

**IMPLEMENTASI ALGORITMA RANDOM FOREST TERHADAP
STATE-OF-CHARGE DAN STATE-OF-HEALTH
DARI LITHIUM-ION BATTERY-CELL PADA
ELECTRIC VEHICLE**

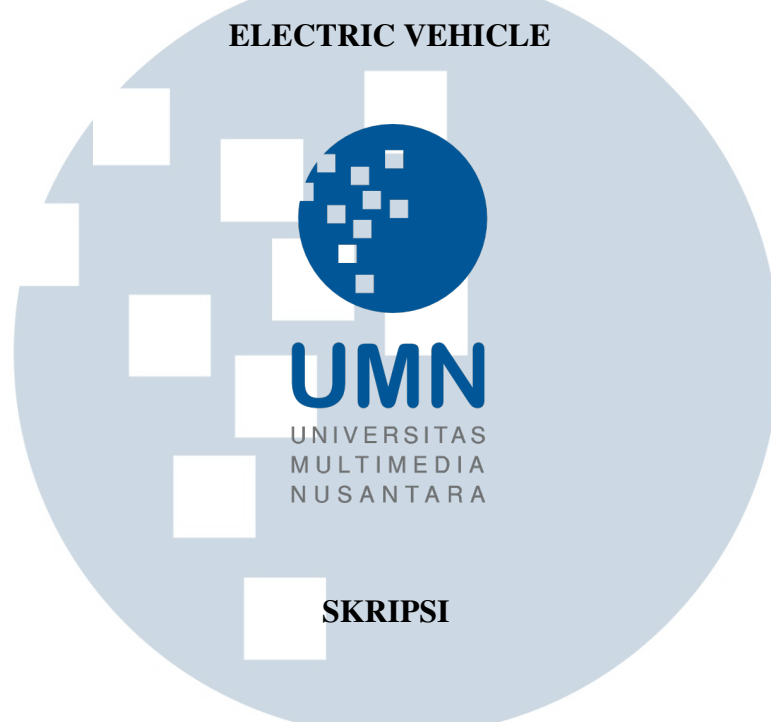


SKRIPSI

**Richard Nelson Gunawan
00000045737**

**PROGRAM STUDI INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK DAN INFORMATIKA
UNIVERSITAS MULTIMEDIA NUSANTARA
TANGERANG
2024**

**IMPLEMENTASI ALGORITMA RANDOM FOREST TERHADAP
STATE-OF-CHARGE DAN STATE-OF-HEALTH
DARI LITHIUM-ION BATTERY-CELL PADA
ELECTRIC VEHICLE**



Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh
Gelar Sarjana Komputer (S.Kom.)

Richard Nelson Gunawan
00000045737

UMN

UNIVERSITAS
MULTIMEDIA
NUSANTARA

**PROGRAM STUDI INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK DAN INFORMATIKA
UNIVERSITAS MULTIMEDIA NUSANTARA**

TANGERANG

2024

HALAMAN PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Dengan ini saya,

Nama : Richard Nelson Gunawan
Nomor Induk Mahasiswa : 00000045737
Program Studi : Informatika

Skripsi dengan judul:

Implementasi Algoritma Random forest Terhadap State Of Charge Dan State Of Health Dari Lithium Ion Battery Cell Pada Electric Vehicle

merupakan hasil karya saya sendiri bukan plagiat dari karya ilmiah yang ditulis oleh orang lain, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar serta dicantumkan di Daftar Pustaka.

Jika di kemudian hari terbukti ditemukan kecurangan/ penyimpangan, baik dalam pelaksanaan Skripsi maupun dalam penulisan laporan Skripsi, saya bersedia menerima konsekuensi dinyatakan **TIDAK LULUS** untuk Tugas akhir yang telah saya tempuh.

