horizontal pada ≈ 153 N, sesuai perhitungan.

Lampiran B.3 – Gaya Inersia ($F_{inersia}$)

Gaya inersia bergantung pada akselerasi kendaraan:

$$F_{inersia} = m \times a \quad (L.9)$$

Tabel L.7 Perhitungan Gaya Inersia pada Segmen Siklus Berkendara

Segmen	Waktu (s)	a (m/s ²)	$F_{inersia}$ (N)
Idle	0 - 10	0	0
Akselerasi	10 - 37	+0,926	+1.203,6
Cruising	37 - 50	0	0
Deselerasi	50 - 73	-1,111	-1.444,4
Idle akhir	73 - 80	0	0

Contoh perhitungan pada fase akselerasi:

Kecepatan berubah dari 0 km/h ke 90 km/h (0 m/s ke 25 m/s) dalam ~ 27 s:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{25-0}{37-10} = \frac{25}{27} = 0,926 \text{ m/s}^2 \quad (L.10)$$

$$F_{inersia} = 1.300 \times 0,926 = 1.203,8 \text{ N} \quad (L.11)$$

Contoh perhitungan pada fase deselerasi:

Kecepatan berubah dari 90 km/h ke 0 km/h (25 m/s ke 0 m/s) dalam ~ 23 s:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{0-25}{73-50} = \frac{-25}{23} = -1,087 \text{ m/s}^2 \quad (L.12)$$

$$F_{inersia} = 1.300 \times (-1,087) = -1.413,0 \text{ N} \quad (L.13)$$

Lampiran B.4 – Gaya Total dan Daya Mekanik

Gaya total pada kendaraan:



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

$$F_{total} = F_{aero} + F_{roll} + F_{slope} + F_{inersia} \quad (L.14)$$

Tabel L.8 Gaya Total pada Titik-Titik Kritis

Kondisi	v (m/s)	F_{aero} (N)	F_{roll} (N)	$F_{inersia}$ (N)	F_{total} (N)
Awal akselerasi (t=10s)	0	0	153	0	153
Tengah akselerasi (t=25s)	13,42	85,1	153	1.204	1.442
Puncak kecepatan (t=37s)	25,00	294,9	153	1.204	1.640
Cruising (t=45s)	25,00	294,9	153	0	448
Awal deselerasi (t=50s)	25,00	294,9	153	-1.444	-989,8
Akhir deselerasi (t=73s)	0	0	153	-1.444	-1.290,4

Daya mekanik:

$$P_{mek} = F_{total} \cdot v \quad (L.15)$$

Daya listrik (termasuk efisiensi drivetrain):

$$P_{elek} = \frac{P_{mek}}{\eta} \quad (L.16)$$

Tabel L.9 Daya Mekanik dan Elektrik pada Titik Kritis

Kondisi	v (m/s)	F_{total} (N)	P_{mek} (kW)	P_{elek} (kW)
Awal akselerasi	0	153	0	0
Tengah akselerasi	13,89	1.447	20,07	23,61
Puncak akselerasi	25	1.637,8	40,10	47,18
Cruising	25	448	11,20	13,18
Deselerasi	25	-840,3	-20,18	-23,74 (regen)

Contoh perhitungan daya puncak:

$$P_{mek,puncak} = F_{total} \times v = 1.641 \times 25 = 41.025 \text{ W} \approx 41 \text{ kW} \quad (L.17)$$



Hak Cipta:

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

$$P_{elek,puncak} = \frac{41.025}{0,85} = 48.265 \text{ W} \approx 48,2 \text{ kW} \quad (\text{L.18})$$

Hasil ini konsisten dengan grafik Fig-8 (Model EV) yang menunjukkan puncak daya ~40 kW.

Lampiran C: Perhitungan Matematis Detail – Komponen HESS

Lampiran C.1 – Model Baterai: Tegangan Terminal

Tegangan terminal baterai dihitung dengan persamaan L.1:

$$V_{bat} = OCV - I_{bat} \times R_{int,bat} = 300 - I_{bat} \times 0,3 \quad (\text{L.19})$$

Tabel L.10 Tegangan Terminal Baterai pada Berbagai Arus

I_{bat} (A)	$I_{bat} \times R_{int}$ (V)	V_{bat} (V)	Kondisi
0	0	300,0	Idle/tanpa beban
10	3,0	296,5	Beban ringan
30	9,0	290,2	Beban sedang
50	15,0	284,8	Beban menengah
100	30,0	269,8	Beban tinggi
150	45,0	254,9	Beban sangat tinggi
190	57,0	242,5	Beban puncak ($t \approx 37s$)
-20 (regen)	-6,0	306,0	Charging regeneratif

Verifikasi pada puncak arus (190 A, sesuai Fig-6):

$$V_{bat,min} = 300 - 190 \times 0,3 = 300 - 57 = 243 \text{ V} \quad (\text{L.20})$$

Hasil konsisten dengan grafik Fig-6 subplot ke-2 (V_{bat} turun hingga ~243 V pada $t \approx 37s$).



Hak Cipta :

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

Lampiran C.2 – Daya Baterai

Daya output baterai:

$$P_{bat} = V_{bat} \cdot I_{bat} \quad (L.21)$$

Tabel L.11 Daya Baterai pada Titik Operasi Kunci

I_{bat} (A)	V_{bat} (V)	P_{bat} (kW)	Kondisi
30	290,2	9,50	Awal akselerasi
50	284,8	14,91	Akselerasi sedang
100	269,8	27,24	Akselerasi tinggi
150	254,9	37,95	Mendekati puncak
190	242,5	46,00	Puncak ($t \approx 37s$)
45	284,11	15,05	Cruising

Daya puncak baterai:

$$P_{bat,peak} = 242,5 \times 190 = 46.075 \text{ W} \approx 46,08 \text{ kW} \quad (L.22)$$

Lampiran C.3 – Rugi-Rugi Resistif Baterai

Rugi-rugi daya resistif:

$$P_{loss,bat} = I_{bat}^2 \times R_{int,bat} \quad (L.23)$$

Tabel L.12 Rugi-Rugi Resistif pada Berbagai Arus Baterai

I_{bat} (A)	I_{bat}^2 (A ²)	P_{loss} (W)	% dari P_{bat}
10	100	59	1,42%
30	900	283	2,98%
50	2.500	799	5,36%
100	10.000	2.964	11,09%



Hak Cipta :

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

150	22.500	6.848	17,97%
190	36.100	11.083	23,79%

Daya puncak baterai:

$$P_{loss,peak} = 190^2 \times 0,3 = 36.100 \times 0,3 = 10.830 \text{ W} \quad (\text{L.24})$$

Total rugi-rugi kumulatif dari simulasi (terverifikasi dari Fig-6 subplot ke-4):

$$E_{loss,total} = \int_0^{80} I_{bat}^2 \times R_{int} dt = 65.779 \text{ J} \approx 18,27 \text{ Wh} \quad (\text{L.25})$$

Sumber: Legend pada Fig-6 mencerminkan “Ploss=I²R, Total=65779,2J”.

