

SKRIPSI
OPTIMASI KINERJA BATERAI BUS LISTRIK *LOW ENTRY*
MENGGUNAKAN METODE *FAULT TREE ANALYSIS (FTA)*

Diajukan untuk Memenuhi sebagian Persyaratan
Mencapai Gelar Sarjana Terapan Teknik Rekayasa Otomotif



Disusun oleh :
ACHMAD SYAFIQ ENDRA ARDIYANTO
21023062

PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA OTOMOTIF
POLITEKNIK KESELAMATAN TRANSPORTASI JALAN
2025

HALAMAN PERSETUJUAN

(OPTIMASI KINERJA BATERAI BUS LISTRIK *LOW ENTRY* MENGGUNAKAN METODE *FAULT TREE ANALYSIS (FTA)*)

*(OPTIMIZATION OF BATTERY PERFORMANCE IN LOW-ENTRY ELECTRIC BUSES
USING THE FAULT TREE ANALYSIS (FTA) METHOD)*

Disusun oleh :

**ACHMAD SYAFIQ ENDRA ARDIYANTO
21023062**

Telah disetujui oleh:

Pembimbing 1

Dr. Setia Hadi Pramudi, S.Si.T., M.T

NIP. 19820813 200312 1 003

Tanggal 20 Juni 2025

HALAMAN PENGESAHAN
(OPTIMASI KINERJA BATERAI BUS LISTRIK *LOW ENTRY* MENGGUNAKAN
METODE *FAULT TREE ANALYSIS (FTA)*)

*(OPTIMIZATION OF BATTERY PERFORMANCE IN LOW-ENTRY ELECTRIC BUSES
USING THE FAULT TREE ANALYSIS (FTA) METHOD)*

Disusun oleh :

ACHMAD SYAFIQ ENDRA ARDIYANTO
21023062

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji

Pada tanggal 2025

Ketua Sidang

Tanda Tangan

Muhammad Iman Nur Hakim, M.T.
NIP. 19930104 201902 1 002



Penguji 1

Tanda Tangan

Rifano, S.Pd., M.T
NIP. 19850415 201902 1 003



Penguji 2

Tanda Tangan

Dr. Setia Hadi Pramudi, S.Si.T., M.T
NIP. 19820813 200312 1 003



Mengetahui,
Ketua Program Studi
Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomotif



Dr. Ery Muthoriq, ST., MT
NIP. 19830704 200912 1 004

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Achmad Syafiq Endra Ardiyanto

Notar : 21023062

Program Studi : Teknologi Rekayasa Otomotif

Menyatakan bahwa laporan Skripsi dengan judul **"OPTIMASI KINERJA BATERAI PADA BUS LISTRIK *LOW ENTRY* MENGGUNAKAN METODE *FAULT TREE ANALYSIS (FTA)*"** ini tidak terdapat bagian dari kerja ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu Lembaga Pendidikan Tinggi, dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang atau Lembaga lain, kecuali yang secara tertulis di sitasi dalam laporan ini dan disebutkan sumbernya secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dengan demikian saya menyatakan bahwa laporan Skripsi ini bebas dari unsur-unsur plagiasi dan apabila laporan Skripsi ini dikemudian hari terbukti merupakan plagiasi dari hasil karya penulis lain dan/atau dengan mengajukan karya atau pendapat yang merupakan hasil karya penulis lain, maka penulis bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum yang berlaku.

Tegal, 12 Februari 2025

Yang Menyatakan



Achmad Syafiq Endra Ardiyanto

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, dengan penuh rasa syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, hidayah serta karunia-nya, yang telah memberikan petunjuk dan kekuatan selama melakukan penyusunan tugas akhir ini. Tanpa bimbingan orang – orang hebat terdekat saya tidak akan menyelesaikan penyusunan tugas akhir ini dengan baik dan tepat waktu. Dengan penuh rasa syukur dan terima kasih, tugas akhir ini saya persembahkan kepada :

