



© 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



**STUDI KOMPARASI METODE *COULOMB COUNTING*
DAN *EXTENDED KALMAN FILTER* (EKF) UNTUK
ESTIMASI *STATE OF CHARGE* (SOC) DAN *STATE OF*
HEALTH (SOH) PADA BATERAI LITHIUM-ION 60 V**

23 Ah

SKRIPSI

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Oleh :

**Ahmad Rahil Pahlevi
NIM. 2202431033**

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



**STUDI KOMPARASI METODE *COULOMB COUNTING*
DAN *EXTENDED KALMAN FILTER* (EKF) UNTUK
ESTIMASI *STATE OF CHARGE* (SOC) DAN *STATE OF*
HEALTH (SOH) PADA BATERAI LITHIUM-ION 60 V
23 Ah**

SKRIPSI

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Pendidikan
Sarjana Terapan Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi Jurusan

Teknik Mesin

Oleh:

AHMAD RAHIL PAHLEVI

NIM. 2202431033

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

LEMBAR PERSEMBAHAN



“Skripsi ini kupersembahkan untuk Ayah, Bunda, Almamater dan diriku di masa
lalu juga di masa mendatang”

HALAMAN PERSETUJUAN

SKRIPSI

STUDI KOMPARASI METODE *COULOMB COUNTING* DAN
EXTENDED KALMAN FILTER (EKF) UNTUK ESTIMASI *STATE OF*
CHARGE (SOC) DAN *STATE OF HEALTH* (SOH) PADA BATERAI
LITHIUM-ION 60 V 23 Ah

Oleh:

Ahmad Rahil Pahlevi

NIM. 2202431033

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

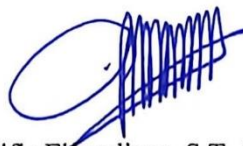


Dr., Candra Damis Widiawati., S.T.P., M.T.

NIP. 198201052014042001

Kepala Program Studi

Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi



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

NIP. 199107212018032001

HALAMAN PENGESAHAN
SKRIPSI

**STUDI KOMPARASI METODE *COULOMB COUNTING* DAN
EXTENDED KALMAN FILTER (EKF) UNTUK ESTIMASI *STATE OF
CHARGE (SOC)* DAN *STATE OF HEALTH (SOH)* PADA BATERAI
LITHIUM-ION 60 V 23 Ah**

Oleh:

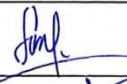
Ahmad Rahil Pahlevi

NIM. 2202431033

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan di hadapan Dewan
Penguji pada tanggal 17 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.	Dr. Sonki Prasetya, S.T., M.Sc. NIP. 197512222008121003	Ketua Sidang		27/07-2026
2.	Adi Syuriadi, S.T., M.T. NIP. 197611102008011011	Penguji 1		29/7-2026
3.	Prof. Dr. Tatun Hayatun Nufus, M.Si. NIP. 196604161995122001	Penguji 2		29/7-2026

Depok, 17 Juli 2026

Disahkan Oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin



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

NIP. 197602252000121002

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ahmad Rahil Pahlevi

NIM : 2202431033

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konversi Energi

menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Laporan Tugas Akhir (atau 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 Laporan Tugas akhir (atau skripsi) telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Bekasi, 27 Juli 2026



Ahmad Rahil Pahlevi
NIM. 2202431033



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

STUDI KOMPARASI METODE *COULOMB COUNTING* DAN *EXTENDED KALMAN FILTER* (EKF) UNTUK ESTIMASI *STATE OF CHARGE* (SOC) DAN *STATE OF HEALTH* (SOH) PADA BATERAI LITHIUM-ION 60 V 23 Ah

Ahmad Rahil Pahlevi¹⁾, Sonki Prasetya^{1,2*)}, Candra Damis Widiawati¹⁾

¹Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²Center for Conversion, Conservation and Applied Renewable Energies (CARE), Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