Tangerang, 22 Mei 2024



(Richard Nelson Gunawan)

UMM
UNIVERSITAS
MULTIMEDIA
NUSANTARA

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi dengan judul

IMPLEMENTASI ALGORITMA RANDOM FOREST TERHADAP STATE-OF-CHARGE DAN STATE-OF-HEALTH DARI LITHIUM-ION BATTERY-CELL PADA ELECTRIC VEHICLE

oleh

Nama : Richard Nelson Gunawan
NIM : 00000045737
Program Studi : Informatika
Fakultas : Fakultas Teknik dan Informatika

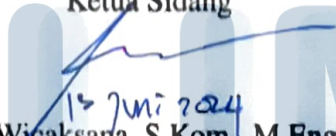
Telah diujikan pada hari Kamis, 30 May 2024

Pukul 10.00 s/s 12.00 dan dinyatakan

LULUS

Dengan susunan penguji sebagai berikut


Ketua Sidang


13 Juni 2024
(Arya Wicaksana, S.Kom., M.Eng.Sc.
(OCA, CEH, CEI))
NIDN0315109103

Penguji


(Angga Aditya Permana, S.Kom.,
M.Kom.)
NIDN: 0407128901

Pembimbing


(Moeljono Widjaja, B.Sc., M.Sc., Ph.D.)
NIDN: 0311106903


(Dr. Eng. Niki Prastomo, S.T., M.Sc.)
NIDN: 0419128203

**HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Richard Nelson Gunawan

NIM : 00000045737

Program Studi : Informatika

Jenjang : S1

Jenis Karya : Skripsi

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa:

- Saya bersedia memberikan izin sepenuhnya kepada Universitas Multimedia Nusantara untuk mempublikasikan hasil karya ilmiah saya di repositori Knowledge Center, sehingga dapat diakses oleh Civitas Akademika/Publik. Saya menyatakan bahwa karya ilmiah yang saya buat tidak mengandung data yang bersifat konfidensial dan saya juga tidak akan mencabut kembali izin yang telah saya berikan dengan alasan apapun.
- Saya tidak bersedia karena dalam proses pengajuan untuk diterbitkan ke jurnal/konferensi nasional/internasional (dibuktikan dengan *letter of acceptance*)**.

Tangerang, 22 Mei 2024

Yang menyatakan

Richard Nelson Gunawan

UMN
UNIVERSITAS
MULTIMEDIA
NUSANTARA

** Jika tidak bisa membuktikan LoA jurnal/HKI selama enam bulan ke depan, saya bersedia mengizinkan penuh karya ilmiah saya untuk diunggah ke KC UMN dan menjadi hak institusi UMN.

Halaman Persembahan / Motto

"A good name is to be more desired than great wealth, Favor is better than silver and gold."

Proverbs 22:1 (NASB)



UMMN
UNIVERSITAS
MULTIMEDIA
NUSANTARA

KATA PENGANTAR

Puji Syukur atas berkat dan rahmat kepada Tuhan Yang Maha Esa, atas selesainya penulisan laporan Skripsi ini dengan judul: Implementasi Algoritma Random forest Terhadap State-Of-Charge dan State-Of-Health dari lithium-ion battery-cell pada Electric Vehicle dilakukan untuk memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Komputer Jurusan Informatika Pada Fakultas Teknik dan Informatika Universitas Multimedia Nusantara. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ninok Leksono, selaku Rektor Universitas Multimedia Nusantara.
2. Bapak Dr. Eng. Niki Prastomo, S.T., M.Sc., selaku Dekan dan Pjs. Ketua Program Studi Fakultas Teknik dan Informatika Universitas Multimedia Nusantara.
3. Bapak Moeljono Widjaja, B.Sc., M.Sc., Ph.D., sebagai Pembimbing yang telah banyak meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan, arahan dan motivasi atas terselesainya skripsi ini.
4. Orang Tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Semoga skripsi ini bermanfaat, baik sebagai sumber informasi maupun sumber inspirasi, bagi para pembaca.