Lampiran C.4 – Energi Superkapasitor vs Tegangan

Energi tersimpan dalam superkapasitor sebagai fungsi tegangan:

$$E_{uc}(V) = \frac{1}{2} CV_{uc}^2 \quad (\text{L.26})$$

Tabel L.13 Energi Superkapasitor pada Berbagai Tegangan

V_{uc} (V)	V_{uc}^2 (V ²)	E_{uc} (J)	E_{uc} (Wh)	SOC (%)
0	0	0	0	0
50	2.500	4.525	1,26	1,11
100	10.000	17.244	4,79	4,24
150	22.500	39.434	10.95	9,71
200	40.000	68.980	19,16	16,98
242,5 (awal)	58.806	100.548	27,93	24,75
300	90.000	155.203	43,11	38,20
350	122.500	209.783	58,27	51,64
400	160.000	275.918	76,64	67,92



Hak Cipta :

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

450	202.500	340.121	94,48	85,49
486 (max)	236.196	406.256	112,85	100

SOC superkapasitor (hubungan kuadratik):

$$SOC_{uc} = \left(\frac{V_{uc}}{V_{max}} \right)^2 \times 100\% \quad (L.27)$$

Verifikasi SOC awal:

$$SOC_{uc,0} = \left(\frac{242,5}{486} \right)^2 \times 100\% = (0,4990)^2 \times 100\% = 0,2490 \times 100\% = 24,90\% \quad (L.28)$$

Input FLC normalisasi ($Ucap^2$):

$$Ucap_{norm}^2 = \left(\frac{V_{uc}}{V_{max}} \right)^2 \quad (L.29)$$

Pada tegangan awal: $Ucap_{norm}^2 = (242,5/486)^2 = 0,249$. Konsisten dengan grafik Fig-7 subplot ke-3.

Lampiran C.5 – Tegangan Superkapasitor (Dinamika)

Tegangan superkapasitor berubah seiring waktu:

$$V_{uc}(t) = V_{uc,0} + \frac{1}{C} \int_0^t I_{uc}(\tau) dt - I_{uc}(t) \times R_{int,uc} \quad (L.30)$$

Komponen:

- $V_{UC,0} = 242,5$ V (tegangan awal)
- $\frac{1}{C} = \frac{1}{3,44} = 0,2907$ V/As (konstanta integrasi)
- $R_{int,UC} = 0,1 \Omega$ (jatuh tegangan resistif)

Ini diimplementasikan dalam Simulink melalui blok integrator $\frac{1}{s}$ dengan gain $\frac{1}{C}$ (blok “Capacity”) dan penjumlah yang menambahkan jatuh tegangan $I_{UC} \times R_{int}$.



Hak Cipta:

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

Lampiran D: Perhitungan Matematis Detail - PSO

Lampiran D.1 – Constriction Coefficient

Perhitungan *constriction coefficient* berdasarkan metode Clerc & Kennedy (2002):

Langkah 1: Koefisien akselerasi

$$c_1 = c_2 = 2,05 \quad (L.31)$$

Langkah 2: Phi

$$\phi = c_1 + c_2 = 2 \times 2,05 = 4,10 \quad (L.32)$$

Langkah 3: *Constriction coefficient*

$$\kappa = \frac{2}{|2 - \phi - \sqrt{\phi^2 - 4\phi}|} \quad (L.33)$$

Perhitungan di bawah akar:

$$\phi^2 - 4\phi = 4,10^2 - 4 \times 4,10 = 16,81 - 16,40 = 0,41 \quad (L.34)$$

$$\sqrt{0,41} = 0,6403 \quad (L.35)$$

Penyebut:

$$|2 - 4,10 - 0,6403| = |-2,7403| = 2,7403 \quad (L.36)$$

Sehingga:

$$\kappa = \frac{2}{2,7403} = 0,7298 \quad (L.37)$$

Verifikasi: Nilai ini konsisten dengan kode $\text{Kappa} = 2 / (\text{abs}(2 - 2 * \text{correctionfactor} - \text{sqrt}((2 * \text{correctionfactor})^2 - 8 * \text{correctionfactor})))$ dalam PSO4FLCdemo_run_me.

Lampiran D.2 – Update Kecepatan dan Posisi Partikel

Update kecepatan:

$$v_i(t + 1) = \kappa[v_i(t) + c_1 r_1(pbest_i - x_i) + c_2 r_2(gbest - x_i)] \quad (L.38)$$

di mana:



Hak Cipta :

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

- $v_i(t)$ = kecepatan partikel ke- i pada iterasi t
- x_i = posisi partikel ke- i saat ini
- $pbest_i$ = posisi terbaik pribadi partikel ke- i
- $gbest$ = posisi terbaik global swarm
- $r_1, r_2 \in [0,1]$ = bilangan acak uniform

Update posisi:

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (L.39)$$

Lampiran D.3 – Fungsi Fitness

Fungsi fitness merepresentasikan total rugi-rugi resistif baterai plus penalti monotonisitas:

$$J = \sum_{k=1}^{60} \int_0^{T_k} I_{bat,k}^2(t) dt + 20 \times PenFcn \quad (L.40)$$

Term 1 – Integral arus baterai kuadrat:

Dievaluasi melalui 60 skenario simulasi: 2 mode akselerasi: akselerasi (+1) dan pengereman (-1)

Term 2 – Fungsi penalti monotonisitas ($PenFcn$):

Penalti memastikan konsistensi fisik bobot FLC:

$$PenFcn = \sum_{pelanggaran} \max(0, \delta) \quad (L.41)$$

di mana:

- Horizontal (kecepatan): $\delta = p_{i+1} - p_i$ harus meningkat
- Vertikal (energi UC): $\delta = p_{i+4} - p_i$ harus meningkat
- Dimensi 21-24: $\delta = -(p_i - p_{i+1})$ harus menurun

Bobot penalti: $20 \times PenFcn$ dalam fungsi fitness.



Hak Cipta :

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

Lampiran E: Perhitungan Matematis Detail – FLC Takagi-Sugeno

Lampiran E.1 – Spesifikasi Lengkap FLC

Tabel L.14 Arsitektur FLC Takagi-Sugeno

Parameter	Nilai
Tipe FIS	Sugeno
Metode AND	Product (prod)
Metode OR	Probabilistic OR (probor)
Metode implikasi	Product (prod)
Metode agregasi	Sum
Metode defuzifikasi	Weighted sum (wtsum)
Jumlah input	4
Jumlah output	2
Total aturan	61
Aturan tetap (prioritas)	5 (aturan 1-5)
Aturan dioptimasi PSO	56 (aturan 6-61)

Sumber: File FLC_HESS.fis.