*E-mail: sonki.prasetya@mesin.pnj.ac.id

ABSTRAK

State of Charge (SOC) dan *State of Health* (SOH) merupakan parameter penting pada *Battery Management System* (BMS) yang berperan dalam menentukan kapasitas tersisa dan kondisi kesehatan baterai. Metode *Coulomb Counting* (CC) banyak digunakan karena sederhana, namun rentan terhadap akumulasi *error* akibat *noise* pengukuran dan ketidakakuratan kapasitas baterai. Penelitian ini bertujuan membandingkan performa metode *Coulomb Counting* (CC) dan *Extended Kalman Filter* (EKF) dalam estimasi SOC dan SOH baterai lithium-ion 60 V 23 Ah. Penelitian diawali dengan karakterisasi baterai melalui *Pulse Discharge Test* untuk memperoleh parameter *Equivalent Circuit Model* (ECM) 1-RC berupa kurva OCV-SOC, resistansi ohmik (R_0), resistansi polarisasi (R_1), dan kapasitansi polarisasi (C_1). Parameter tersebut diimplementasikan pada model MATLAB/Simulink untuk melakukan simulasi pembebanan dinamis selama 10 siklus charging–discharging (sekitar 48 jam). Validasi model ECM dilakukan menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Maximum Error Percentage* (MEP), sedangkan evaluasi estimasi SOC menggunakan RMSE dan *Maximum Absolute Error*. Analisis estimasi SOH dilakukan berdasarkan gradien *trendline* dan koefisien determinasi (R^2). Hasil penelitian menunjukkan bahwa model ECM mampu merepresentasikan karakteristik tegangan baterai dengan nilai RMSE sebesar 0,141 V dan MEP sebesar 0,797%. Pada estimasi SOC, metode EKF menghasilkan akurasi yang lebih baik dibandingkan CC karena mampu mengoreksi *error* akibat *noise* pengukuran. Sementara itu, pada estimasi SOH, EKF menunjukkan kecenderungan drift yang lebih kecil dibandingkan CC selama operasi multi-siklus, sehingga lebih sesuai untuk aplikasi estimasi kondisi baterai pada sistem BMS kendaraan listrik.

Kata Kunci: *Battery Management System*, *State of Charge*, *State of Health*, *Coulomb Counting*, *Extended Kalman Filter*, *Equivalent Circuit Model*.



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 karunianya-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Studi Komparasi Metode *Coulomb Counting* Dan *Extended Kalman Filter* (EKF) Untuk Estimasi *State of Charge* (SOC) Dan *State of Health* (SOH) Pada Baterai Lithium-Ion 60 V 23 Ah”. 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 terimakasih yang tiada terhingga kepada:

1. Bapak Dr. Sonki Prasetya, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini
2. Ibu Dr., Candra Damis Widiawati, S.T.P., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dalam penyelesaian skripsi ini
3. Ibu Arifia Ekayuliana, M.T. selaku Kepala Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta yang telah memberikan bantuan dalam mengarahkan dalam pelaksanaan skripsi ini
4. Kedua orang tua yang telah memberikan doa kepada penulis sehingga skripsi ini dapat diselesaikan
5. Rekan-rekan Program Studi Teknologi Rekayasa Konversi Energi yang telah membantu dan memberikan dukungan dalam proses penyelesaian skripsi.

Penulis berharap semoga skripsi ini bermanfaat bagi semua pihak terutama pada bidang energi.

Bogor, 27 Juli 2026


Ahmad Rahil Pahlevi
NIM. 2202431033



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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
ABSTRAK	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Penelitian	1
1.2 Rumusan Masalah Penelitian	3
1.3 Batasan Masalah Penelitian	4
1.4 Pertanyaan Penelitian	4
1.5 Tujuan Penelitian	5
1.5.1 Tujuan Umum	5
1.5.2 Tujuan Khusus	5
1.6 Manfaat Penelitian	5
1.7 Sistematika Penulisan Skripsi	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	7
2.1 Landasan Teori	7
2.1.1 Baterai	7
2.1.2 Pemodelan Sirkuit Ekuivalen Baterai (ECM 1-RC)	11
2.1.3 <i>Coulomb Counting</i> (CC)	13



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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.1.4 <i>Extended Kalman Filter</i> (EKF)	15
2.1.5 Estimasi SOH Berbasis Hambatan Dalam.....	19
2.2 Kajian Literatur	21
2.3 Kajian Sistem	24
2.3.1 Perangkat Keras Akuisisi Data Baterai.....	24
2.3.2 Perangkat Lunak Komputasi dan Simulasi.....	28
2.4 Kerangka Pemikiran.....	31
BAB III METODE PENELITIAN.....	33
3.1 Jenis Penelitian.....	33
3.2 Identifikasi Masalah	35
3.3 Studi Literatur.....	36
3.4 Objek dan Lokasi Penelitian.....	37
3.4.1 Alat dan Bahan.....	39
3.5 Metode Pengambilan Sampel.....	41
3.6 Jenis dan Sumber Data.....	41
3.6.1 Jenis Data.....	41
3.6.2 Sumber Data	42
3.7 Metode Pengumpulan Data	42
3.7.1 Skema Pengujian dan Sistem Akuisisi Data	42
3.7.2 Prosedur Eksperimen fisik (<i>Pulse Discharge Test</i>)	44
3.7.3 Prosedur Eksperimen Digital.....	45
3.8 Pemodelan Simulink Baterai dan Estimator Simulink	45
3.8.1 Overview Sistem.....	45
3.8.2 Sub sistem profil arus (<i>current profile</i>)	47



