

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian mengenai optimalisasi kinerja baterai bus listrik low entry dengan menggunakan metode Fault Tree Analysis (FTA) di PT Transportasi Jakarta, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penerapan metode fault tree analysis dalam konteks bus listrik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *fault tree analysis* (FTA) merupakan pendekatan yang sangat efektif dan tepat guna dalam mengidentifikasi serta mengevaluasi berbagai risiko yang mempengaruhi performa kerja baterai pada bus listrik *low entry*. FTA mampu menguraikan dari secara hierarkis dari kejadian puncak (*top event*) hingga akar penyebab utama yang bersifat teknis maupun non teknis. Risiko-risiko tersebut termasuk perilaku pengemudi yang tidak sesuai standar operasional, kondisi pengisian daya yang tidak optimal, hingga malfungsi komponen penting seperti sistem pendingin baterai dan modul kontrol (*Battery Management System*). Dengan pemetaan logika yang jelas melalui diagram pohon kesalahan, FTA membantu mengarahkan analisis risiko ke aspek-aspek paling kritis yang memerlukan intervensi segera.

2. Faktor Risiko dominan terhadap Penurunan kinerja Baterai

Dari hasil observasi dan analisis, dapat disimpulkan bahwa faktor dengan dampak paling signifikan terhadap penurunan efisiensi dan keandalan kinerja baterai adalah perilaku pengemudi, seperti akselerasi mendadak, pengereman yang tidak terkontrol, serta kebiasaan penggunaan perangkat elektronik secara berlebihan selama operasi. Risiko ini diperkuat oleh kondisi topografi medan jalan yang tidak seragam - terutama pada rute dengan tanjakan atau kemacetan tinggi - yang memaksa baterai bekerja lebih keras untuk mempertahankan daya dorong. Selain itu, beban penumpang

berlebih yang melebihi kapasitas desain bus turut mempercepat laju konsumsi daya. Yang tak kalah penting, kerusakan pada sistem kendali baterai, seperti inverter, sistem monitoring suhu, serta ketidakseimbangan sel dalam paket baterai, menjadi pemicu utama degradasi lebih cepat dan meningkatkan potensi shutdown operasional secara mendadak.

3. Variasi Konsumsi Baterai berdasarkan jenis armada dan pola operasional

Berdasarkan hasil dokumentasi data lapangan pada rute 4C (Pemuda Merdeka – Bundaran Senayan), ditemukan bahwa konsumsi energi baterai per ritase berbeda-beda pada ketiga jenis armada yang digunakan, yaitu Skywell 12M LE, BYD 12M LE, dan SAG Golden Dragon 12M LE. Perbedaan ini dipengaruhi oleh sejumlah parameter, antara lain:

- a. Kondisi lalu lintas harian yang fluktuatif, terutama pada jam sibuk, yang memaksa bus untuk berhenti dan berjalan secara berulang (*stop-and-go traffic*).
- b. Frekuensi pemberhentian yang tinggi di sepanjang koridor membuat sistem propulsi bekerja lebih intensif.
- c. Durasi operasional yang panjang dari pagi hingga malam hari menyebabkan penurunan State of Charge (SoC) secara signifikan, rata-rata sebesar 30–45% dalam satu sesi operasional.

Pola penurunan SoC yang terekam secara konsisten pada unit Skywell, BYD, dan SAG mengindikasikan bahwa tanpa adanya optimalisasi manajemen energi dan intervensi teknis, risiko kehilangan efisiensi energi dan gangguan kelangsungan operasional akan terus meningkat seiring bertambahnya beban operasional Baterai.

V.2. Saran

V.2.1. Saran

Berdasarkan penelitian diatas, penulis memberikan beberapa saran yang diharapkan dapat membantu PT Transportasi Jakarta dan pihak terkait dalam meningkatkan kinerja baterai bus listrik, yaitu:

1. Peningkatan program edukasi dan sertifikasi pengemudi bus listrik.

Diperlukan adanya program edukasi yang lebih komprehensif dan berkelanjutan bagi seluruh pramudi baik listrik maupun konvensional, yang lebih diutamakan yakni pramudi bus listrik yang bertugas. Pelatihan tersebut difokuskan pada teknik mengemudi hemat energi (*eco-driving*) yang meliputi:

