

ANALISIS KEANDALAN KOMPONEN BATTERY PADA MEDIUM EV BUS MENGUNAKAN METODE RELIABILITY BLOCK DIAGRAM DAN FAULT TREE ANALYSIS

Muhammad Andhika Anargya Tamzil¹, Gunawan Dwi Haryadi², Yusuf Umardani²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

E-mail: andhika.tamzil@gmail.com

Abstrak

Transisi menuju elektrifikasi transportasi publik, khususnya bus listrik, menjadi langkah penting dalam upaya mengurangi emisi gas rumah kaca dan meningkatkan keberlanjutan lingkungan di perkotaan. Penelitian ini menggabungkan tiga metode utama, yaitu Reliability Block Diagram (RBD), Fault Tree Analysis (FTA), dan Risk-Based Inspection (RBI) untuk menganalisis keandalan sistem baterai pada bus listrik medium. RBD digunakan untuk memodelkan keandalan komponen utama dalam Battery Management System (BMS), sementara FTA membantu mengidentifikasi penyebab kegagalan potensial, seperti kecacatan pada baterai. RBI, yang mengutamakan inspeksi berbasis probabilitas kegagalan (PoF), digunakan untuk memprioritaskan komponen yang perlu diperiksa lebih sering. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komponen dengan PoF tinggi, seperti fuse dan relay serta sistem pendingin, membutuhkan inspeksi lebih sering untuk mencegah kegagalan kritis. Pendekatan ini membantu mengoptimalkan biaya pemeliharaan, meningkatkan efisiensi operasional, dan mendukung keberlanjutan sistem baterai pada bus listrik.

Kata Kunci: bus listrik; emisi karbon; fault tree analysis; keandalan; reliability block diagram; risk-based inspection; sistem baterai

Abstract

The transition to electrification of public transportation, particularly electric buses, is an important step in reducing greenhouse gas emissions and enhancing environmental sustainability in urban areas. This study integrates three main methodologies: Reliability Block Diagram (RBD), Fault Tree Analysis (FTA), and Risk-Based Inspection (RBI) to analyze the reliability of the battery system in medium electric buses. RBD is used to model the reliability of the main components within the Battery Management System (BMS), while FTA helps identify potential failure causes, such as defects in the battery. RBI, which prioritizes inspections based on the Probability of Failure (PoF), is used to focus on components that require more frequent checks. The findings show that components with high PoF, such as fuses and relays and cooling systems, require more frequent inspections to prevent critical failures. This approach helps optimize maintenance costs, improve operational efficiency, and support the sustainability of battery systems in electric buses.

Keywords: battery system; carbon emissions; fault tree analysis; electric bus; reliability; reliability block diagram; risk-based inspection

1. Pendahuluan

Elektrifikasi masyarakat modern berkembang dengan pesat untuk menciptakan masyarakat yang lebih efisien dan berkelanjutan serta mengurangi jejak karbon. Hal ini mencakup perubahan pada pembangkit listrik yang kini harus berbasis energi terbarukan[1], perluasan sistem transmisi dan distribusi listrik, dan peningkatan efisiensi konsumsi energi—semua ini dimungkinkan berkat kemampuan teknologi elektronik daya dalam mengelola daya listrik dengan efisien. Salah satu bidang utama yang dapat mengurangi emisi karbon secara signifikan adalah elektrifikasi sektor transportasi, yang sedang berkembang dengan cepat serta mengalami penetrasi yang semakin meluas. Elektrifikasi tidak hanya akan mengurangi emisi karbon, tetapi juga berpotensi meningkatkan kualitas udara di perkotaan dan mengurangi kebisingan secara signifikan. Negara-negara ini, melalui kebijakan yang ada, bergerak menuju hal tersebut—Norwegia telah mengumumkan bahwa pada tahun 2025, semua mobil baru harus bebas emisi karbon, sementara Denmark telah menargetkan hal yang sama pada 2030—keputusan-keputusan ini akan memungkinkan implementasi yang lebih cepat[2]. Jika infrastruktur listrik yang mendukung juga berkembang. Jerman telah menganalisis strategi untuk menjadi negara yang bebas karbon pada tahun 2050 [3], menunjukkan bahwa terdapat banyak solusi teknis yang memungkinkan, namun juga banyak tantangan yang harus dihadapi. Namun, sebuah studi

terkini oleh Bloomberg [4] mengungkapkan bahwa pada tahun 2040, lebih dari 50% mobil yang terjual di pasar global akan beralih ke kendaraan listrik, menciptakan pasar lebih dari 40 juta mobil listrik. Jenis kendaraan listrik ini dapat bervariasi—termasuk kendaraan listrik penuh (EV) atau kendaraan hybrid EV.