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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.8.3 Blok Perancangan Sistem Estimasi	47
3.8.4 Blok Estimator Kesehatan Baterai (<i>SOH Estimator</i>).....	51
3.9 Metode Analisis Data	52
3.9.1 Evaluasi Validasi Pemodelan Sirkuit Ekuivalen (ECM-1RC).....	53
3.9.2 Analisis Akurasi Penjejukan <i>State of Charge</i> (SOC)	54
3.9.3 Analisis Stabilitas Estimasi <i>State of Health</i> (SOH)	55
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	56
4.1 Karakterisasi Baterai dan Validasi Model ECM 1-RC	56
4.1.1 Karakterisasi Eksperimen dan Ekstraksi Parameter ECM 1-RC	56
4.1.2 Validasi Tegangan Terminal pada Fase Pengisian (<i>Charging</i>)	63
4.1.3 Penalaan Parameter Matriks Kovariansi Algoritma EKF	65
4.2 Hasil Estimasi dan Analisis Komparasi <i>State of Charge</i> (SOC)	66
4.2.1 Profil Pembebanan Dinamis dan Respons Tegangan Terminal	66
4.2.2 Perbandingan Penjejukan SOC Metode CC dan EKF	67
4.2.3 Evaluasi <i>Error</i> Estimasi SOC	69
4.3 Hasil Estimasi dan Analisis <i>State of Health</i> (SOH)	72
4.3.1 Dinamika Resistansi Internal sebagai Dasar Estimasi SOH.....	72
4.3.2 Analisis Stabilitas Estimasi SOH Metode CC dan EKF	73
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	75
5.1 Kesimpulan.....	75
5.2 Saran	75
DAFTAR PUSTAKA.....	77
LAMPIRAN.....	82



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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Lithium-Ion Battery.....	8
Gambar 2. 2 Sirkuit Ekuivalen Baterai Model Thevenin Orde 1	11
Gambar 2. 3 Modul Mikrokontroler ESP32.....	24
Gambar 2. 4 Modul ADS1115.....	25
Gambar 2. 5 Rangkaian Voltage Divider	26
Gambar 2. 6 Resistor Shunt 100A/75mV	27
Gambar 2. 7 Antarmuka Ruang Kerja dan Editor Skrip pada MATLAB	29
Gambar 2. 8 Antarmuka Lingkungan Pemrograman Grafis Berbasis Diagram Blok pada Simulink	30
Gambar 2. 9 Data Inspector Simulink.....	30
Gambar 2. 10 Diagram Blok Kerangka Pemikiran	31
Gambar 3. 1 Diagram Penelitian.....	34
Gambar 3. 2 Perilaku Estimasi SOC Menggunakan <i>Coulomb Counting</i>	35
Gambar 3. 3 Baterai 60 V 23 Ah.....	37
Gambar 3. 4 Sel Baterai EVE ICR18650/26V.....	38
Gambar 3. 5 Stasiun Penukaran Kendaraan Listrik Umum (SPBKLU) PNJ	39
Gambar 3. 6 Skema pengumpulan data eksperimen fase <i>charging</i>	43
Gambar 3. 7 Skema pengumpulan data eksperimen fase <i>discharging</i>	43
Gambar 3. 8 Diagram Blok Utama (<i>Top-Level</i>) Sistem Estimasi SOH Baterai menggunakan 2 estimator	46
Gambar 3. 9 Konfigurasi Internal Blok Sub-sistem Profil Arus Output	47
Gambar 3. 10 Struktur Rangkaian Internal Metode <i>Coulomb Counting</i> Berbasis Discrete Integrator.....	48
Gambar 3. 11 Blok Operasi Internal Algoritma EKF.....	49



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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 3. 12 Blok Subsistem Estimator SOH dan Integrasi Filter Keluaran	51
Gambar 4. 1 Dokumentasi set-up pengujian fase pengisian	56
Gambar 4. 2 Grafik Profil <i>Charging</i> Baterai Hasil Pengukuran Sensor Fisik.	57
Gambar 4. 3 Dokumentasi set-up pengujian fase pengosongan	58
Gambar 4. 4 Grafik Profil <i>Discharging</i> Baterai	58
Gambar 4. 5 Profil Tegangan dan Arus Kontinu Selama <i>Pulse Discharge Test</i>	59
Gambar 4. 6 Detail Respon Transien Tegangan dan Arus Baterai (SOC 100%) ..	60
Gambar 4. 7 Karakteristik hasil ekstraksi parameter ECM 1-RC terhadap SOC .	62
Gambar 4. 9 Kurva Validasi Tegangan Terminal Baterai pada Fase Pengisian	64
Gambar 4. 10 Konfigurasi Deklarasi Parameter Algoritma EKF pada Ruang Kerja Komputasi MATLAB.....	66
Gambar 4. 11 Grafik Karakteristik Profil Arus Dinamis Acak dan Respon Tegangan Terminal Baterai.....	67
Gambar 4. 12 Profil Estimasi SOC Baterai Selama Siklus 48 Jam.	68
Gambar 4. 13 Detail Perbesaran Pelacakan Estimasi SOC pada 10 Jam Pertama	68
Gambar 4. 14 Perbandingan Fluktuasi <i>Error</i> Estimasi SOC CC dan EKF.	69
Gambar 4. 15 Profil <i>Error</i> Tegangan Terminal ($V_t\text{-error}$) pada Algoritma EKF .	71
Gambar 4. 16 Dinamika Penjejakan Resistansi Internal Selama Siklus 48 Jam...	72
Gambar 4. 17 Komparasi Hasil Estimasi SOH antara Metode CC dan EKF	73