Tangerang, 22 Mei 2024

UNIVERSITAS
MULTIMEDIA
NUSANTARA


Richard Nelson Gunawan

**IMPLEMENTASI ALGORITMA RANDOM FOREST TERHADAP
STATE-OF-CHARGE DAN STATE-OF-HEALTH
DARI LITHIUM-ION BATTERY-CELL PADA
ELECTRIC VEHICLE**

Richard Nelson Gunawan

ABSTRAK

Penggunaan kendaraan listrik semakin populer dengan baterai *lithium ion* sebagai komponen utama dalam penyediaan energi untuk kendaraan bermotor, terutama pada mobil. Prediksi yang akurat terhadap *State of Charge* dan *State of Health* dari baterai *lithium ion* sangat penting untuk menjaga keamanan operasional, mengoptimalkan manajemen baterai pada kendaraan listrik, serta mengetahui faktor yang berpengaruh signifikan pada baterai tersebut. Hal ini dilakukan agar dapat meminimalkan biaya pembuatan maupun pergantian, terutama pada sel baterai. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah implementasi algoritma *Random Forest* untuk memprediksi *State of Charge* dan *State of Health* dari sel baterai *lithium ion* pada *electric vehicle*. Algoritma *Random Forest* merupakan metode pembelajaran *ensemble* berbasis pohon keputusan yang mampu menangani data berdimensi tinggi dan hubungan tidak linear antar variabel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model yang dikembangkan mampu memberikan prediksi *State of Charge* dan *State of Health* dengan akurasi yang memadai. Kesimpulan dari penelitian ini adalah implementasi algoritma *Random Forest* dalam melakukan prediksi *State of Charge* dan *State of Health* dari baterai *lithium ion* pada kendaraan listrik memberikan hasil 0,73% untuk persentase *Mean Absolute Error (MAE)* pada *State of Health* dan 1,72% untuk persentase *Mean Absolute Error (MAE)* pada *State of Charge*.

Kata kunci: *Electric Vehicle, Lithium Ion, Random Forest, State of Charge, State of Health*

U N I V E R S I T A S
M U L T I M E D I A
N U S A N T A R A

Implementation of Random forest Algorithm on State-Of-Charge and State-Of-Health of lithium-ion battery-cell on Electric Vehicle

Richard Nelson Gunawan

ABSTRACT

The widespread use of electric vehicles relies on lithium ion batteries as a key component of the vehicle's energy supply. Lithium ion batteries are the main component providing energy for motor vehicles, especially cars. Prediction of the State of Charge and the State of Health of a lithium ion battery is essential for maintaining operational safety, optimizing battery management in electric vehicles, as well as determining factors that have a significant effect on the battery. This is done to minimize the cost of manufacturing and replacement, especially of battery cells. The method used in this research is to implement a Random Forest algorithm to predict the State of Charge and State of Health of lithium ion battery cells in electric vehicles. Random Forest algorithm is an ensemble learning method capable of handling high dimensional data and nonlinear relationships between variables. The results showed that the developed model could provide State of Charge and State of Health predictions with sufficient accuracy. This research concludes that the implementation of Random Forest algorithm in predicting State of Charge and State of Health of lithium ion batteries in electric vehicles gives a result of 0.73% for the percentage of Mean Absolute Error (MAE) on State of Health and 1.72% for the percentage of Mean Absolute Error (MAE) on State of Charge.

Keywords: *Electric Vehicle, Lithium Ion, Random Forest, State of Charge, State of Health*



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN TIDAK MELAKUKAN PLAGIAT	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN/MOTO	v
KATA PENGANTAR	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR KODE	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Permasalahan	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 LANDASAN TEORI	5
2.1 Electric Vehicle	5
2.2 Lithium Ion Battery	6
2.3 State of Charge	7
2.4 State of Health	8
2.5 Penelitian terkait	10
2.5.1 Random Forest, XGB, LGBM Algorithm	10
2.5.2 Gradient Boosting Algorithm	11
2.5.3 Feedforward Neural Networks (FNN), Convolutional Neural Networks (CNN), Long Short-Term Memory (LSTM) Algorithm	11
2.5.4 Random Forest (RF), Extreme Learning Machine (ELM) Algorithm	12
2.5.5 Random Forest Algorithm	13
2.6 Decision Tree	13
2.7 Random Forest (RF)	15
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1 Spesifikasi Sistem dan Langkah yang dilakukan	19
3.2 Studi Literatur	19
3.3 Pencarian Dataset	19
3.4 Preprocessing	19
3.5 Pembangunan Model	20
3.6 Evaluasi Model	20
BAB 4 HASIL DAN DISKUSI	21
4.1 Pengumpulan data	21
4.2 Pra pemrosesan data	23
4.2.1 Import Library	23
4.2.2 Check Duplicate Data	24
4.2.3 Plot Histogram	24