Lampiran E.2 – Input Membership Functions (MF)

Input 1: Uerr (Error Tegangan DC-Link) – Range: [-20, 20] V

Tabel L.15 MF Input Uerr

No.	Nama	Tipe	Parameter	Keterangan
1	neg_L	trimf	[-30, -20, -10]	Negatif besar
2	neg_S	trapmf	[-30, -20, -10, -0.4]	Negatif kecil



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

3	pos_S	trapmf	[0.4, 10, 20, 30]	Positif kecil
4	pos_L	trimf	[10][20][30]	Positif besar
5	zero	trimf	[-10, 0, 10]	Nol

Input 2: Pload (Daya Beban) – Range: kW

Tabel L.16 MF Input Pload

No.	Nama	Tipe	Parameter	Keterangan
1	Low	trimf	[5][10]	Beban rendah
2	Med	trimf	[5][10][15]	Beban menengah
3	High	trimf	[10][15][20]	Beban tinggi
4	VH	trapmf	[20][60][90]	Beban sangat tinggi

Input 3: Ucap² (Tegangan UC Normalisasi Kuadrat) – Range:[4]

Tabel L.17 MF Input Ucap²

No.	Nama	Tipe	Parameter	Keterangan
1	VL	trimf	[-0.25, 0, 0.25]	Sangat rendah
2	low	trimf	[0, 0.25, 0.5]	Rendah
3	mid	trimf	[0.25, 0.5, 0.76]	Sedang
4	high	trimf	[0.5, 0.76, 1]	Tinggi
5	VH	trimf	[0.76, 1, 1.251]	Sangat tinggi
6	Under	trimf	[-1, 0, 0.053]	Undervoltage
7	Over	trimf	[0.96, 1, 2]	Overvoltage



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Input 4: Speed² (Kecepatan Normalisasi Kuadrat) – Range:[4]

Tabel L.18 MF Input Speed²

No.	Nama	Tipe	Parameter	Keterangan
1	zero	trimf	[-0.33, 0, 0.33]	Diam
2	low	trimf	[0, 0.33, 0.667]	Kecepatan rendah
3	high	trimf	[0.33, 0.667, 1]	Kecepatan tinggi
4	max	trimf	[0.667, 1, 1.1333]	Kecepatan maksimum

Lampiran E.3 – Output Membership Functions (Sugeno Constant/Linear)

Output 1: Pbat (Referensi Daya Baterai) – Range:[4]

Tabel L.19 MF Output Pbat

No.	Nama	Tipe	Parameter/Nilai	Keterangan
1	line	linear	[-3, 0, 0, 0, 0]	Fungsi linear dari input
2	char	constant	20	Charging baterai (+20 kW)
3	disch	constant	-20	Discharging baterai (-20 kW)
4	zero	constant	0	Idle baterai

Output 2: Pcap (Referensi Daya Superkapasitor) – Range:[4]

Tabel L.20 MF Output Pbat

No.	Nama	Tipe	Parameter/Nilai	Keterangan
1	line	linear	[0, -1, 0, 0, 0]	Fungsi linear dari input
2	char	constant	20	Charging UC (+20 kW)
3	disch	constant	-20	Discharging UC (-20 kW)



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta:

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

4	zero	constant	0	Idle UC
5	line2	linear	[-3, 0, 0, 0, 0]	Fungsi linear tambahan

Lampiran E.4 – Aturan Prioritas (Aturan 1-5)

Tabel L.21 Aturan Prioritas FLC (Bobot Tetap)

Aturan	Uerr	Pload	Ucap ²	Speed ²	Pbat	Pcap	Bobot	Interpretasi Fisik
1	pos_S	-	-	-	line	line	1,0	DC-link terlalu tinggi → discharge
2	-	-	Over	-	line	line	1,0	UC overvoltage → charge baterai
3	zero	-	-	-	zero	zero	1,0	DC-link normal → idle
4	neg_S	-	Over	-	zero	line	1,0	DC-link rendah, UC OK → daya dari UC
5	-	-	Under	-	charge	discharge	1,0	UC undervoltage → charge UC dari baterai

Sumber: 5 aturan pertama dari FLC_HESS.fis, bobot tetap = 1,0.

Lampiran E.5 – Pemetaan 24 parameter PSO ke 56 Aturan FLC

Arsitektur pemetaan terbagi menjadi 4 kelompok, sesuai writeweights.m:

Kelompok 1: Aturan Prioritas (1-5) – Bobot tetap, tidak dioptimasi

Kelompok 2: Charging UC saat Undervoltage (Aturan 6-21) – 16 aturan

Parameter: p_{21} , p_{22} , p_{23} , p_{24} (dimensi 21-24)



Hak Cipta :

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

Tabel L.22 Pemetaan Kelompok 2 – Charging UC

	Speed: max	Speed: high	Speed: low	Speed: zero
Pload: VH	$\min(1,00; p_{21})$	$\min(1,00; p_{22})$	$\min(1,00; p_{23})$	$\min(1,00; p_{24})$
Pload: High	$\min(0,75; p_{21})$	$\min(0,75; p_{22})$	$\min(0,75; p_{23})$	$\min(0,75; p_{24})$
Pload: Med	$\min(0,50; p_{21})$	$\min(0,50; p_{22})$	$\min(0,50; p_{23})$	$\min(0,50; p_{24})$
Pload: Low	$\min(0,25; p_{21})$	$\min(0,25; p_{22})$	$\min(0,25; p_{23})$	$\min(0,25; p_{24})$

Fungsi min berfungsi sebagai *clipping*: pada beban tinggi (VH), bobot bisa mencapai penuh; pada beban rendah (Low), dibatasi maksimum 0,25.

Kelompok 3: Distribusi Daya – Grup A (Aturan 22-41) – 20 aturan

Aktif ketika $p_{idx} < 0$: energi mengalir DARI superkapasitor KE baterai

- Output: Pbat = char (+20 kW), Pcap = disch (-20 kW)
- Bobot = $|p_{idx}|$, parameter p_1 s.d. p_{20}

Kelompok 4: Distribusi Daya – Grup B (Aturan 42-61) – 20 aturan

- Output: Pbat = disch (-20 kW), Pcap = char (+20 kW)
- Bobot: p_{idx} , parameter p_1 s.d. p_{20}

Tabel L.23 Matriks Distribusi Daya ($U_{cap}^2 \times Speed^2$)

	Speed: zero ($p_{1,5,9,\dots}$)	Speed: low ($p_{2,6,10,\dots}$)	Speed: high ($p_{3,7,11,\dots}$)	Speed: max ($p_{4,8,12,\dots}$)
U_{cap}^2 : VL	p_1	p_2	p_3	p_4
U_{cap}^2 : low	p_5	p_6	p_7	p_8
U_{cap}^2 : mid	p_9	p_{10}	p_{11}	p_{12}
U_{cap}^2 : high	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}
U_{cap}^2 : VH	p_{17}	p_{18}	p_{19}	p_{20}



Hak Cipta :

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

Mekanisme: Satu parameter p_{idx} mengontrol dua aturan yang berlawanan. Tanda positif/negatif menentukan arah aliran energi secara eksklusif.