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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Data Spesifikasi Baterai	38
Tabel 3. 2 Rincian Alat dan Bahan Penelitian	39
Tabel 3. 3 Rancangan Pengujian dan Evaluasi Data	52
Tabel 4. 1 Hasil Ekstraksi Parameter ECM 1-RC	62
Tabel 4. 2 Konfigurasi Parameter Awal <i>Extended Kalman Filter</i>	65
Tabel 4. 3 Ringkasan Parameter <i>Error</i> Akurasi Estimasi SOC	70
Tabel 4. 4 Ringkasan Parameter Trendline Estimasi SOH	74

**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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Skema rangkaian akuisisi data fase pengisian (<i>charging</i>).....	82
Lampiran 2 Skema rangkaian akuisisi data pengosongan (<i>discharging</i>).....	82
Lampiran 3 Program ESP32 untuk akuisisi data inisiasi sistem	82
Lampiran 4 Program ESP32 untuk akuisisi data tegangan dan arus.....	83
Lampiran 5 Program ESP32 penyimpanan data	83
Lampiran 6 Cuplikan data Pulse Discharge Test pada SOC 100%.....	84
Lampiran 7 Kurva Pulse Discharge Test seluruh interval SOC	85
Lampiran 8 Data Hasil Karakteristik Baterai ECM 1-RC	86
Lampiran 9 Blok Input Parameter Baterai (Table-based)	86
Lampiran 10 Blok Input Parameter SOC Estimator EKF Simulink	86
Lampiran 11 Blok Input Parameter SOH Estimator Simulink.....	87
Lampiran 12 Data Hasil Simulasi MATLAB yang diekspor ke file Excel	87

**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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Perkembangan kendaraan listrik (*Electric Vehicle*) di Indonesia semakin meningkat sebagai upaya mengurangi emisi karbon dan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil (Prasetya dkk., 2026). Salah satu komponen utama kendaraan listrik adalah baterai yang berfungsi sebagai sistem penyimpanan energi. Pada *Battery Management System* (BMS), parameter *State of Charge* (SOC) dan *State of Health* (SOH) digunakan untuk menunjukkan kapasitas yang masih tersedia dan kondisi kesehatan baterai. Estimasi SOH berkaitan dengan perubahan karakteristik internal, terutama resistansi baterai, karena peningkatan resistansi dapat menurunkan kemampuan penyaluran daya, meningkatkan rugi-rugi, dan memengaruhi keamanan operasinya (Lee dkk., 2025; Noura dkk., 2025).

Metode *Coulomb Counting* (CC) masih banyak diterapkan dalam estimasi SOC karena sederhana dan membutuhkan beban komputasi yang relatif rendah. Metode ini menghitung perubahan SOC dengan mengintegrasikan arus yang masuk dan keluar dari baterai. Namun, akurasi sangat bergantung pada ketepatan SOC awal, kapasitas baterai, dan pembacaan sensor arus. Pada kendaraan listrik, profil arus berubah secara dinamis akibat akselerasi, pengereman, dan perubahan beban sehingga pengukuran dapat dipengaruhi oleh *noise* maupun bias sensor (Erly dkk., 2025). Kesalahan tersebut akan terus terintegrasi dan dapat menyebabkan *drift error* pada hasil estimasi (Movassagh dkk., 2021; Zine dkk., 2022). Selain itu, sensor arus di lapangan memiliki keterbatasan akurasi dan dapat dipengaruhi oleh interferensi elektromagnetik lingkungan (Ramelan dkk., 2025).

Untuk mengurangi kelemahan metode *open-loop* tersebut, digunakan metode berbasis model dengan mekanisme umpan balik tertutup (*closed-loop*), salah satunya *Extended Kalman Filter* (EKF). Algoritma EKF memanfaatkan

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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

model matematis baterai dan pengukuran tegangan terminal untuk memperbarui estimasi secara iteratif. Arus digunakan untuk memprediksi kondisi baterai, sedangkan selisih antara tegangan hasil prediksi dan pengukuran digunakan untuk mengoreksi penyimpangan estimasi. Mekanisme tersebut memungkinkan EKF mengurangi pengaruh *noise* dan membatasi akumulasi error selama operasi baterai (Qin dkk., 2025; Tang dkk., 2024). Penerapan EKF memerlukan model yang dapat merepresentasikan respons baterai. Oleh karena itu, digunakan *Equivalent Circuit Model* (ECM) 1-RC dengan parameter OCV, resistansi ohmik R_0 , resistansi polarisasi R_1 , dan kapasitansi polarisasi C_1 yang diperoleh melalui *Pulse Discharge Test* (Barletta dkk., 2022).