Transisi menuju bus listrik (e-bus) merupakan langkah penting dalam transformasi transportasi publik perkotaan, yang dipicu oleh urgensi untuk mengatasi perubahan iklim serta meningkatkan keberlanjutan. Di kota-kota besar yang semakin merasakan dampak buruk dari penggunaan bus diesel dan bensin, penerapan bus listrik menjadi strategi vital untuk menurunkan emisi gas rumah kaca dan polusi udara lokal, sehingga mendukung terciptanya lingkungan yang lebih sehat [5] [6] [7]. Perubahan ini juga mendukung komitmen global terhadap pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan yang mengutamakan kesehatan masyarakat dan keberlanjutan ekologi [6].

Dengan mengintegrasikan bus listrik dalam sistem transportasi, pemerintah kota dapat memperoleh keuntungan besar, baik dari sisi lingkungan maupun ekonomi. Elektrifikasi transportasi, khususnya bus listrik, berfungsi untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil, yang menjadi sangat penting di dunia yang kini lebih peduli terhadap dampak lingkungan dari teknologi bus tradisional. Penelitian menunjukkan bahwa pengadopsian bus listrik tidak hanya mengurangi emisi karbon, tetapi juga menurunkan polusi udara lokal—hal yang sangat relevan di daerah perkotaan padat yang sering menghadapi masalah kualitas udara [7][8]. Di samping itu, keuntungan ekonomi, seperti penurunan biaya operasional terkait pemeliharaan dan bahan bakar, menjadikan bus listrik pilihan menarik bagi perencanaan kota dan operator transportasi [8][9].

Desain serta pengoperasian sistem bus listrik kini dipengaruhi oleh kemajuan teknologi, termasuk penggunaan sistem vehicle-to-grid (V2G), yang memungkinkan bus untuk mengembalikan energi ke jaringan listrik pada saat permintaan rendah [10]. Fitur ini mengoptimalkan efisiensi ekonomi dari armada bus listrik sekaligus membantu menjaga kestabilan pasokan listrik. Selain itu, kemajuan dalam kapasitas baterai dan infrastruktur pengisian telah meningkatkan kelayakan penerapan bus listrik secara luas. Misalnya, penggunaan baterai dengan kapasitas lebih besar dan teknologi pengisian cepat memungkinkan bus listrik untuk beroperasi secara efisien pada rute perkotaan yang padat, mengatasi keterbatasan yang ada pada model sebelumnya [11][12].

Tidak hanya menawarkan keunggulan dalam hal operasional, bus listrik juga meningkatkan pengalaman penumpang, dengan mengurangi tingkat kebisingan dan meningkatkan kenyamanan, yang menciptakan suasana transit yang lebih baik [8][9]. Persepsi masyarakat terhadap transportasi publik juga cenderung membaik karena kendaraan listrik sering kali diasosiasikan dengan modernitas dan keberlanjutan, yang dapat menarik lebih banyak penumpang dan pada gilirannya mengurangi emisi kendaraan per kapita [13] [14].

Namun, meski transisi ke armada bus listrik sepenuhnya membawa banyak keuntungan, tantangan tetap ada. Beberapa masalah, seperti biaya investasi awal yang tinggi, pengelolaan pembuangan baterai, serta kebutuhan untuk infrastruktur pengisian yang lebih banyak, harus diatasi [15][16]. Di samping itu, pengelolaan konsumsi energi secara efisien dan optimalisasi respons terhadap permintaan sangat penting untuk memaksimalkan manfaat dari sistem bus Listrik [17][18].

Secara keseluruhan, bus listrik membawa potensi besar untuk pengembangan transportasi publik. Penerapannya memberikan berbagai manfaat dalam hal lingkungan, kesehatan, dan ekonomi, seiring dengan tujuan keberlanjutan yang lebih luas. Dengan terus berkembangnya adopsi teknologi bus listrik di berbagai kota, penelitian dan pengembangan yang berkelanjutan akan sangat penting untuk mengatasi tantangan yang ada dan merealisasikan potensi bus listrik dalam menciptakan lingkungan perkotaan yang lebih bersih, pintar, dan sehat [13] [6] [19].