- a. Penggunaan akselerasi yang bertahap dan pengereman regenerative
- b. Manajemen pemakaian kelistrikan dalam kabin
- c. Menghindari pramudi yang pola mengemudi agresif yang dapat membebani baterai

2. Implementasi sistem pemantauain Baterai yang terintegrasi dan berbasis real-time.

Untuk mengantisipasi Risiko teknis, disarankan untuk perusahaan agar mengembangkan sistem BMS yang terhubung secara langsung dengan kendali operasional. Pada sistem tersebut di lengkapi dengan:

- a. Sensor suhu, tegangan, arus tiap sel Baterai
- b. Dashboard biasa dipantau langsung oleh control center
- c. Notifikasi otomatis yang menginformasikan adanya potensi *overheating, overcharging, imbalance* antar sel, atau Penurunan SoC yang tidak wajar.

3. Optimalisasi rute operasional dan manajemen beban armada secara adaptif.

Kinerja Baterai bus listrik dipengaruhi oleh topografi rute, tingkat kemacetan lalu lintas, serta dari pola ritase yang dijalankan. Oleh karena itu agar dilakukan:

- a. Evaluasi terhadap rute yang menunjukkan konsumsi Baterai tinggi atau yang mengalami kasus kegagalan berulang

- b. Rotasi armada berbasis performa energi, yakni menugaskan unit dengan efisiensi terbaik pada rute dengan beban operasional yang cukup berat
- c. Penyediaan fasilitas fast charging di titik halte tertentu untuk mengurangi Risiko kehabisan daya pada saat operasional.

Selain itu, perlu mengembangkan sistem prediksi beban penumpang berbasis data historis untuk mencegah pengoperasian armada melebihi Kapasitas yang menurunkan efisiensi serta mempercepat keausan pada sistem kelistrikan.

V.2.2. Rekomendasi

1. Penerapan Sistem Pemantauan Kinerja Baterai Secara Digital dan Real-Time.

Untuk PT Transportasi Jakarta direkomendasikan dengan cara mengimplementasikan sistem pemantauan kinerja baterai berbasis digital secara real-time. Tujuannya adalah agar potensi gangguan atau penyimpangan kinerja baterai dapat terdeteksi sejak dini, sehingga tindakan pencegahan maupun penanganan dapat dilakukan sebelum terjadi kegagalan fungsi yang lebih serius.

2. Optimalisasi Pengisian dan Pengisian Armada Berdasarkan Pola Efisiensi Konsumsi Energi.

Disarankan agar dilakukan optimalisasi dalam hal penjadwalan pengisian daya serta pengugasan unit bus berdasarkan pola konsumsi energi yang telah teridentifikasi. Unit bus dengan tingkat konsumsi daya yang tinggi, seperti Skywell, lebih sesuai untuk dioperasikan pada rute jarak pendek. Sebaliknya, unit yang menunjukkan performa energi lebih stabil, seperti SAG, dapat ditugaskan pada rute dengan jarak tempuh menengah hingga jauh.

3. Pelatihan Bagi Pramudi (Sopir) Mengenai Teknik Mengemudi Hemat Energi (*Eco-Driving*).

Mengacu pada hasil temuan, perilaku mengemudi dari pramudi memberikan pengaruh langsung terhadap efisiensi penggunaan baterai. Oleh karena itu, perlu diadakan pelatihan secara berkala bagi seluruh pramudi yang mencakup penerapan teknik mengemudi hemat energi (*eco-driving*) guna meningkatkan efisiensi operasional armada.

4. Integrasi Metode Fault Tree Analysis (FTA) sebagai Standar Evaluasi Risiko Operasional.

Metode *Fault Tree Analysis* (FTA) terbukti efektif dalam menganalisis akar penyebab ketidaksiapan operasional armada. Oleh karena itu, metode ini direkomendasikan untuk diintegrasikan sebagai bagian dari prosedur operasional standar (SOP) perusahaan dalam melakukan evaluasi risiko serta pengambilan keputusan teknis secara terstruktur.