Model ECM kemudian divalidasi dengan membandingkan tegangan hasil simulasi terhadap data eksperimen menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Maximum Error Percentage* (MEP). Dalam penelitian ini ditetapkan target RMSE tidak lebih dari 0,2 V dan MEP tidak lebih dari 1% sebagai kriteria internal kelayakan model sebelum digunakan dalam pengujian estimator seperti penelitian yang dilakukan oleh (Barletta dkk., 2022). Selanjutnya, akurasi SOC dibandingkan menggunakan RMSE dan *Maximum Absolute Error*, dengan target EKF menghasilkan RMSE tidak lebih dari 1%, *Maximum Absolute Error* tidak lebih dari 5%, dan error yang lebih rendah dibandingkan CC berdasarkan penelitian (Erly dkk., 2025; Ramelan dkk., 2025). Target tersebut digunakan sebagai kriteria performa penelitian dan tidak dimaksudkan sebagai standar universal untuk seluruh jenis baterai. Karakteristik estimasi SOH dianalisis berdasarkan gradien *trendline* untuk melihat kecenderungan *drift*, sedangkan koefisien determinasi R^2 digunakan untuk menilai keterwakilan garis tren terhadap data estimasi (Madhavi & Vairavasundaram, 2026).

Evaluasi algoritma secara langsung pada baterai fisik memiliki kendala karena pengujian berulang dengan arus dinamis berpotensi memberikan risiko terhadap perangkat keras, sedangkan degradasi aktual membutuhkan

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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

pengujian dalam jumlah siklus yang jauh lebih banyak (Madhavi & Vairavasundaram, 2026; Rossi dkk., 2022). Oleh karena itu, MATLAB/Simulink digunakan agar pengujian dapat dilakukan secara aman dan terkontrol. Simulasi dilakukan selama 10 siklus *charging–discharging*. Berdasarkan profil pengisian konstan dan pembebanan dinamis yang digunakan, satu siklus berlangsung sekitar 4,8 jam sehingga total simulasi berlangsung sekitar 48 jam. Jumlah siklus tersebut ditetapkan sebagai kondisi pengujian agar CC dan EKF mengalami operasi berulang yang identik. Penelitian ini tidak bertujuan menentukan durasi simulasi yang optimum, melainkan membandingkan performa kedua metode pada kondisi yang sama. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian difokuskan pada komparasi CC dan EKF dalam mengestimasi SOC serta menganalisis karakteristik estimasi SOH baterai lithium-ion 60 V 23 Ah melalui karakterisasi fisik, validasi model ECM 1-RC, dan simulasi pembebanan dinamis.

1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana parameter ECM 1-RC (OCV , R_0 , R_1 , C_1) baterai Lithium-ion 60 V 23 Ah dapat diekstraksi melalui pengujian *Pulse Discharge Test* dan divalidasi pada model Simulink?
2. Bagaimana perbandingan tingkat akurasi algoritma CC dengan metode EKF dalam melacak nilai sisa kapasitas murni baterai SOC di bawah pengaruh *noise sensor*?
3. Bagaimana ketangguhan mekanisme koreksi mandiri (*closed-loop*) pada EKF dibandingkan dengan CC dalam meminimalisir *drift error* saat mengestimasi tingkat kesehatan dan degradasi baterai (SOH) selama operasi kontinu pada simulasi multi-siklus?

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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.3 Batasan Masalah Penelitian

Agar penelitian lebih terfokus, maka ditetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Objek penelitian menggunakan satu unit baterai Lithium-ion 60 V 23 Ah pada sepeda motor listrik komersial.
2. Karakterisasi fisis dengan pengambilan data eksperimen dibatasi pada uji pulsa fase pengosongan (*Pulse Discharge Test*) durasi pendek pada temperatur ruang untuk mengekstrak parameter sirkuit ekuivalen 1-RC (R_0, R_1, C_1) dan kurva non-linear OCV-SOC.
3. Simulasi dilakukan dengan pengujian dan validasi komparasi estimator SOC dan SOH dilakukan secara murni melalui simulasi digital di lingkungan MATLAB/Simulink berdurasi selama 10 siklus charging–discharging atau setara dengan 48 jam simulasi, tanpa melakukan pengujian degradasi penuaan siklus fisis secara langsung pada baterai asli.
4. Skenario pengujian pengujian komparasi dibatasi pada satu kondisi ekstrem, yakni profil beban arus dinamis acak yang diinjeksi komponen White Gaussian *Noise* sebagai representasi *noise* sensor riil di lapangan.