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1 Bahan Penelitian

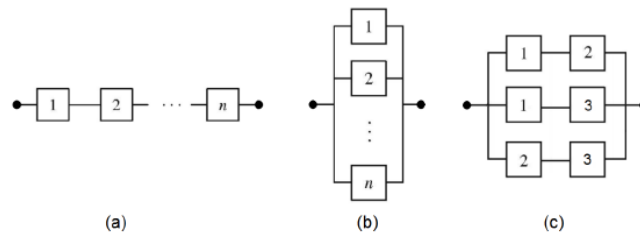
Penelitian ini menggunakan komponen baterai Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) yang diterapkan pada bus listrik medium. Data yang digunakan mencakup spesifikasi baterai, komponen sistem, serta data kegagalan yang diperoleh dari analisis operasional dan survei lapangan.

2.2 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari tiga teknik utama:

1. Reliability Block Diagram (RBD)

RBD digunakan untuk memodelkan keandalan sistem dengan menggambarkan hubungan antar komponen dalam bentuk blok. Setiap komponen diwakili oleh sebuah blok yang mengalirkan energi atau daya, dan keandalan sistem dihitung berdasarkan keandalan individu komponen. Penelitian ini memanfaatkan RBD untuk menganalisis dan mengidentifikasi komponen-komponen kritis dalam sistem baterai bus listrik.



Gambar 1. Reliability block diagram (a) series (b) Parallel (c) Two out of three [20]

2. Fault Tree Analysis (FTA)
 FTA adalah teknik analisis deduktif yang digunakan untuk mengidentifikasi penyebab kegagalan utama (top event) pada suatu sistem. Dengan menggunakan FTA, kita dapat menggali hubungan logis antar kegagalan dasar yang dapat menyebabkan kerusakan pada sistem. Metode ini juga memungkinkan kita untuk menghitung probabilitas kegagalan setiap komponen dalam sistem.
3. Risk-Based Inspection (RBI)
 Setelah mengidentifikasi komponen-komponen kritis dan tingkat risikonya, strategi inspeksi berbasis risiko (RBI) digunakan untuk mengoptimalkan jadwal inspeksi dan pemeliharaan. Komponen dengan PoF (Probability of Failure) tinggi akan diprioritaskan untuk inspeksi lebih sering, sementara komponen dengan PoF rendah dapat dijadwalkan inspeksi secara berkala namun dengan frekuensi yang lebih rendah.

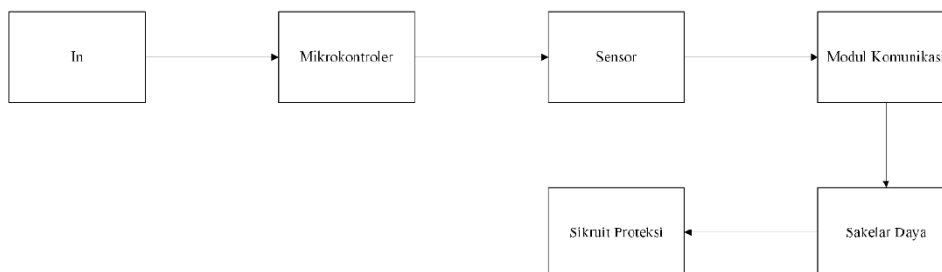


Gambar 2. Tujuan, Lingkup, dan Proses Perencanaan untuk Metodologi RBI [21]

3. Hasil dan Pembahasan

a. Reliability Block Diagram (RBD)

Reliability Block Diagram (RBD) digunakan untuk memodelkan keandalan sistem secara grafis, dengan menggambarkan setiap komponen utama dalam sistem serta hubungan antar komponen tersebut. Dalam konteks Battery Management System (BMS), RBD menggambarkan bagaimana berbagai sub-sistem yang terlibat dalam pengelolaan baterai saling berinteraksi untuk memastikan operasional yang aman dan efisien.



Gambar 3. Reliability Block Diagram Battery Management System

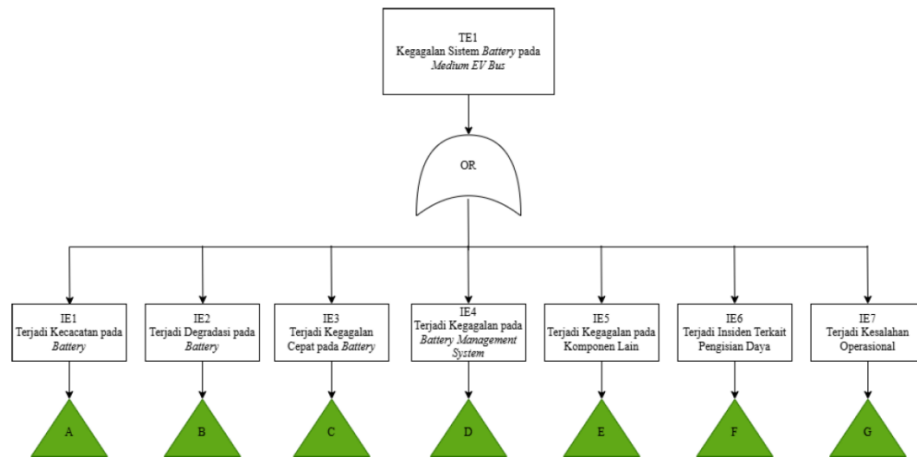
Pada diagram yang ditampilkan, komponen utama BMS terdiri dari mikrokontroler, sensor, modul komunikasi, sakelar daya, dan sirkuit proteksi. Masing-masing komponen ini memiliki peran vital dalam memantau dan mengatur kondisi sel baterai untuk menjaga kinerja yang optimal. Mikrokontroler bertanggung jawab untuk memproses informasi

yang diterima dari sensor dan kemudian mengirimkan data tersebut melalui modul komunikasi untuk mengontrol sirkuit proteksi yang menjaga baterai dari kondisi berbahaya, seperti overcharge atau overdischarge.

Keandalan dari setiap komponen dalam BMS dapat dihitung berdasarkan reliabilitas individu komponen-komponen tersebut. Jika salah satu komponen gagal, seluruh sistem BMS berpotensi tidak berfungsi dengan baik, yang dapat mempengaruhi kinerja baterai secara keseluruhan. Oleh karena itu, RBD berfungsi untuk menganalisis dan memprioritaskan komponen yang harus dijaga keandalannya untuk mengurangi risiko kegagalan sistem.

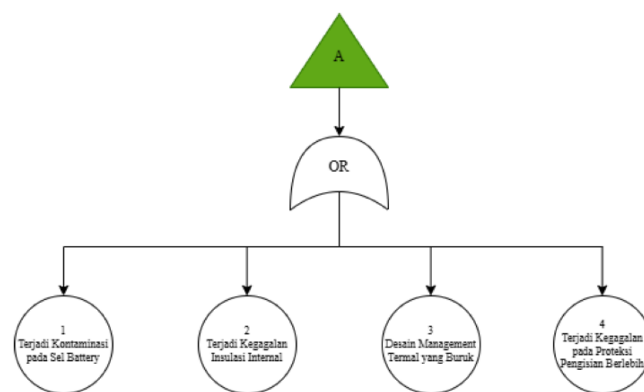
BMS yang efektif dan handal sangat penting dalam kendaraan listrik seperti bus listrik untuk memastikan keselamatan, efisiensi energi, dan umur panjang baterai. Dengan menggunakan RBD, kita dapat mengidentifikasi titik-titik kritis dalam BMS yang perlu perhatian khusus agar sistem tetap berfungsi dengan baik dalam jangka panjang.

b. Fault Tree Analysis



Gambar 4. Fault Tree Diagram Kegagalan Sistem Battery

Pada Gambar 4, diagram menunjukkan hubungan antara top event dan tujuh intermediate event tersebut, yang semuanya dipisahkan dengan simbol gerbang logika "OR". Hal ini mengindikasikan bahwa sistem baterai akan gagal jika salah satu dari kejadian-kejadian tersebut terjadi, yang menunjukkan bahwa kegagalan sistem dapat dipicu oleh berbagai penyebab.



Gambar 5. IE 1 Terjadi Kecacatan Pada Batterai

Lebih lanjut, Gambar 5 menggambarkan rincian lebih lanjut dari IE1, yaitu terjadinya kecacatan pada baterai. Dalam fault tree untuk IE1, kegagalan dapat disebabkan oleh empat faktor utama: kerusakan pada sel baterai, kegagalan insulasi internal, desain manajemen termal yang buruk, dan kegagalan pada sistem proteksi pengisian daya. Masing-masing faktor ini menggambarkan kondisi spesifik yang dapat berkontribusi pada kegagalan baterai dan perlu dianalisis untuk memastikan keandalan dan keamanan operasional sistem baterai.

Melalui analisis FTA ini, kita dapat mengidentifikasi komponen-komponen kritis yang memiliki pengaruh besar terhadap kegagalan sistem baterai. Dengan mengetahui penyebab potensial kegagalan, langkah-langkah mitigasi yang tepat dapat diterapkan untuk mengurangi risiko dan meningkatkan keandalan keseluruhan dari sistem baterai pada bus listrik.

c. Risk Based Inspection (RBI)

Risk-Based Inspection (RBI) adalah pendekatan sistematis yang digunakan untuk mengelola risiko kegagalan peralatan dengan mengoptimalkan jadwal inspeksi berdasarkan probabilitas dan konsekuensi kegagalan. Dalam konteks sistem baterai pada bus listrik medium, RBI bertujuan untuk memastikan keandalan sistem sambil meminimalkan biaya perawatan dan risiko keselamatan. Dengan pendekatan ini, komponen-komponen sistem baterai diklasifikasikan berdasarkan Probability of Failure (PoF) ke dalam kategori risiko tinggi, sedang, dan rendah. Komponen dengan PoF tinggi, seperti fuse dan relay serta sistem pendingin, diprioritaskan untuk inspeksi lebih sering guna mencegah kegagalan kritis.

Sebagai contoh, komponen Fuse dan Relay memiliki $PoF = 0,4080$ (tinggi), sehingga inspeksi dilakukan setiap 3 bulan (~21.620 km atau ~1.081 jam). Alat yang digunakan untuk inspeksi ini meliputi multimeter (untuk mengukur kontinuitas dan resistansi), insulation resistance tester (untuk memeriksa isolasi listrik), dan oscilloscope (untuk menganalisis sinyal relay). Selain itu, penggantian preventif harus dilakukan jika fuse/relay mendekati batas umur (~4.500 jam).

Komponen Sistem Pendingin memiliki $PoF = 0,3815$ (tinggi), sehingga inspeksi dilakukan dengan frekuensi yang sama, yaitu setiap 3 bulan (~21.620 km atau ~1.081 jam). Alat inspeksi yang digunakan mencakup thermal imaging camera (untuk mendeteksi hotspot suhu), flow meter (untuk memeriksa aliran coolant), dan multimeter/current clamp (untuk mengukur arus berlebih), serta pH meter/test kit coolant (untuk menguji kualitas coolant).

Komponen lainnya dengan PoF sedang (0,1–0,3), seperti Konektor ($PoF = 0,1944$), Sensor ($PoF = 0,1650$), Casing ($PoF = 0,1343$), dan Pengisian Daya ($PoF = 0,1132$), diinspeksi setiap 6 bulan (~43.240 km atau ~2.162 jam). Alat yang digunakan termasuk multimeter, thermal imaging camera, torque wrench, dan endoskopi/borescope untuk mendeteksi kerusakan atau ketidaksesuaian pada konektor, serta untuk memeriksa kekencangan dan kondisi fisik konektor.

Kesalahan Operasional ($PoF = 0,1025$) juga memiliki PoF sedang, yang mempengaruhi prosedur operasional dan pengoperasian bus listrik. Inspeksi dilakukan setiap 6 bulan dengan menggunakan checklist prosedur perawatan, laptop untuk pelatihan (untuk simulasi pelatihan operator), dan log operasional (untuk menganalisis data penggunaan).

Komponen dengan PoF rendah ($<0,1$), seperti Modul Baterai ($PoF = 0,0916$) dan BMS ($PoF = 0,0469$), diinspeksi setiap 12 bulan (~86.501 km atau ~4.325 jam). Alat yang digunakan meliputi battery tester/analyzer, insulation resistance tester, thermal imaging camera, dan endoskopi untuk memeriksa kondisi baterai secara menyeluruh.

Dengan demikian, Rencana Inspeksi berbasis PoF ini memprioritaskan komponen dengan PoF tinggi untuk inspeksi lebih sering, seperti fuse dan relay serta sistem pendingin, dengan frekuensi inspeksi lebih sering (setiap 3 bulan). Komponen dengan PoF sedang dan rendah diinspeksi dengan frekuensi lebih jarang (setiap 6 bulan dan 12 bulan). Pendekatan ini memungkinkan deteksi dini potensi kegagalan, yang membantu mengoptimalkan biaya perawatan dan memastikan keandalan operasional sistem baterai bus listrik.

4. Kesimpulan

penelitian ini menggabungkan tiga metode utama—Reliability Block Diagram (RBD), Fault Tree Analysis (FTA), dan Risk-Based Inspection (RBI)—untuk memastikan keandalan sistem baterai pada bus listrik medium.

1. Reliability Block Diagram (RBD) digunakan untuk memodelkan keandalan sistem baterai secara grafis. Hasil RBD menunjukkan bahwa komponen-komponen kritis dalam Battery Management System (BMS), seperti mikrokontroler, sensor, sakelar daya, dan sirkuit proteksi, memiliki peran vital dalam menjaga kinerja baterai. Keandalan masing-masing komponen dihitung berdasarkan reliabilitas individu, dan RBD berfungsi untuk mengidentifikasi titik kritis yang perlu diprioritaskan dalam pemeliharaan.
2. Fault Tree Analysis (FTA) mengidentifikasi penyebab kegagalan sistem baterai melalui analisis top event dan intermediate events. Fokus utama adalah IE1 (Kecacatan pada Baterai), yang dapat disebabkan oleh kerusakan pada sel baterai, kegagalan insulasi internal, desain manajemen termal yang buruk, dan kegagalan proteksi pengisian daya. Masing-masing penyebab ini perlu diperiksa secara mendalam untuk mencegah terjadinya kegagalan.
3. Risk-Based Inspection (RBI) adalah pendekatan yang digunakan untuk memprioritaskan inspeksi berdasarkan tingkat Probability of Failure (PoF) komponen. Komponen dengan PoF tinggi, seperti fuse dan relay serta sistem pendingin, diprioritaskan untuk inspeksi lebih sering, sementara komponen dengan PoF sedang dan rendah diinspeksi dengan frekuensi lebih jarang. Pendekatan ini membantu mengidentifikasi dan mengurangi risiko kegagalan sistem secara efisien, serta mengoptimalkan biaya pemeliharaan.

Secara keseluruhan, ketiga metode ini bekerja secara sinergis untuk memastikan keandalan sistem baterai bus listrik, mendeteksi potensi masalah lebih dini, dan mengurangi risiko kegagalan. Penggunaan RBD dan FTA untuk mengidentifikasi komponen dan kegagalan kritis, bersama dengan strategi inspeksi berbasis PoF, memberikan pendekatan yang komprehensif untuk meningkatkan keandalan dan efisiensi operasional sistem baterai.

5. Daftar Pustaka

- [1] Blaabjerg, F., Yang, Y., Yang, D., Wang, X., 2017, "Distributed power-generation systems and protection," *Proc. IEEE*, vol. 105, no. 7, pp. 1311–1331, Jul.
- [2] Knappik, G., Schwab, J., 2019, "The advantages of 48-volt vehicle electronics," *Veh. Technol.*, Sep. 2019. [Online]. Available: <https://www.mes-insights.com/the-advantages-of-48-voltvehicle-electronics-a-867979/>
- [3] Kramer, U., Ortloff, F., Stollenwerk, S., 2018, "Defossilizing the Transportation Sector: Options and Requirements for Germany," Frankfurt, Germany: FVV. [Online]. Available: https://www.fvvnet.de/fileadmin/user_upload/medien/materialien/FVV_Future_Fuels_Study_report_Defossilizing_the_transportation_sector_R586_final_v.3_2019-06-14_EN.pdf
- [4] Bloomberg, 2020, "Electrical Vehicles Outlook 2020," New York, NY, USA, Bloomberg, 2020.
- [5] Sui, Y., Zhang, H., Shang, W., Sun, R., Wang, C., Jie, J., 2020, "Mining urban sustainable performance: spatio-temporal emission potential changes of urban transit buses in post-covid-19 future," *Applied Energy*, vol. 280, p. 115966. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115966>
- [6] Mihăilescu, S., Praporgescu, G., 2022, "Public transport analysis in the Petroșani basin in the context of the need for sustainable mobility," *Matec Web of Conferences*, vol. 354, p. 00065. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202235400065>
- [7] Varga, B., Mariașiu, F., Miclea, C., Szabo, I., Sirca, A., Vlad, N., 2020, "Direct and indirect environmental aspects of an electric bus fleet under service," *Energies*, vol. 13, no. 2, p. 336. <https://doi.org/10.3390/en13020336>
- [8] Son, J., Kim, J., Lee, W., Han, S., 2022, "Willingness to pay for the public electric bus in Nepal: a contingent valuation method approach," *Sustainability*, vol. 14, no. 19, p. 12830. <https://doi.org/10.3390/su141912830>
- [9] Cheng, Y., Wang, W., Ding, Z., He, Z., 2019, "Electric bus fast charging station resource planning considering load aggregation and renewable integration," *IET Renewable Power Generation*, vol. 13, no. 7, p. 1132-1141. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2018.5863>
- [10] Haces-Fernandez, F., 2024, "Framework to develop electric school bus vehicle-to-grid (esb v2g) systems supplied with solar energy in the United States," *Energies*, vol. 17, no. 12, p. 2834. <https://doi.org/10.3390/en17122834>
- [11] Gao, Z., Lin, Z., LaClair, T., Liu, C., Li, J., Birky, A., 2017, "Battery capacity and recharging needs for electric buses in city transit service," *Energy*, vol. 122, p. 588-600. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.01.101>
- [12] Liu, Z., Song, Z., He, Y., 2018, "Planning of fast-charging stations for a battery electric bus system under energy consumption uncertainty," *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2672, no. 8, p. 96-107. <https://doi.org/10.1177/0361198118772953>
- [13] Wang, Y., Lu, C., Bi, J., Sai, Q., Qu, X., 2023, "Lifecycle cost optimization for electric bus systems with different charging methods: collaborative optimization of infrastructure procurement and fleet scheduling," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 24, no. 3, p. 2842-2861. <https://doi.org/10.1109/tits.2022.3223028>
- [14] Chong, U., Yim, S., Barrett, S., Boies, A., 2014, "Air quality and climate impacts of alternative bus technologies in Greater London," *Environmental Science & Technology*, vol. 48, no. 8, p. 4613-4622. <https://doi.org/10.1021/es4055274>
- [15] Momenitabar, M., Ebrahimi, Z., Mattson, J., Hough, J., 2023, "Designing an electric transit route network utilizing energy storage technology to mitigate annual demand charge," *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2677, no. 8, p. 158-174. <https://doi.org/10.1177/03611981231155904>
- [16] Abdelouahed, A., Berrada, A., Mrabet, R., 2023, "Techno-economic study for the implementation of electric buses for sustainable urban and interurban transportation," *Environmental Progress & Sustainable Energy*, vol. 43, no. 1, 2023. <https://doi.org/10.1002/ep.14278>
- [17] Cheng, H., Huang, M., Liu, L., Ru, H., 2023, "Demand response aggregation service strategy for electric buses," p. 62, 2023. <https://doi.org/10.1117/12.2685954>
- [18] Würtz, S., Bogenberger, K., Göhner, U., Rupp, A., 2024, "Towards efficient battery electric bus operations: a novel energy forecasting framework," *World Electric Vehicle Journal*, vol. 15, no. 1, p. 27. <https://doi.org/10.3390/wevj15010027>
- [19] Zhang, Y., Deng, J., Zhu, K., Tao, Y., Liu, X., Cui, L., 2021, "Location and expansion of electric bus charging stations based on gridded affinity propagation clustering and a sequential expansion rule," *Sustainability*, vol. 13, no. 16, p. 8957. <https://doi.org/10.3390/su13168957>
- [20] Callou, Gustavo, et al. "An integrated modeling approach to evaluate and optimize data center sustainability, dependability and cost." *Energies* 7.1 (2014): 238-277.
- [21] Huang, Y., Qin, G., & Yang, M. (2023). "A risk-based approach to inspection planning for pipelines considering the coupling effect of corrosion and dents." *Process Safety and Environmental Protection*, 180, 588-600.