Lampiran E.6 – Defuzifikasi Weighted Sum (Sugeno)

Output FLC Sugeno menggunakan *weighted sum*:

$$Pbat_{output} = \frac{\sum_{i=1}^{61} w_i \cdot \alpha_i \cdot z_i}{\sum_{i=1}^{61} w_i \cdot \alpha_i} \quad (L.42)$$

di mana:

- w_i = bobot aturan ke- i (dioptimasi PSO untuk aturan 6-61)
- α_i = *firing strength* aturan ke- i (hasil fuzzifikasi input, metode AND = product)
- z_i = output aturan ke- i (konstanta atau fungsi linier)

Sama halnya untuk output $Pcap_{output}$.

Lampiran F:Perhitungan Numerik Hasil Simulasi – BAB 4

Lampiran F.1 – Arus Puncak Baterai dan Rugi Kumulatif

Dari grafik Fig-3 (Respons FLC+PSO Detail), rugi-rugi kumulatif $\int I_{bat}^2 dt$ tercatat $5,5 \times 10^4 A^2 \cdot s$.

Verifikasi hubungan:

$$E_{loss} = R_{int} \times \int_0^T I_{bat}^2 dt = 0,3 \times 55.000 = 16.500 J \quad (L.43)$$

Catatan: Nilai 65.779,2 J dari Fig-6 menggunakan perhitungan P_{loss} langsung (bukan dari metric $\int I^2 dt$). Perbedaan ini terjadi karena Fig-6 menggunakan trapz untuk integrasi numerik atas $I^2 \times R$ secara kontinu, yang lebih akurat.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta:

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

Lampiran F.2 – Profil Siklus Berkendara

Tabel L.24 Segmen Profil Siklus Berkendara 80 Detik

Segmen	Waktu (s)	Durasi (s)	Kecepatan Awal (km/h)	Kecepatan Akhir (km/h)	Akselerasi (m/s ²)
1. Idle awal	0 - 10	10	0	0	0
2. Akselerasi	10 - 37	27	0	90	+0,92
3. Cruising	37 - 50	13	90	90	0
4. Deselerasi	50 - 73	23	90	0	-1,11
5. Idle akhir	73-80	7	0	0	0

Lampiran F.3 – Ringkasan Nilai Kunci Simulasi

Tabel L.25 Ringkasan Numerik Hasil Simulasi HESS (SOC UC Awal ~25%)

Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
Arus puncak baterai	192	A	Fig-6 subplot 1
Tegangan terminal minimum baterai	242	V	Fig-6 subplot 2
Daya puncak baterai	~46	kW	Fig-6 subplot 3
Rugi resistif puncak	10.830	W	Perhitungan L.24
Total rugi resisitif kumulatif	65.779	J	Fig-6 subplot 4
Total rugi resisitif kumulatif	18	Wh	Konversi
Akumulasi $\int I_{bat}^2 dt$	$5,5 \times 10^4$	A ² ·s	Fig-3 subplot 3
Daya mekanik puncak	~40,2	kW	Fig-8 subplot 4



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Daya elektrik puncak	~48	kW	Perhitungan L.18
Gaya aerodinamis maks (90 km/h)	294,9	N	Fig-11 subplot 1
Gaya rolling konstan	153	N	Fig-11 subplot 1
Gaya inersia maks (akselerasi)	1.204	N	Fig-11 subplot 2
Gaya inersia maks (deselerasi)	-1.444	N	Fig-11 subplot 2
Fitness PSO (gbest, iterasi 30)	$\sim 1,0 \times 10^5$	-	Fig-2

Lampiran G: Daftar File MATLAB/Simulink

Tabel L.26 Inventaris File Proyek

No.	Nama File	Tipe	Fungsi
1	PSO4FLCdemo_run_me.m	Script utama	Menjalankan optimasi PSO-FLC
2	Init_swarm.m	Script	Inisialisasi posisi dan kecepatan partikel
3	sim_demo.m	Function	Evaluasi fitness per partikel (60 skenario)
4	run_sim.m	Script	Menjalankan simulasi Simulink
5	updateswarm.m	Script	Update gbest, kecepatan, posisi partikel
6	writeweights.m	Script	Pemetaan 24 parameter PSO → 56 bobot FLC
7	visu_PSO.m	Script	Visualisasi 14 figur diagnostik
8	FLC_HESS.fis	FIS file	Definisi FLC Sugeno (4 input, 2 output, 61 rules)

9	FLC4EVPSOdemo.slx	Simulink	Model utama (HESS + EV + FLC)
---	-------------------	----------	-------------------------------



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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





Hak Cipta :

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

GLOSARIUM

Sistem Manajemen Energi Hibrida Baterai-Superkapasitor untuk Kendaraan Listrik Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy Teroptimasi *Particle Swarm Optimization*

BAGIAN I: GLOSARIUM

A – Istilah Berawalan Huruf A

Agregasi (*Aggregation*)

Proses penggabungan hasil dari semua aturan fuzzy yang telah dievaluasi menjadi satu himpunan fuzzy keluaran tunggal sebelum dilakukan defuzifikasi. Pada penelitian ini, metode agregasi yang digunakan adalah *sum* (penjumlahan).

Akselerasi (*Acceleration*)

Percepatan suatu kendaraan, yaitu laju perubahan kecepatan terhadap waktu ($a = dv / dt$). Dalam konteks penelitian ini, akselerasi menyebabkan kebutuhan daya puncak (*peak power demand*) yang tinggi pada kendaraan listrik.

Aktuator (*Actuator*)

Perangkat keras yang menerima sinyal kontrol dari kontroler dan melakukan aksi fisik pada sistem. Pada penelitian ini, aktuator berupa konverter DC-DC yang mengatur aliran daya berdasarkan sinyal PWM dari kontroler.

Algoritma Metaheuristik (*Metaheuristic Algorithm*)

Kelas algoritma optimasi yang terinspirasi dari fenomena alam, dirancang untuk menyelesaikan masalah optimasi kompleks tanpa memerlukan informasi gradien. Contoh: PSO, *Genetic Algorithm*, *Simulated Annealing*.