1.4 Pertanyaan Penelitian

Pertanyaan penelitian yang akan dijawab dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Bagaimana mengekstrak parameter sirkuit ekuivalen 1-RC dari hasil eksperimen fisis pengosongan pada sel baterai komersial 60 V 23 Ah?
2. Bagaimana perbandingan akurasi estimasi SOC antara metode CC dan EKF pada kondisi pembebanan dinamis yang mengandung *noise* pengukuran?
3. Bagaimana tren dinamika nilai hambatan internal (R_0) mempengaruhi ketangguhan algoritma CC dengan EKF dalam akumulasi *Error (drift error)* pada estimasi SOH selama operasi kontinu pada simulasi multi-siklus?

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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.5 Tujuan Penelitian

1.5.1 Tujuan Umum

Menganalisis perbandingan performa metode CC dan EKF dalam mengestimasi SOC dan SOH baterai Lithium-ion 60 V 23 Ah melalui pendekatan eksperimen karakterisasi fisik dan simulasi pembebanan dinamis.

1.5.2 Tujuan Khusus

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengekstraksi parameter ECM 1-RC berupa OCV, R0, R1 dan C1 melalui Pulse Discharge Test serta memvalidasi model terhadap data eksperimen dengan target $RMSE \leq 0,2$ V dan $MEP \leq 1\%$.
2. Membandingkan akurasi estimasi SOC metode CC dan EKF dengan target $RMSE \leq 1\%$, $Maximum Absolute Error \leq 5\%$, serta menghasilkan error yang lebih rendah dibandingkan metode CC.
3. Menganalisis kestabilan estimasi SOH metode CC dan EKF selama 10 siklus charging–discharging berdasarkan gradien trendline dan koefisien determinasi (R^2).

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Manfaat Akademik

Memberikan referensi ilmiah mengenai karakteristik ECM 1-RC serta perbandingan metode CC dan EKF dalam estimasi SOC dan SOH baterai lithium-ion pada pembebanan dinamis.

2. Manfaat Praktis

Menjadi referensi teknis bagi pengembang BMS dalam memilih metode estimasi SOC dan SOH yang akurat dan stabil untuk aplikasi kendaraan listrik.

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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.7 Sistematika Penulisan Skripsi

Sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut :

1. BAB I Pendahuluan

Memuat latar belakang, rumusan dan batasan masalah, pertanyaan penelitian, tujuan, manfaat, serta sistematika penulisan.

2. BAB II Tinjauan Pustaka dan Landasan Teori

Membahas teori baterai lithium-ion, ECM 1-RC, Coulomb Counting, EKF, estimasi SOH, serta kajian penelitian terdahulu.

3. BAB III Metodologi Penelitian

Menjelaskan tahapan penelitian, pengujian baterai, ekstraksi parameter ECM, pemodelan Simulink, dan metode analisis data.

4. BAB IV Hasil dan Pembahasan

Menyajikan hasil karakterisasi dan validasi model, serta perbandingan estimasi SOC dan karakteristik SOH metode CC dan EKF selama simulasi multi-siklus.

5. BAB V Kesimpulan dan saran

Memuat kesimpulan berdasarkan tujuan penelitian 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB V**KESIMPULAN DAN SARAN****5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pengujian eksperimental, ekstraksi parameter fisis, dan simulasi algoritma estimasi pada baterai 60 V 23 Ah yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Parameter ECM 1-RC berupa OCV, R_0 , R_1 , dan C_1 berhasil diekstraksi menggunakan metode *Pulse Discharge Test*. Hasil ekstraksi menunjukkan bahwa parameter baterai berubah terhadap tingkat SOC dan dapat digunakan sebagai masukan *lookup table* pada model Simulink. Validasi model menghasilkan RMSE sebesar 0,141 V dan MEP sebesar 0,797%, sehingga model mampu merepresentasikan respons tegangan terminal baterai dengan deviasi rendah.
2. Metode *Extended Kalman Filter* (EKF) menunjukkan akurasi estimasi SOC yang lebih baik dibandingkan *Coulomb Counting* (CC). Hal ini ditunjukkan oleh nilai RMSE EKF sebesar 0,2786% dan *Maximum Absolute Error* sebesar 4,3877%, lebih rendah dibandingkan CC dengan RMSE 4,3937% dan *Maximum Absolute Error* 7,6032%..
3. ada estimasi SOH, EKF menunjukkan tren penurunan yang lebih landai dibandingkan CC. Hal ini ditunjukkan oleh gradien trendline EKF sebesar -0,00362, sedangkan CC sebesar -0,00505. Dengan demikian, EKF menunjukkan kecenderungan drift yang lebih kecil selama 10 siklus charging–discharging pada simulasi 48 jam.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan ada beberapa hal yang bisa dijadikan dasar peningkatan model estimasi SOH sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan model termal baterai (*electro-thermal model*) agar pengaruh perubahan suhu terhadap



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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

parameter ECM, estimasi SOC, dan estimasi SOH dapat dianalisis lebih detail.