4.3	Pembuatan dan pelatihan model	25
4.4	Pengujian dan evaluasi model	28
4.4.1	State of Health	28
4.4.2	State of Charge	34
4.4.3	State of Health Predicted	36
4.4.4	State of Charge Predicted	42
4.4.5	Hasil Akurasi State of Charge Without PCA	46
4.4.6	Hasil Akurasi State of Charge With PCA	49
4.4.7	Hasil Akurasi State of Health Without PCA	56
4.4.8	Hasil Akurasi State of Health With PCA	59
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	67
5.1	Simpulan	67
5.2	Saran	68
DAFTAR PUSTAKA		69



DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Methodology flowchart	18
Gambar 4.1	Main dataset	22
Gambar 4.2	Cleaning dataset duplikat	24
Gambar 4.3	Histogram dataset	25
Gambar 4.4	Initiate random forest model	26
Gambar 4.5	Voltage measured	29
Gambar 4.6	Current measured	30
Gambar 4.7	Temperature measured	30
Gambar 4.8	Current charge	31
Gambar 4.9	Current load	32
Gambar 4.10	Voltage charge	33
Gambar 4.11	Voltage load	34
Gambar 4.12	Voltage measured	35
Gambar 4.13	Current measured	35
Gambar 4.14	Temperature measured	36
Gambar 4.15	Subplot predicted state of health	41
Gambar 4.16	Subplot predicted state of charge	45
Gambar 4.17	Mean squared error without PCA	46
Gambar 4.18	R2 score without PCA	47
Gambar 4.19	Mean absolute percentage error without PCA	48
Gambar 4.20	Root mean squared error without PCA	48
Gambar 4.21	Mean absolute deviation without PCA	49
Gambar 4.22	Mean squared error with PCA	50
Gambar 4.23	R2 score with PCA	51
Gambar 4.24	Mean absolute percentage error with PCA	52
Gambar 4.25	Root mean squared error with PCA	53
Gambar 4.26	Mean absolute deviation with PCA	54
Gambar 4.27	Cumulative explained variance state of charge principal component analysis	56
Gambar 4.28	Mean squared error without PCA	57
Gambar 4.29	R2 score without PCA	57
Gambar 4.30	Mean absolute percentage error without PCA	58
Gambar 4.31	Root mean squared error without PCA	58
Gambar 4.32	Mean absolute deviation without PCA	59
Gambar 4.33	Mean squared error with PCA	60
Gambar 4.34	R2 score with PCA	61
Gambar 4.35	Mean absolute percentage error with PCA	63
Gambar 4.36	Root mean squared error with PCA	64
Gambar 4.37	Mean absolute deviation with PCA	65
Gambar 4.38	Cumulative explained variance state of health principal component analysis	66

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Accuracy using various algorithm with different author . . .	10
Tabel 2.2	Accuracy of random forest, XGB, LGBM Algorithm . . .	11
Tabel 2.3	State of health accuracy using gradient boosting algorithm	11
Tabel 2.4	MAPE accuracy using FNN, CNN, LSTM	12
Tabel 2.5	State of charge with random forest and extreme learning machine	12
Tabel 2.6	State of health with random forest	13
Tabel 2.7	State of health with MAE random forest	13
Tabel 4.1	Modul python pada penelitian	23

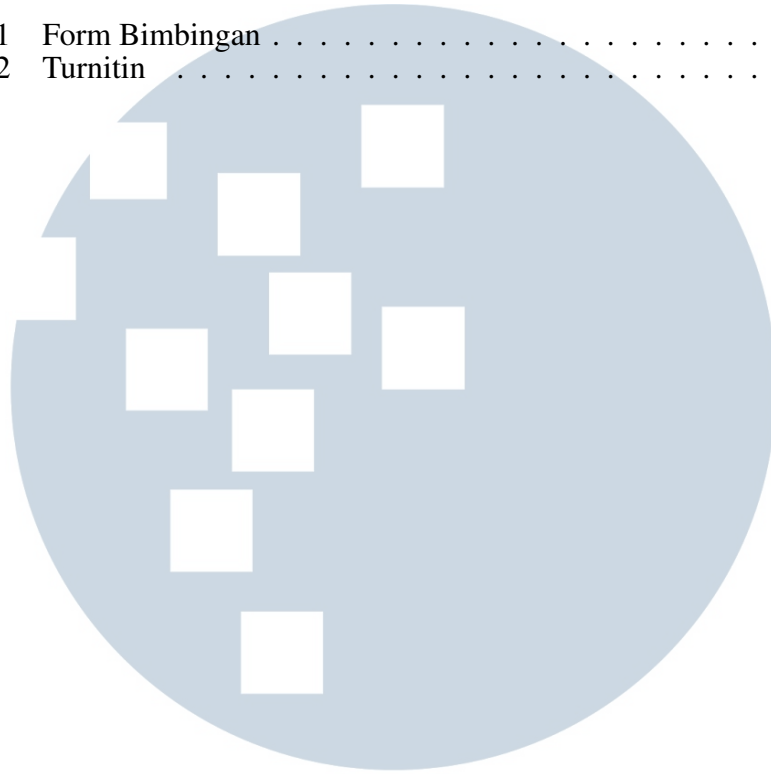


DAFTAR KODE

Kode 4.1	Load dataset	21
Kode 4.2	Import library	23
Kode 4.3	Cleaning dataset duplikat	24
Kode 4.4	Plotting histogram	24
Kode 4.5	Initiate random forest model	25
Kode 4.6	Split dataset for training and testing	26
Kode 4.7	Times series split	26
Kode 4.8	Plot voltage measured	28
Kode 4.9	Plot current measured	29
Kode 4.10	Temperature measured	30
Kode 4.11	Current charge	31
Kode 4.12	Current load	32
Kode 4.13	Voltage charge	32
Kode 4.14	Voltage load	33
Kode 4.15	Voltage measured	34
Kode 4.16	Current measured	35
Kode 4.17	Temperature measured	36
Kode 4.18	Subplot predicted state of health	37
Kode 4.19	Subplot predicted state of charge	42
Kode 4.20	Mean squared error (MSE)	46
Kode 4.21	R2 score	47
Kode 4.22	Mean absolute percentage error (MAPE)	47
Kode 4.23	Root mean square error (RMSE)	48
Kode 4.24	Mean absolute deviation (MAD)	49
Kode 4.25	Mean squared error (MSE)	49
Kode 4.26	R2 score	50
Kode 4.27	Mean absolute percentage error (MAPE)	52
Kode 4.28	Root mean square error (RMSE)	53
Kode 4.29	Mean absolute deviation (MAD)	54
Kode 4.30	Cumulative explained variance	55
Kode 4.31	Mean squared error (MSE)	56
Kode 4.32	R2 score	57
Kode 4.33	Mean absolute percentage error (MAPE)	58
Kode 4.34	Root mean square error (RMSE)	58
Kode 4.35	Mean absolute deviation (MAD)	59
Kode 4.36	Mean squared error	59
Kode 4.37	R2 score	61
Kode 4.38	Mean absolute percentage error (MAPE)	62
Kode 4.39	Root mean squared error	63
Kode 4.40	Mean absolute deviation	64
Kode 4.41	Cumulative explained variance state of health principal component analysis	65

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Form Bimbingan	72
Lampiran 2	Turnitin	75



UMN
UNIVERSITAS
MULTIMEDIA
NUSANTARA