Arus Efektif – Lihat RMS (Root-Mean-Square)

B – Istilah Berawalan Huruf B

Baterai (*Battery*)

Perangkat penyimpanan energi elektrokimia yang mengkonversi energi kimia menjadi energi listrik melalui reaksi redoks pada anoda dan katoda. Dalam



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

penelitian ini, digunakan baterai Lithium-Ion (Li-Ion) sebagai sumber energi utama pada sistem HESS.

Baterai Lithium-Ion (*Lithium-Ion Battery / Li-Ion*)

Jenis baterai isi ulang (*rechargeable*) yang menggunakan ion lithium sebagai pembawa muatan antara anoda (grafit) dan katoda (oksida logam). Memiliki kepadatan energi tinggi (~150 Wh/kg), bobot ringan, dan massa pakai panjang dibandingkan jenis baterai lainnya.

Bidirectional DC-DC Converter – *Lihat Konverter Buck-Boost*

BJT Daya (*Power BJT – Bipolar Junction Transistor*)

Komponen semikonduktor daya yang berfungsi sebagai sakelar elektronik dalam rangkaian konverter DC-DC, namun pada konverter modern lebih umum digantikan oleh MOSFET atau IGBT.

Boost Converter – *Lihat Konverter Boost*

Boundary Handling

Mekanisme dalam algoritma PSO yang memastikan posisi partikel tetap berada dalam batas atas dan batas bawah ruang pencarian yang telah ditentukan. Pada penelitian ini, flag bound digunakan per partikel per dimensi.

Buck Converter – *Lihat Konverter Buck*

Bus DC (*DC Bus / DC-Link*)

Jalur distribusi daya arus searah (DC) yang menghubungkan sumber-sumber energi (baterai dan superkapasitor melalui konverter DC-DC) dengan beban (inverter + motor). Tegangan referensi DC-link pada model Simulink adalah 600 V.

C – Istilah Berawalan Huruf C

CAES (*Compressed Air Energy Storage*)

Teknologi penyimpanan energi menggunakan udara bertekanan. Termasuk dalam klasifikasi ESS pada kurva Ragone, namun tidak digunakan dalam penelitian ini.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Charging (*Pengisian*)

Proses pengisian energi ke dalam perangkat penyimpanan energi (baterai atau superkapasitor). Pada mode charging, arus mengalir dari bus DC ke ESS melalui konverter dalam mode buck.

Constriction Coefficient (κ)

Faktor pengali dalam algoritma PSO yang dikembangkan oleh Clerc & Kennedy (2002) untuk menjamin konvergensi swarm. Nilai $\kappa = 0,7298$ dihitung dari koefisien akselerasi $c_1 = c_2 = 2,05$.

Crisp Value

Nilai tegas/pasti (bukan fuzzy) yang merupakan input numerik sebelum proses fuzzifikasi atau output numerik setelah proses defuzzifikasi.

CSI (*Current Source Inverter*)

Jenis inverter yang menggunakan sumber arus sebagai input. Berbeda dengan VSI yang menggunakan sumber tegangan.

D – Istilah Berawalan Huruf D

DC-Link – *Lihat Bus DC*

Defuzzifikasi (*Defuzzification*)

Tahapan terakhir pada kontroler logika fuzzy yang mengkonversi himpunan fuzzy keluaran menjadi nilai pasti (*crisp*). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Weighted Sum* (wtsum) karena FLC bertipe Sugeno.

Degradasi Baterai (*Battery Degradation*)

Penurunan kapasitas dan kinerja baterai secara progresif akibat siklus pengisian-pengosongan berulang, terutama pada kondisi arus tinggi. Nilai IRMS yang lebih rendah mengindikasikan degradasi yang lebih lambat.

Derajat Keanggotaan (*Degree of Membership / μ*)

Nilai antara 0 dan 1 yang menyatakan sejauh mana sesuatu elemen termasuk dalam suatu himpunan fuzzy. Nilai 0 berarti bukan anggota, 1 berarti anggota penuh.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Dielektrik (*Dielectric*)

Material isolator yang ditempatkan di antara dua plat konduktor pada kapasitor/superkapasitor, berfungsi untuk memisahkan muatan listrik positif dan negatif.

Discharging (*Pengosongan*)

Proses pelepasan energi dari perangkat penyimpanan energi ke beban. Pada mode discharging, arus mengalir dari ESS melalui konverter dalam mode boost menuju bus DC.

Diversitas Swarm (*Swarm Diversity*)

Ukuran penyebaran posisi partikel-partikel dalam ruang pencarian PSO. Jika diversitas turun di bawah batas minimum (0,1 pada penelitian ini), mode pencarian berubah menjadi repulsif untuk menghindari konvergensi prematur.

Domain Himpunan Fuzzy

Keseluruhan nilai yang diijinkan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan fuzzy, merupakan subset dari semesta pembicaraan.

Drivetrain

Sistem transmisi daya pada kendaraan listrik, mencakup seluruh komponen dari sumber energi hingga roda penggerak, termasuk konverter, inverter, motor, dan transmisi mekanik. Efisiensi drivetrain pada model ini: $\eta = 0,85$.

Duty Cycle (*Rasio Tugas / D*)

Rasio antara durasi sakelar dalam kondisi ON terhadap total periode switching ($D = T_{ON} / T$). menentukan besaran tegangan output pada konverter DC-DC.

E – Istilah Berawalan Huruf E

Elektrolit (*Electrolyte*)

Larutan atau material yang berfungsi sebagai media penghantar ion dalam baterai (antara anoda dan katoda) atau superkapasitor (antara elektroda).



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Elektroda (*Electrode*)

Konduktor yang digunakan untuk membuat kontak listrik dengan bagian non-logam suatu rangkaian. Pada superkapasitor, elektroda berpori digunakan untuk memperbesar luas permukaan kontak.

Energi Spesifik (*Specific Energi / Wh/kg*)

Jumlah energi yang dapat disimpan per satuan massa. Baterai Li-Ion memiliki energi spesifik ~150 Wh/kg, jauh lebih tinggi dibanding superkapasitor.

EMS (*Energy Management System / Sistem Manajemen Energi*)

Strategi kendali yang mengatur distribusi dan aliran daya antara berbagai sumber energi dalam suatu sistem hibrida. Pada penelitian ini, EMS berbasis FLC mengatur pembagian daya antara baterai dan superkapasitor.

ESS (*Energy Storage System / Sistem Penyimpanan Energi*)

Sistem yang menyimpan energi listrik dalam berbagai bentuk (kimia, elektrostatik, mekanik) untuk digunakan kemudian. Contoh: baterai, superkapasitor, flywheel, SMES.

EV (*Electric Vehicle / Kendaraan Listrik*)

Kendaraan yang menggunakan motor listrik sebagai penggerak utama, dengan energi disimpan dalam ESS. Terdiri dari sistem sumber energi, penggerak motor (*motor driver*), dan motor penggerak.

F – Istilah Berawalan Huruf F

Firing Strength (*Kekuatan Penyalan / α_i*)

Derajat aktivasi suatu aturan fuzzy, dihitung dari operasi AND/OR terhadap derajat keanggotaan input. Pada FLC Sugeno penelitian ini, metode AND menggunakan operasi *product* (perkalian).

FIS (*Fuzzy Interface System / Sistem Inferensi Fuzzy*)

Kerangka komputasi berbasis teori himpunan fuzzy yang memetakan input ke output menggunakan aturan IF-THEN. File FIS pada penelitian ini: FLC_HESS.fis.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Fitness

Nilai numerik yang merepresentasikan kualitas suatu solusi kandidat dalam algoritma optimasi. Pada penelitian ini, $\text{fitness} = \Sigma \int I_{bat}^2 dt + 20 \times \text{PenFcn}$. Nilai fitness lebih kecil berarti solusi lebih baik.

FLC (*Fuzzy Logic Controller / Kontroler Logika Fuzzy*)

Sistem kontrol berbasis logika fuzzy yang menggunakan aturan IF-THEN linguistik untuk menghasilkan aksi kendali. Mampu menangani ketidakpastian dan non-linearitas tanpa memerlukan model matematis eksplisit.

Flywheel

Perangkat penyimpanan energi mekanik yang menyimpan energi dalam bentuk energi kinetik rotasi. Termasuk dalam klasifikasi ESS pada kurva Ragone.

Forward-Biased

Kondisi dimana dioda dialiri arus searah dari anoda ke katoda, memungkinkan arus mengalir melalui dioda. Terjadi pada dioda konverter saat sakelar dalam kondisi OFF.

Fuzzifikasi (*Fuzzification*)

Proses pertama dalam FLC yang mengkonversi input numerik (*crisp*) menjadi derajat keanggotaan dalam himpunan-himpunan fuzzy berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan.

Fungsi Keanggotaan (*Membership Function / MF*)

Fungsi matematika yang mendefinisikan derajat keanggotaan suatu elemen terhadap himpunan fuzzy. Tipe MF yang digunakan: segitiga (*trimf*) dan trapesium (*trapmf*).

Fungsi Penalti (*Penalty Function / PenFcn*)

Komponen tambahan pada fungsi fitness PSO yang memberikan penalti (nilai tinggi) jika bobot aturan FLC melanggar kendala monotonisitas. Memastikan konsistensi fisik solusi.



Hak Cipta :

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

G – Istilah Berawalan Huruf G

Gaussian MF

Jenis fungsi keanggotaan berbentuk kurva lonceng Gaussian. Tidak digunakan dalam penelitian ini, tetapi merupakan salah satu tipe MF yang umum.

gbest (*Global Best*)

Posisi terbaik yang pernah ditemukan oleh seluruh swarm dalam algoritma PSO. Digunakan sebagai acuan arah pencarian global bagi semua partikel.

H – Istilah Berawalan Huruf H

HESS (*Hybrid Energy Storage System / Sistem Penyimpanan Energi Hibrida*)

Sistem yang menggunakan dua atau lebih jenis ESS dengan karakteristik komplementer untuk mengoptimalkan kinerja keseluruhan. Pada penelitian ini, HESS terdiri dari baterai Li-Ion (*high energy density*) dan superkapasitor (*high power density*).

Himpunan Fuzzy (*Fuzzy Set*)

Himpunan yang anggotanya memiliki derajat keanggotaan kontinu antara 0 dan 1, berbeda dengan himpunan klasik (*crisp set*) yang hanya memiliki dua nilai keanggotaan (0 atau 1).

HWFET (*Highway Fuel Economy Test*)

Siklus uji berkendara standar yang merepresentasikan kondisi berkendara di jalan tol/highway. Digunakan sebagai referensi oleh peneliti terdahulu untuk pengujian EMS.

I – Istilah Berawalan Huruf I

IGBT (*Insulated-Gate Bipolar Transistor*)

Komponen semikonduktor daya yang menggabungkan kelebihan MOSFET (kecepatan switching tinggi) dan BJT (kemampuan arus besar), umum digunakan pada konverter daya dan inverter.



Hak Cipta :

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

Implikasi (*Implication*)

Proses dalam evaluasi aturan fuzzy yang menerapkan derajat kebenaran anteseden (*firing strength*) pada konsekuen aturan. Metode implikasi pada penelitian ini: *product*.

Induktor (*Inductor / L*)

Komponen pasif yang menyimpan energi dalam medan magnetnya saat dialiri arus listrik. Pada konverter DC-DC, induktor berfungsi sebagai filter arus dan elemen penyimpan energi sementara.

Inferensi Fuzzy (*Fuzzy Inference*)

Proses penalaran berbasis aturan fuzzy yang memetakan input fuzzy ke output fuzzy menggunakan basis pengetahuan (*knowledge base*) dan basis aturan (*rule base*).

Integral

Operasi kalkulus yang menjumlahkan besaran infinitesimal atas suatu interval. Dalam penelitian ini, integral $\int I_{bat}^2 dt$ digunakan untuk menghitung rugi-rugi kumulatif dan fungsi fitness PSO.

Inverter Tiga Fase (*Three-Phase Inverter*)

Perangkat elektronika daya yang mengkonversi tegangan DC menjadi tegangan AC tiga fase untuk menggerakkan motor AC (PMSM). Terdiri dari 6 sakelar (3 kaki $\times$ 2 sakelar per kaki).

IRMS – *Lihat RMS*

K – Istilah Berawalan Huruf K

Kapasitansi (*Capacitance / C*)

Kemampuan komponen untuk menyimpan muatan listrik, diukur dalam satuan Farad (F). Superkapasitor pada penelitian ini memiliki kapasitansi 3,44 F (model Simulink).



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Kerapatan Daya (*Power Density / W/kg*)

Jumlah daya yang dapat dilepaskan atau diserap per satuan massa. Superkapasitor memiliki kerapatan daya sangat tinggi dibandingkan baterai.

Kerapatan Energi (*Energy Density / W/kg*)

Jumlah energi yang dapat disimpan per satuan massa. Baterai Li-Ion memiliki kerapatan energi jauh lebih tinggi dibanding superkapasitor.

Konservatif Energi, Hukum (*Conservation of Energy*)

Prinsip fisika yang menyatakan daya beban harus sama dengan total daya yang dipasok sumber: $P_{dem} = P_{bat} + P_{sc}$.

Konverter Buck (*Buck Converter / Step-Down Converter*)

Konverter DC-DC yang menurunkan tegangan input ke tegangan output yang lebih rendah. Hubungan: $V_o = V_{in} \times D$. Digunakan saat DC bus > tegangan ESS (mode charging).

Konverter Boost (*Boost Converter / Step-Up Converter*)

Konverter DC-DC yang menaikkan tegangan input ke tegangan output yang lebih tinggi. Hubungan: $V_o = V_{in} / (1 - D)$. Digunakan saat ESS men-supply daya ke DC bus (mode discharging).

Konverter Buck-Boost (*Buck-Boost Converter / Bidirectional DC-DC Converter*)

Konverter DC-DC yang dapat menaikkan maupun menurunkan tegangan di kedua arah aliran daya. Digunakan pada ESS yang memerlukan operasi charging dan discharging.

Konverter DC-DC (*DC-DC Converter / DC-Chopper*)

Perangkat elektronika daya yang mengubah level tegangan DC dari satu tingkat ke tingkat lainnya. Komponen utama: sakelar semikonduktor, induktor, kapasitor, dioda.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

Konvergensi (*Convergence*)

Kondisi di mana algoritma optimasi secara bertahap mendekati solusi optimal. Pada PSO, konvergensi ditunjukkan oleh grafik penurunan nilai fitness terhadap iterasi.

Kurva Ragone (*Ragone Plot / Kurva E-P*)

Diagram yang membandingkan energi spesifik (*specific energy*) vs daya spesifik (*specific power*) dari berbagai teknologi penyimpanan energi. Digunakan untuk mengklasifikasikan dan membandingkan ESS.

L – Istilah Berawalan Huruf L

Lead-Acid (*Timbal-Asam*)

Jenis baterai yang menggunakan elektroda timbal dan elektrolit asam sulfat. Memiliki keandalan baik namun masa pakai terbatas dan tidak ramah lingkungan.

Li-Ion – *Lihat Baterai Lithium-Ion*

Li-Po (*Lithium-Polymer*)

Jenis baterai lithium yang menggunakan elektrolit polimer. Lebih ringan dan fleksibel dalam bentuk, namun memiliki risiko kebakaran lebih tinggi dan siklus hidup lebih pendek.

Logika Boolean (*Boolean Logic*)

Sistem logika klasik dengan hanya dua nilai kebenaran: benar (1) dan salah (0). Logika fuzzy merupakan perluasan dari logika boolean.

Logika Fuzzy (*Fuzzy Logic*)

Cabang dari logika yang menangani konsep kebenaran parsial (derajat kebenaran antara 0 dan 1), dikembangkan oleh Lotfi Zadeh (1965). Mampu merepresentasikan penalaran manusia yang tidak pasti.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

M – Istilah Berawalan Huruf M

Masa Pakai Baterai (*Battery Cycle Life*)

Jumlah siklus pengisian-pengosongan yang dapat dilakukan baterai sebelum kapasitasnya menurun di bawah ambang batas tertentu (biasanya 80% kapasitas awal).

MATLAB (*Matrix Laboratory*)

Perangkat lunak komputasi numerik dan lingkungan pemrograman yang dikembangkan oleh MathWorks, digunakan untuk pemodelan, simulasi, dan analisis data dalam penelitian ini.

Membership Function – *Lihat Fungsi Keanggotaan*

Mode Repulsif (*Repulsive Mode*)

Mode pencarian pada PSO di mana partikel-partikel didorong menjauhi satu sama lain ketika diversitas swarm turun di bawah batas minimum. Mencegah konvergensi prematur.

Monotonisitas (*Monotonicity*)

Sifat fungsi yang senantiasa naik atau turun. Pada penelitian ini, monotonisitas bobot FLC dijaga melalui fungsi penalti agar bobot meningkat seiring dengan kenaikan kecepatan dan energi UC.

MOSFET (*Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor*)

Komponen semikonduktor daya yang berfungsi sebagai sakelar elektronik cepat pada konverter DC-DC. Memiliki kecepatan switching tinggi dan rugi-rugi konduksi rendah.

Motor Sinkron Magnet Permanen – *Lihat PMSM*

N – Istilah Berawalan Huruf N

Ni-MH (*Nickel-Metal Hydride*)

Jenis baterai isi ulang yang menggunakan nikel hidroksida dan paduan logam penyerap hydrogen. Ramah lingkungan namun membutuhkan algoritma pengisian daya yang kompleks.



Hak Cipta :

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

Nonlinear (*Non-Linear*)

Sifat sistem yang responnya tidak berbanding lurus dengan inputnya. Sistem HESS dan dinamika kendaraan listrik bersifat nonlinear, menjadi alasan penggunaan FLC.

O – Istilah Berawalan Huruf O

OCV (*Open Circuit Voltage / Tegangan Rangkaian Terbuka*)

Tegangan terminal baterai saat tidak ada arus yang mengalir (kondisi tanpa beban). Pada model Simulink: $V_{OCV} = 300 \text{ V}$.

Optimasi (*Optimization*)

Proses menemukan nilai parameter terbaik yang memaksimalkan atau meminimalkan suatu fungsi tujuan. PSO digunakan untuk mengoptimasi 24 parameter bobot FLC.

P – Istilah Berawalan Huruf P

Partikel (*Particle*)

Entitas pencarian dalam algoritma PSO yang merepresentasikan satu solusi kandidat. Setiap partikel memiliki posisi, kecepatan, dan memori personal best.

pbest (*Personal Best*)

Posisi terbaik yang pernah dikunjungi oleh satu partikel tertentu sepanjang proses optimasi PSO.

Pdem (*Power Demand / Permintaan Daya*)

Total daya listrik yang diminta oleh beban (motor + drivetrain) pada suatu waktu tertentu. Harus dipenuhi oleh kombinasi daya dari baterai dan superkapasitor.

Pengereman Regeneratif (*Regenerative Braking*)

Mekanisme di mana energi kinetik kendaraan saat pengereman dikonversi kembali menjadi energi listrik dan disimpan ke dalam HESS, meningkatkan efisiensi energi secara keseluruhan.



Hak Cipta :

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

PI Controller (*Proportional-Integral Controller*)

Pengendali loop tertutup yang menggunakan komponen proporsional (P) dan integral (I) untuk mengoreksi sinyal error. Pada penelitian ini, PI mengatur arus konverter DC-DC.

PMSM (*Permanent Magnet Synchronous Motor / Motor Sinkron Magnet Permanen*)

Jenis motor AC sinkron yang menggunakan magnet permanen pada rotor. Memiliki efisiensi tinggi, kepadatan daya besar, dan respons dinamis cepat, ideal untuk kendaraan listrik.

PSO (*Particle Swarm Optimization*)

Algoritma optimasi metaheuristik yang terinspirasi dari perilaku kawanan burung/ikan (Kennedy & Eberhart, 1995). Setiap partikel dalam swarm mewakili solusi kandidat dan bergerak berdasarkan pengalaman pribadi dan pengalaman kolektif.

PWM (*Pulse Width Modulation / Modulasi Lebar Pulsa*)

Teknik modulasi sinyal digital yang mengatur lebar pulsa ON/OFF untuk mengendalikan daya rata-rata yang dikirim ke beban. Digunakan untuk mengontrol sakelar pada konverter DC-DC dan inverter.

R – Istilah Berawalan Huruf R

Ragone Plot – *Lihat Kurva Ragone*

Resistansi Internal (*Internal Resistance / R_{int}*)

Resistansi di dalam komponen ESS yang menyebabkan jatuh tegangan dan rugi-rugi daya. Baterai: $R_{int} = 0,3 \, \Omega$; Superkapasitor: $R_{int} = 0,1 \, \Omega$.

Reverse-Biased

Kondisi di mana dioda dialiri tegangan yang berlawanan dengan arah forward, sehingga arus tidak dapat mengalir. Terjadi pada dioda konverter saat sakelar dalam kondisi ON.



Hak Cipta :

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

Riak Arus (*Current Ripple / ΔI_L*)

Fluktuasi arus pada induktor antara nilai maksimum dan minimum selama satu siklus switching. Ditentukan oleh induktansi, tegangan, dan frekuensi switching.

Riak Tegangan (*Voltage Ripple / ΔV_r*)

Fluktuasi tegangan keluaran konverter DC-DC antara nilai maksimum dan minimum. Diminimalkan oleh kapasitor filter.

RMS (*Root-Mean-Square / Nilai Efektif*)

Nilai efektif dari besaran yang bervariasi terhadap waktu, dihitung sebagai akar kuadrat dari rata-rata kuadrat besaran tersebut: $I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}$. Digunakan sebagai indikator degradasi baterai.

Rule Base (*Basis Aturan*)

Kumpulan aturan IF-THEN yang mendefinisikan hubungan antara input dan output pada FLC. Penelitian ini menggunakan 61 aturan fuzzy.

S – Istilah Berawalan Huruf S

Sakelar Semikonduktor (*Semiconductor Switch*)

Komponen elektronika yang berfungsi sebagai sakelar ON/OFF pada frekuensi tinggi. Termasuk MOSFET, IGBT, dan BJT daya.

SC – Lihat Superkapasitor

Semesta Pembicaraan (*Universe of Discourse*)

Keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel fuzzy, berupa himpunan bilangan real yang monoton naik.

Separator

Material pemisah antara dua elektroda pada baterai atau superkapasitor yang mencegah hubung-singkat tetapi memperbolehkan aliran ion.



Hak Cipta :

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

Simulink

Lingkungan simulasi grafis berbasis blok diagram yang terintegrasi dengan MATLAB, digunakan untuk memodelkan dan mensimulasikan sistem dinamis multidomain.

SOC (State of Charge / Keadaan Muatan)

Persentase kapasitas energi yang tersisa dalam ESS relative terhadap kapasitas penuhnya. Untuk superkapasitor: $SOC_{UC} = (V_{UC}/V_{max})^2 \times 100\%$.

Steady State (Keadaan Tunak)

Kondisi di mana variabel-variabel sistem (arus, tegangan) tidak lagi berubah terhadap waktu dan telah mencapai keseimbangan.

Step-Down – Lihat Konverter Buck

Step-Up – Lihat Konverter Boost

Sugeno (Tipe Sugeno / Takagi-Sugeno-Kang)

Tipe FIS di mana konsekuen aturan berupa fungsi linear atau konstanta dari input, berbeda dengan tipe Mamdani yang menggunakan himpunan fuzzy. Digunakan pada penelitian ini karena efisiensi komputasi yang lebih tinggi dan kompatibilitas dengan metode optimasi.

Superkapasitor (Supercapacitor / Ultracapacitor / UC)

Perangkat penyimpanan energi elektrostatis dengan kapasitansi sangat besar (orde Farad) yang mampu menyerap dan melepaskan daya tinggi dalam waktu singkat. Tidak melibatkan reaksi kimia. Spesifikasi: $C = 3,44 \text{ F}$, $V_{max} = 486 \text{ V}$, $E = 112 \text{ Wh}$.

Swarm (Kawanan)

Populasi partikel dalam algoritma PSO yang secara kolektif menjelajahi ruang pencarian. Ukuran swarm pada penelitian ini: 16 partikel.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

T – Istilah Berawalan Huruf T

Thyristor

Komponen semikonduktor daya empat lapis (PNPN) yang berfungsi sebagai sakelar terkendali. Merupakan salah satu jenis sakelar pada konverter DC-DC tradisional.

Transfer Function (*Fungsi Alih*)

Representasi matematis dalam domain frekuensi (Laplace) dari hubungan input-output suatu sistem linear. Filter daya baterai: $\frac{1000}{0,001s+1}$.

Trapezium MF (*Trapezoidal Membership Function / trapmf*)

Fungsi keanggotaan berbentuk trapesium, didefinisikan oleh empat parameter [a, b, c, d]. Digunakan pada beberapa input FLC (Pload: VH, Ucap²: Over, Ucap²: Under).

trimf (*Triangular Membership Function*)

Fungsi keanggotaan berbentuk segitiga, didefinisikan oleh tiga parameter [a, b, c]. Tipe MF yang paling banyak digunakan pada FLC dalam penelitian ini.

U – Istilah Berawalan Huruf U

UC – *Lihat Superkapasitor*

Uerr (*DC-Link Voltage Error / Error Tegangan DC-Link*)

Selisih antara tegangan referensi DC-link (600 V) dengan tegangan actual DC-link. Merupakan Input 1 dari FLC, range [-20, 20] V.

Undervoltage

Kondisi di mana tegangan superkapasitor turun di bawah batas minimum operasi. Saat undervoltage, FLC mengaktifkan aturan charging UC dari baterai (Aturan 5 dan Kelompok 2).



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

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

V – Istilah Berawalan Huruf V

Variabel Fuzzy (*Fuzzy Variable*)

Variabel yang hendak dibahas dalam suatu sistem fuzzy dan memiliki himpunan fuzzy sebagai nilainya.

VSI (*Voltage Source Inverter / Inverter Sumber Tegangan*)

Jenis inverter yang menggunakan sumber tegangan DC sebagai input untuk menghasilkan tegangan AC terkontrol. Digunakan pada sistem penggerak motor PMSM dalam penelitian ini.

W – Istilah Berawalan Huruf W

Wighted Sum (*Penjumlahan Berbobot / wtsum*)

Metode defuzifikasi pada FIS tipe Sugeno yang menghitung output sebagai rata-rata berbobot dari semua output aturan, di mana bobot adalah *firing strength* $\times$ *rule weight*.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**