2. Pengujian degradasi baterai sebaiknya dilakukan menggunakan data siklus jangka panjang (*long-term cycling data*) agar estimasi SOH dapat dibandingkan dengan penurunan kapasitas aktual baterai secara empiris.
3. Implementasi algoritma estimasi disarankan untuk diuji secara *Ideal-time* pada perangkat keras, misalnya melalui pendekatan *Hardware-in-the-Loop* atau mikrokontroler, untuk mengevaluasi beban komputasi dan kestabilan algoritma sebelum diterapkan pada sistem BMS nyata.
4. Penelitian lanjutan dapat mengkaji penggunaan algoritma adaptif, seperti *Adaptive Extended Kalman Filter* (AEKF), untuk meningkatkan kemampuan estimator dalam merespons perubahan parameter baterai dan menekan lonjakan *error* transien pada kondisi pembebanan dinamis.

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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- Amifia, L. K. (2022). Direct Comparison Using Coulomb Counting and Open Circuit Voltage Method for the State of Health Li-Po Battery. *Journal of Robotics and Control (JRC)*, 3(4), 455–463. <https://doi.org/10.18196/jrc.v3i4.15515>
- Barletta, G., DiPrima, P., & Papurello, D. (2022). Thévenin's Battery Model Parameter Estimation Based on Simulink. *Energies*, 15(17). <https://doi.org/10.3390/en15176207>
- Codeca Fabio, & Sergio M. (2009). *Proceedings of the 48h IEEE Conference on Decision and Control held jointly with 2009 28th Chinese Control Conference*. IEEE.
- De Angelis, A., Carbone, P., Santoni, F., Vitelli, M., & Ruscitti, L. (2023). On the Usage of Battery Equivalent Series Resistance for Shuntless Coulomb Counting and SOC Estimation. *Batteries*, 9(6). <https://doi.org/10.3390/batteries9060286>
- dfxhobbystore.com. (2025). *EVE ICR18650 26V*. dfxhobbystore. <https://dfxhobby.store/products/ncr18650pf-battery-replacement-for-panasonic-18650-pf-2900mah-10a-high-drain-rechargeable-3-6v-lithium-batteries-cell-%E5%89%AF%E6%9C%AC>
- Dini, P., Colicelli, A., & Saponara, S. (2024). Review on Modeling and SOC/SOH Estimation of Batteries for Automotive Applications. Dalam *Batteries* (Vol. 10, Nomor 1). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/batteries10010034>
- Erly, T., Putri, S., Syai'in, M., Munadhif, I., Otomasi, S. T., Teknik, J., Kapal, K., Perkapalan, P., & Surabaya, N. (2025). *JOURNAL OF APPLIED SMART ELECTRICAL NETWORK AND SYSTEMS (JASENS) Estimasi State of Charge Baterai 4S2P Menggunakan Kalman Filter dan Coulomb Counting*. 6(1), 48–59. <http://journal.isas.or.id/index.php/JASENS>

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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- espressif. (2026). *ESP32*. espressif.
<https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>
- Gismero, A., Schaltz, E., & Stroe, D. I. (2020). Recursive state of charge and state of health estimation method for lithium-ion batteries based on coulomb counting and open circuit voltage. *Energies*, 13(7).
<https://doi.org/10.3390/en13071811>
- Goodenough, J. B., & Kim, Y. (2010). Challenges for Rechargeable Li Batteries. *Chemistry of Materials*, 22(3), 587–603.
<https://doi.org/10.1021/cm901452z>
- Huria, T., Ceraolo, M., Gazzarri, J., & Mathworks, R. J. (2013). *Simplified Extended Kalman Filter Observer for SOC Estimation of Commercial Power-Oriented LFP Lithium Battery Cells*.
- Klee Harold, & Allen Randal. (2018). *Simulation of Dynamic Systems with MATLAB® and Simulink®, Third Edition (3 ed.)*. CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/9781315154176>
- Lee, H., Lee, B., Lee, J., Choi, J., & Kim, K. (2025). Lifetime Prediction of Lithium-Ion Batteries Based on the Correlation Between Internal Resistance Growth and State of Health (SoH). *Applied Sciences (Switzerland)*, 15(24). <https://doi.org/10.3390/app152412875>
- Lee, J., & Won, J. (2023). Enhanced Coulomb Counting Method for SoC and SoH Estimation Based on Coulombic Efficiency. *IEEE Access*, 11, 15449–15459. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3244801>
- Lin, C., Tang, A., & Wang, W. (2015). A Review of SOH Estimation Methods in Lithium-ion Batteries for Electric Vehicle Applications. *Energy Procedia*, 75, 1920–1925. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.199>
- Lv, S., Wang, X., Lu, W., Zhang, J., & Ni, H. (2022). The influence of temperature on the capacity of lithium ion batteries with different anodes. *Energies*, 15(1). <https://doi.org/10.3390/en15010060>