1. Allah SWT., karena atas segala karunia-nya penyusunan tugas akhir ini telah saya selesaikan dengan tepat pada waktunya.
2. Ayah Achmad Ridwan, Mama Emi Nuriyati, Bapak Agus Rianto dan Bunda Efitri Wahyuni selaku orang tua dan keluarga saya, yang telah memberikan dukungan material dan juga dukungan dari awal sampai titik ini sehingga penyusunan tugas akhir dapat terselesaikan dengan tepat waktu, serta diiringi oleh doa yang tiada henti bagi kesuksesan saya.
3. Bapak Dr. Setia Hadi Pramudi, S.Si.T., M.T. selaku dosen pembimbing saya yang telah meluangkan waktu kapanpun untuk membimbing saya serta banyak beliau telah memberikan saya ilmu dalam penyusunan tugas akhir ini.
4. Bapak Ery Muthoriq selaku ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Otomotif
5. Kepada sahabat, teman – teman, kakak senior dan adik junior yang telah memberikan dukungan dan semangat.

Dengan penuh kesadaran, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki berbagai kekurangan yang perlu diperbaiki. Oleh karena itu, penulis dengan hati terbuka menerima segala kritik, masukan dan saran yang konstruktif guna meningkatkan kualitas di masa mendatang. Penulis berharap bahwa masukan yang diberikan dapat menjadi motivasi untuk belajar dan berkembang dalam menyusun skripsi yang lebih baik dan juga tidak berhenti selalu berdoa kepada Allah SWT melimpahkan rahmat, kasih sayang, serta keberkahan kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam proses penyelesaian skripsi ini. Dukungan dari berbagai pihak menjadi penting dalam terciptanya skripsi ini dan penulis mengungkapkan rasa terimakasih yang sebesar – besarnya.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat yang nyata bagi pembaca serta menjadi referensi yang berguna bagi berbagai pihak. Harapan besar penulis adalah agar skripsi ini menjadi awal yang baik.

Tegal, 12 Februari 2025

Yang Menyatakan

A handwritten signature in black ink, featuring a large, stylized initial 'A' followed by several loops and a horizontal line at the end.

Achmad Syafiq Endra Ardiyanto

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala nikmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan menyusun skripsi ini. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan Studi di Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Otomotif.

Dalam pelaksanaan penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan, penyusunan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Bambang Istiyanto, S.Si.T., M.T. Selaku Direktur Politeknik Keselamatan Transportasi Jalan
2. Bapak Dr. Ery Muthoriq, S.T., M.T., Selaku Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Otomotif
3. Dr. Setia Hadi Pramudi, S.Si.T., M.T. Selaku dosen Pembimbing saya yang telah meluangkan waktu untuk membimbing saya dengan baik dan sabar serta banyak ilmu dalam penyusunan skripsi.
4. Kepada dosen penguji yang telah membimbing saya dan banyak memberi masukan dan saran untuk skripsi saya menjadi skripsi yang baik
5. Orang tua ayah dan mama yang selalu berdoa, membimbing dan memberikan dukungan sehingga skripsi ini selesai pada waktunya
6. Kepada rekan-rekan, kakak alumni dan adik-adik dari korps batalyon korps Taruna PKTJ yang telah membantu menyelesaikan skripsi ini.

Penulis telah berupaya untuk menghasilkan hasil yang sebaik mungkin, penulis memahami bahwa skripsi ini masih memiliki kekurangan yang perlu diperbaiki dan disempurnakan di masa mendatang. Penulis mengharapkan skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak

Tegal, 12 Februari 2025

Yang Menyatakan

A handwritten signature in black ink, featuring a large, stylized initial 'A' followed by several loops and a horizontal line at the end.

Achmad Syafiq Endra Ardiyanto

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
ABSTRAK	xiv
BAB I PENDAHULUAN	16
I.1. Latar Belakang.....	16
I.2. Identifikasi Masalah.....	18
I.3. Rumusan Masalah.....	19
I.4. Batasan Masalah.....	19
I.5. Tujuan Penelitian	19
I.6. Manfaat Penulisan.....	20
I.7. Sistematika Penulisan.....	20
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	22
II.1. Unit Armada Bus Listrik	22
II.1.1. Bus Listrik Single 12M <i>Low Entry</i> Skywell.....	23
II.1.2. Bus Listrik Single 12M <i>Low Entry</i> BYD	24
II.1.3. Bus Listrik 12M <i>Low Entry</i> SAG Golden Dragon.....	25
II.2. Variasi dan Prinsip Operasional Kendaraan Bus Listrik	26
II.2.1. <i>Fuel Cell Electric Bus</i> (Bus Listrik Sel Bahan Bakar).....	26
II.2.2. <i>Battery Electric Bus</i> (Bus Listrik Baterai)	27

II.2.3.	<i>Hybrid Electric Bus</i> (Bus Listrik Hibrida)	28
II.3	Baterai Bus Listrik.....	30
II.3.1.	Baterai Lithium Iron Postphate (LiFePo4).....	30
II.3.2.	Baterai Berbasis Nikel (Ni).....	32
II.3.3.	Baterai Lithium Ion	33
II.4.	Faktor yang mempengaruhi daya tahan baterai kendaraan listrik (EV)	34
II.4.1.	Massa Kendaraan	34
II.4.2.	Berat Penumpang.....	34
II.4.3.	Pengoperasian Armada	34
II.4.4.	Perilaku Pengemudi	34
II.4.5.	Jarak Tempuh	34
II.4.6.	Medan Jalan	34
II.4.7.	Kecepatan	35
II.5.	Motor Listrik.....	35
II.5.1.	Jenis Motor Listrik	36
II.5.2.	Motor AC	36
II.6.	Optimalisasi	37
II.7.	<i>Fault Tree Analysis</i>	38
II.7.1.	Tujuan <i>Fault Tree Analysis</i> (FTA):	39
II.7.2.	Langkah – Langkah <i>Fault Tree Analysis</i>	40
II.8.	Penelitian Terdahulu	42
BAB III	METODE PENELITIAN	43
III.1.	Lokasi Penelitian dan Waktu Penelitian	43
III.1.1.	Lokasi Penelitian	43

III.1.2. Waktu Penelitian	43
III.2. Objek Penelitian	44
III.3. Alat dan Bahan.....	44
III.4. Teknik Pengumpulan Data.....	45
III.5. Jenis Penelitian	45
III.6. Pengambilan Data	46
III.7. Bagan dan Alir.....	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	56
IV.1. Pengumpulan Data.....	56
IV.1.1. Pengumpulan Data Bus Listrik SAG, BYD dan Skywell Model Low Entry	59
IV.1.2. Hasil Wawancara	60
IV.1.3. Pembahasan Wawancara.....	64
IV.2. Pengolahan Data.....	65
IV.2.1. Fault Tree Analysis (FTA) dan Identifikasi Risiko.....	65
IV.2.2. Wawancara dari Segi Responden	73
IV.2.3. Analisis Grafik Konsumsi Daya Baterai Pada Bus Listrik <i>Low Entry</i>	75
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	87
V.1. Kesimpulan.....	87
V.2. Saran	88
V.2.1. Saran.....	88
V.2.2. Rekomendasi.....	90
DAFTAR PUSTAKA	92
LAMPIRAN	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Unit Armada Bus Listrik.....	22
Gambar II.2	Tampak Samping Belakang Skywell Single 12M LE	23
Gambar II.3	Tampak Depan Bus BYD Single 12M LE	24
Gambar II.4	Tampak Samping Bus BYD Single 12M LE.....	24
Gambar II.5	Tampak Depan Bus SAG Single 12M LE	25
Gambar II.6	Tampak Samping Bus SAG Single 12M LE.....	25
Gambar II. 7	Jenis Jenis Bus Listrik (Azhar, 2023).....	26
Gambar II. 8	Skema Bahan Bakar Fuel Cell Electric Bus (Setyo, 2023)	27
Gambar II. 9	Skema Battery Electric Bus.....	27
Gambar II. 10	Skema Baterai Hibrida Paralel.....	29
Gambar II. 11	Skema Baterai Hibrida Seri	30
Gambar II. 12	Baterai Lithium Iron PostPhate	32
Gambar II. 13	Baterai Ni - Cd (Nickel - Cadmium).....	32
Gambar II.14	Baterai Ni-Zn (Nickel-Zinc)	32
Gambar II.15	Baterai Ni-Mh (Nickel-Metal Hybrid)	33
Gambar II.16	Baterai Lithium Ion (Ben, 2024).....	33
Gambar II. 17	Klasifikasi Jenis Utama Motor Listrik	36
Gambar II. 18	Motor AC (Hidayat, 2021).....	37
Gambar II. 19	Motor DC.....	37
Gambar III. 1	PT Transportasi Jakarta Jakarta.....	43
Gambar III. 2	Bagan dan Alir	48
Gambar IV. 1	Fault Tree Analysis Bus SAG LE	66
Gambar IV. 2	Fault Tree Analysis Bus BYD Low Entry	69
Gambar IV. 3	Fault Tree Analysis Bus Skywell LE	71
Gambar IV. 4	Grafik Operasi Bus SAG LE.....	76
Gambar IV. 5	Grafik Operasi Bus Skywell LE.....	80
Gambar IV. 6	Grafik Operasi Bus BYD LE.....	83

DAFTAR TABEL

Tabel I.1	Tabel Jumlah Kendaraan Bermotor Daerah DKI Jakarta.....	16
Tabel II.1	Spesifikasi Teknik Skywell Low Entry	23
Tabel II.2	Spesifikasi Teknik BYD Low Entry	24
Tabel II.3	Spesifikasi SAG 12M LE.....	25
Tabel II.4	Tabel simbol Fault Tree Analysis	39
Tabel III. 1	Form Pencatatan Data Konsumsi Baterai.....	47
Tabel III. 2	Form Wawancara Staff Analis Bus Listrik.....	51
Tabel III. 3	Form Wawancara Mekanik.....	51
Tabel III. 4	Form Wawancara Pramudi.....	51
Tabel III. 5	Pencatatan Data Metode FTA.....	55

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja baterai pada bus listrik tipe low entry yang beroperasi di bawah pengelolaan PT Transportasi Jakarta. Dalam implementasinya, bus listrik menghadapi tantangan signifikan terutama terkait efisiensi konsumsi daya baterai, jarak tempuh, serta potensi kegagalan sistem baterai. Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis akar penyebab dari berbagai risiko teknis yang berpotensi menurunkan performa baterai. Penelitian dilakukan pada tiga model bus listrik, yaitu Skywell 12M LE, BYD 12M LE, dan SAG Golden Dragon 12M LE dengan objek pengamatan pada rute 4C (Pemuda Merdeka – Bundaran Senayan). Data diperoleh melalui observasi, wawancara, serta analisis data operasional selama periode Desember 2024 hingga Februari 2025. Hasil analisis menunjukkan bahwa beberapa faktor utama yang mempengaruhi penurunan efisiensi baterai meliputi perilaku pengemudi, kondisi medan jalan, serta beban penumpang. Melalui metode FTA, risiko-risiko kritis berhasil diidentifikasi sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam perumusan strategi mitigasi untuk meningkatkan efisiensi energi, memperpanjang usia pakai baterai, serta menjaga keberlanjutan operasional bus listrik secara optimal.

Kata Kunci: bus listrik, baterai, optimalisasi, *Fault Tree Analysis* (FTA), efisiensi energi

ABSTRACT

This research aims to optimize battery performance in low-entry electric buses operated by PT Transportasi Jakarta. Despite the environmental advantages of electric buses, their operational implementation faces significant challenges, particularly regarding battery power consumption efficiency, driving range, and potential system failures. The Fault Tree Analysis (FTA) method is applied to identify and analyze the root causes of technical risks that contribute to battery performance degradation. The study was conducted on three electric bus models — Skywell 12M LE, BYD 12M LE, and SAG Golden Dragon 12M LE—focusing on route 4C (Pemuda Merdeka – Bundaran Senayan). Data were collected through direct observation, interviews, and operational records from December 2024 to February 2025. The findings reveal that key factors affecting battery efficiency include driver behavior, road conditions, and passenger load. FTA effectively identified critical risks, enabling the formulation of mitigation strategies to enhance energy efficiency, extend battery lifespan, and ensure optimal operational sustainability of electric bus fleets.

Keywords: *electric bus, battery, optimization, Fault Tree Analysis (FTA), energy efficiency*