5. Pemanfaatan Data melalui Dashboard Visual untuk Mendukung Pengambilan Keputusan Berbasis Data Berupa Grafik.

Seluruh data terkait konsumsi baterai, waktu pengoperasian kendaraan, serta kejadian teknis disarankan untuk diolah dan ditampilkan dalam bentuk dashboard visual, seperti Looker Studio. Hal ini bertujuan untuk memberikan kemudahan dalam proses analisis dan pemantauan kinerja armada secara menyeluruh oleh tim manajemen.

6. Strategi Kolaborasi dengan Agen Pemegang Merek (APM) untuk Peningkatan Sistem Kelistrikan.

Berdasarkan hasil temuan lapangan, disarankan agar PT Transportasi Jakarta mewujudkan kolaborasi teknis secara berkelanjutan dengan pihak Agen Pemegang Merek (APM) seperti BYD, Skywell, dan SAG. Kolaborasi ini bertujuan untuk menerangi dan menyempurnakan sistem kelistrikan kendaraan, khususnya dalam aspek pengelolaan dan optimalisasi kinerja baterai.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdollahifar, M., Doose, S., Cavers, H., & Kwade, A. (2023). *Graphite Recycling from End-of-Life Lithium-Ion Batteries: Processes and Applications*. 2200368. <https://doi.org/10.1002/admt.202200368>
- Akhir, L. T., & Muharram, M. U. H. W. (2020). *PERAWATAN DAN PERBAIKAN MOBIL LISTRIK PADA*.
- Ariyanty, R. (2021). Penerapan Metode FMEA dan FTA Dalam Mengidentifikasi Penyebab Kerusakan Mesin Vertical Shaft Pada PT.Prima Karya Manunggal Pangkep. *Penerapan Metode Fmea Dan Fta Dalam Mengidentifikasi Penyebab Kerusakan Mesin Vertical Shaft Pada Pt. Prima Karya Manunggal Pangkep Tugas*, 10.
- As, S. A. B. A., & Mahar, A. (2023). *MODIFIKASI ALAT PERAGA UJI BENDING PADA LABORATORIUM PENGUJIAN*.
- Aulady, M. F. N., Nuciferani, F. T., & Wicaksono, S. B. (2018). *Application of Failure Mode Effects Analysis (FMEA) Method and Fault Tree Analysis (FTA) Towards Health and Occupational Safety on Jetty Project , Gresik , Indonesia*. 1(2), 100–108.
- Chen, C., Li, C., Reniers, G., & Yang, F. (2021). Safety and security of oil and gas pipeline transportation: A systematic analysis of research trends and future needs using WoS. *Journal of Cleaner Production*, 279, 123583. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123583>
- Chety, C., Rahmat, M., & Membala, S. (2023). *Analisis Kerugian Akibat Emisi Kendaraan Pribadi di Universitas Gadjah Mada dan Persepsi Mahasiswa Terhadap Trans Gadjah Mada Menggunakan Cost Based Method -Preventive Expenditure Analisis Kerugian Akibat Emisi Kendaraan Pribadi di Universitas Gadjah Mada dan Persepsi Mahasiswa Terhadap Trans Gadjah Mada*. April.
- Faqih, B. M., Akhir, T., Praktik, H., Lapangan, K., Niaga, J. A., & Jakarta, P. N. (2024). *KENDARAAN BERMOTOR PADA PT ASURANSI*.
- Gregory, M., Reguyal, F., Maria, V., Wang, K., & Sarmah, A. K. (2024). Science of the Total Environment Electrification of public buses in Jakarta , Indonesia : A life cycle study. *Science of the Total Environment*, 914(January), 169875. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.169875>
- Liu, F., Sun, G., Wu, H. Bin, Chen, G., Xu, D., Mo, R., Shen, L., Li, X., Ma, S., Tao, R., Li, X., Tan, X., Xu, B., Wang, G., Dunn, B. S., Sautet, P., & Lu, Y. (2020). electrochemical kinetics of lithium-sulfur batteries. *Nature Communications*, 2020, 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-19070-8>
- Maksimović, J., & Evtimov, J. (2023). Positivism and post-positivism as the basis of quantitative research in pedagogy. *Research in Pedagogy*, 13(1), 208–218.

<https://doi.org/10.5937/istrped2301208m>

- MANIK, T. (2020). *RECOVERY OF NICKEL FROM SPENT Ni-Cd BATTERIES BY LEACHING PROCESS: A REVIEW*.
- Meilani, H. (2023). *Kebijakan insentif kendaraan listrik 16*.
- Ninda Restu Anugrah, Lisy Fitria, A. D. (2022). *USULAN PERBAIKAN KUALITAS PRODUK MENGGUNAKAN METODE FAULT TREE ANALYSIS (FTA) DAN FAILURE MODE AND EFFECT*. 146–157.
- Otomotif, P. D. T., Transportasi, P., Bali, D., Samsam, D., Dwihartati, K. A., Otomotif, P. D. T., Transportasi, P., Bali, D., Samsam, D., Surya, K., Giri, K., Otomotif, P. D. T., Transportasi, P., Bali, D., Samsam, D., Rifai, R., Sasue, O., Transportasi, P., Bali, D., & Samsam, D. (2024). *SIMULASI PENERAPAN SENSOR TMP 36 , BUZZER DAN LED SEBAGAI INDIKATOR PENDETEKSI SUHU BATAS AMAN PADA BATERAI KENDARAAN LISTRIK*. 2(3), 510–518.
- Ph.D. Ummul Aiman, S. P. D. K. A. S. H. M. A. Ciq. M. J. M. P., Suryadin Hasda, M. P. Z. F., M.Kes. Masita, M. P. I. N. T. S. K., & M.Pd. Meilida Eka Sari, M. P. M. K. N. A. (2022). Metodologi Penelitian Kuantitatif. In *Yayasan Penerbit Muhammad Zaini*.
- Por, S., & Verde, Q. (2023). *Universidad autónoma de nuevo león facultad de ciencias quimicas*.
- Prasetyo, H. E. (2020). *PEMODELAN SISTEM DISTRIBUSI ARUS SEARAH PADA KAPAL TRIMARAN BERTENAGA LISTRIK HYBRID BERBASIS ETAP 16.0.0*.
- Pratama, I. C. P. (2024). *OPTIMASI LOKASI CHARGING STATION KENDARAAN LISTRIK DI KOTA YOGYAKARTA MENGGUNAKAN METODE LOCATION ALLOCATION*.
- Setiyo, M. (2022). *Peluang dan Tantangan Implementasi Bahan Bakar Alternatif untuk Sektor Transportasi di Indonesia*.
- Shehabeldeen, A., Foda, A., & Mohamed, M. (2024). A multi-stage optimization of battery electric bus transit with battery degradation. *Energy*, 299(March), 131359. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.131359>
- Sinaga, D. H., & Hutajulu, O. Y. (2021). *PENGGUNAAN DAN PENGATURAN*.
- Suprihartini, L., Rinaldi, H., Saputra, H. M., Sulaiman, S., Tandra, R., & Krisandi, S. D. (2023). Pelatihan Penggunaan Aplikasi SPSS untuk Statistik Dasar Penelitian bagi Mahasiswa Se-kota Pontianak. *Kapuas*, 3(1), 35–39. <https://doi.org/10.31573/jk.v3i1.527>
- Syamroni, A. W., Kurniasari, A., Syamroni, A. W., Albachrony, M. A., Dinanta, G. P., Yogisworo, D., Jamaluddin, T. A. A., Basharah, A. A., Supriyadi, C., & Nandar, A. (2023). *Kyushu University Institutional Repository A Method Estimating Plug ' s Power Usage Pattern for Public Electric Vehicle Charging Stations within Multi-Uncertainty Parameters in Indonesia Urban Area A Method Estimating Plug ' s*

Power Usage Pattern for Public Electric Vehicle Charging Stations within Multi-Uncertainty Parameters in Indonesia Urban Area. 10(3), 1904–1915.

Szürke, S. K. (2024). *Analyzing Energy Efficiency and Battery Supervision in Electric Bus Integration for Improved Urban Transport Sustainability.*

Zhang, Y., Yuan, W. E. I., Fu, R. U. I., & Wang, C. (2019). Design of an Energy-Saving Driving Strategy for Electric Buses. *IEEE Access, PP, 1.*
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2950390>

Zidni, I. (2020). *ANALISIS EFISIENSI PENGISIAN MUATAN BATERAI LITHIUM IRON PHOSPHATE (LiFePO4) mencapai derajat Sarjana S1 Disusun oleh: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.*