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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- Madhavi, R., & Vairavasundaram, I. (2026a). Performance Analysis of State of Charge and State of Health Prediction Using Kalman Filter Techniques with Battery Parameter Variation. *Global Energy Interconnection*. <https://doi.org/10.1016/j.gloi.2025.08.004>
- Madhavi, R., & Vairavasundaram, I. (2026b). Performance Analysis of State of Charge and State of Health Prediction Using Kalman Filter Techniques with Battery Parameter Variation. *Global Energy Interconnection*. <https://doi.org/10.1016/j.gloi.2025.08.004>
- Mathworks. (2022a). *Battery State-of-Health Estimation*. <https://www.mathworks.com/help/simscape-battery/ug/battery-state-of-health-estimation.html>
- Mathworks. (2022b). *SOC Estimator (Kalman Filter)*. <https://www.mathworks.com/help/simscape-battery/ref/socestimatorkalmanfilter.html>
- Movassagh, K., Raihan, A., Balasingam, B., & Pattipati, K. (2021). A critical look at coulomb counting approach for state of charge estimation in batteries. *Energies*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/en14144074>
- Murnane, M., & Ghazel, A. (2023). *A Closer Look at State of Charge (SOC) and State of Health (SOH) Estimation Techniques for Batteries*. <https://www.analog.com/en/resources/technical-articles/a-closer-look-at-state-of-charge-and-state-health-estimation-tech.html>
- Noura, N., Boulon, L., & Jemeï, S. (2020). A review of battery state of health estimation methods: Hybrid electric vehicle challenges. Dalam *World Electric Vehicle Journal* (Vol. 11, Nomor 4, hlm. 1–20). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/wevj11040066>
- Plett, G. L. . (2016). *Battery management systems. Volume II, Equivalent-circuit methods*. Artech House.

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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Prasetya, S., Todaro, M., & Ridlwan, H. M. (2026). *Development of IoT-based Monitoring of the Lithium-Ion Battery Pack for a Two-Wheeled Vehicle Ecosystem*. 04(02). <https://doi.org/10.59511/riestech.v4i02.137>

Projectbasegh. (2024). *ADS1115*. Projectbasegh.

Qin, H., Wang, S., Li, K., & Jiang, F. (2025). Joint Estimation of SOC and SOH Based on Kalman Filter Under Multi-Time Scale. *Modelling*, 6(3). <https://doi.org/10.3390/modelling6030100>

Raj Aswinth. (2018, Desember 5). *Battery Management System (BMS) for Electric Vehicles*. Circuit Digest. <https://circuitdigest.com/article/battery-management-system-bms-for-electric-vehicles>

Ramelan, A., Maulana, I. F., Azzam, F. M., & Shiddiq, M. (2025). Battery Capacity Estimation with Kalman Filter for Battery Management System of Public Street Lighting. *Journal of Electrical, Electronic, Information, and Communication Technology*, 7(1), 21. <https://doi.org/10.20961/jeeict.7.1.94556>

Rossi, C., Falcomer, C., Biondani, L., & Pontara, D. (2022). Genetically Optimized Extended Kalman Filter for State of Health Estimation Based on Li-Ion Batteries Parameters. *Energies*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/en15093404>

Schweiger, H. G., Obeidi, O., Komesker, O., Raschke, A., Schiemann, M., Zehner, C., Gehnen, M., Keller, M., & Birke, P. (2010). Comparison of several methods for determining the internal resistance of lithium ion cells. *Sensors*, 10(6), 5604–5625. <https://doi.org/10.3390/s100605604>

Serdiuk, I. (2023). *Lithium-Ion Battery*. Vecteezy.com. <https://www.vecteezy.com/vector-art/16806975-li-ion-battery-diagram>

Storr, W. (2014). *Resistor in Series*. DNATechIndia.



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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Tang, A., Xu, Y., Hu, Y., Tian, J., Nie, Y., Yan, F., Tan, Y., & Yu, Q. (2024). Battery state of health estimation under dynamic operations with physics-driven deep learning. *Applied Energy*, 370, 123632. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.123632>

Texas Instrument. (2025). *ADS1115 source*. Texas Instrument. <https://www.ti.com/product/ADS1115>

Thakkar, R. R. (2021). *Electrical Equivalent Circuit Models of Lithium-ion Battery*. www.intechopen.com

Tran, M. K., Dacosta, A., Mevawalla, A., Panchal, S., & Fowler, M. (2021). Comparative study of equivalent circuit models performance in four common lithium-ion batteries: LFP, NMC, LMO, NCA. *Batteries*, 7(3). <https://doi.org/10.3390/batteries7030051>

Zine, B., Bia, H., Benmouna, A., Becherif, M., & Iqbal, M. (2022). Experimentally Validated Coulomb Counting Method for Battery State-of-Charge Estimation under Variable Current Profiles. *Energies*, 15(21). <https://doi.org/10.3390/en15218172>

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA