

Tinjauan Literatur tentang Strategi Inovatif dalam Menangani Kebakaran pada Kendaraan Listrik

Supri Supri

Politeknik Penerbangan Indonesia Curug

Alamat: Jl. Raya PLP Curug Legok Tangerang

Korespondensi : supri.supri@ppicurug.ac.id

Abstract. *Electric Vehicles are vehicles that operate entirely or partially on electric motors, utilizing electrical energy stored in batteries or other rechargeable energy storage sources. The increasing use of electric vehicles also brings potential risks of new types of accidents, different from those associated with conventional internal combustion engine vehicles. Therefore, there is an urgent need to provide accurate information and appropriate handling related to electric vehicle technology, including hazard potential assessment, optimization of firefighting basics, selection of suitable firefighting agents, and the development of electric vehicle firefighting application methods. This study aims to understand the handling of electric vehicle fires using a literature review method on 10 research articles. The results show that 6 studies used water as a firefighting agent either alone or in combination with other agents such as CO₂, C₆F₁₂O, liquid nitrogen, foam, and fire blankets, making it more effective in extinguishing electric vehicle fires. However, one study does not recommend using water due to its environmental impact when extinguishing electric vehicle fires. The research findings indicate the need for further innovation and research in safety technology and firefighting for electric vehicles.*

Keywords: *Electric Vehicles, Lithium-ion Batteries, Firefighting Agents.*

Abstrak. Kendaraan Listrik adalah kendaraan yang beroperasi sepenuhnya atau sebahagian dengan motor listrik dan memanfaatkan energi listrik yang disimpan dalam baterai atau sumber penyimpanan energi lainnya yang bisa diisi ulang. Peningkatan penggunaan kendaraan listrik ini juga membawa potensi risiko kecelakaan baru yang berbeda dari kendaraan mesin pembakaran konvensional. Oleh karena itu, terdapat kebutuhan mendesak untuk menyediakan informasi dan penanganan yang tepat terkait teknologi kendaraan listrik termasuk penilai potensi bahaya, mengoptimalkan dasar-dasar kegiatan pemadaman, memilih agen pemadam yang sesuai, serta mengembangkan metode aplikasi pemadaman kendaraan listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penanganan kebakaran kendaraan listrik dengan menggunakan metode literatur review pada 10 artikel penelitian. Hasil menunjukkan bahwa terdapat 6 penelitian yang menggunakan agen pemadam air baik secara tunggal maupun dikombinasikan dengan agen pemadam lainnya seperti CO₂, C₆F₁₂O, nitrogen cair, busa foam, selimut api sehingga lebih efektif dalam memadamkan kendaraan Listrik tetapi ada 1 penelitian yang tidak merekomendasikan penggunaan agen pemadam air karena air pemadaman kendaraan Listrik memiliki dampak pada lingkungan. Hasil penelitian menemukan bahwa perlunya inovasi dan penelitian lebih lanjut dalam teknologi keamanan dan pemadam kebakaran untuk kendaraan listrik.

Kata kunci : Kendaraan Listrik, Baterai lithium-ion, Agen Pemadam.

LATAR BELAKANG

Kendaraan listrik seperti yang dijelaskan oleh Udin dalam (Wahyudi, 2020), adalah kendaraan yang digerakkan dengan tenaga motor listrik dan menggunakan energi listrik yang disimpan dalam baterai atau tempat penyimpan energi lainnya. (Febrian, 2020) menambahkan bahwa kendaraan listrik adalah kendaraan yang sepenuhnya atau sebahagiannya digerakkan oleh motor menggunakan listrik di baterai dan baterainya dapat diisi ulang.

Perkembangan global menunjukkan bahwa penggunaan kendaraan listrik semakin meningkat sebagai bagian dari upaya pelestarian lingkungan. Menurut (Zhao et al., 2024) penjualan kendaraan listrik telah mencapai sekitar 10,2 juta unit pada tahun 2022, dengan total

Received: Oktober 01., 2023; Accepted: November 30, 2023; Published: November 30, 2023

* Supri Supri , supri.supri@ppicurug.ac.id

penggunaan global mencapai 25,9 juta kendaraan. Namun, peningkatan penggunaan kendaraan listrik ini juga membawa potensi risiko kecelakaan baru yang berbeda dari kendaraan mesin pembakaran konvensional. Telah terjadi beberapa kasus kebakaran pada kendaraan listrik, yang menimbulkan kekhawatiran mengenai keselamatan. Oleh karena itu, terdapat kebutuhan mendesak untuk menyediakan informasi dan penanganan yang tepat terkait teknologi kendaraan listrik dalam kasus kecelakaan. Banyak pusat keselamatan telah mulai mengantisipasi risiko ini dengan menilai potensi bahaya dan mengoptimalkan dasar-dasar kegiatan pemadaman, memilih agen pemadam yang sesuai, serta mengembangkan metode aplikasi pemadaman kendaraan listrik.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan dan menganalisis sistem pemadaman kebakaran yang efektif untuk kendaraan listrik. Fokus utama adalah pada bagaimana mengatasi risiko kebakaran yang berkaitan dengan sistem baterai kendaraan listrik dan cara efektif untuk meminimalisir kerusakan dalam kasus kebakaran.

METODE PENELITIAN

Desain penelitian ini adalah *Literature Review* atau tinjauan pustaka. Studi literature review adalah cara yang dipakai untuk mengumpulkan data atau sumber yang berhubungan pada sebuah topik tertentu yang bisa didapat dari berbagai sumber seperti jurnal, buku, internet, dan pustaka lain.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdapat 10 artikel hasil penelitian sebagai pengumpulan data di dalam penelitian ini. Artikel-artikel hasil penelitian tersebut dipilih secara random yang fokus pada penanganan kebakaran kendaraan listrik. Artikel-artikel tersebut digolongkan ke dalam beberapa bagian, seperti lokasi penelitian, metode penelitian, hasil penelitian, dan lain sejenisnya.

Literature review ini merupakan hasil dari analisis 10 jurnal dengan batasan waktu selama 10 tahun terakhir. Jurnal yang digunakan dalam penelitian ini adalah jurnal publikasi internasional yang fokus pada penanganan kebakaran kendaraan listrik.

Terdapat banyak data penelitian dan juga fakta di lapangan mengenai penanganan kebakaran kendaraan listrik seperti hasil penelitian (Stave & Carlson, 2017) yang dilakukan di negara Swedia dengan judul penelitian "*A case study exploring firefighters' and municipal officials' preparedness for electrical vehicles*" menemukan bahwa petugas pemadam kebakaran hanya memiliki sedikit pengalaman dengan kecelakaan yang melibatkan kendaraan listrik dan cenderung belajar secara reaktif. Hasil ini menggaribawahi bahwa ada kebutuhan

mendesak untuk peningkatan pengetahuan mengenai identifikasi dan pemutusan arus listrik di kendaraan listrik. Selain itu, ditemukan bahwa tingkat pengetahuan tentang teknologi kendaraan baru bervariasi antar departemen.

Penelitian yang dilakukan oleh (Łebkowski, 2017) di Polandia dengan judul “*Electric Vehicle Fire Extinguishing System*” menemukan bahwa sistem pemadam kebakaran untuk kendaraan listrik, yang terintegrasi dengan sensor suhu, sensor api, dan sensor dampak, dirancang untuk memberikan peringatan dini kepada pengemudi tentang potensi kebakaran dan mengambil langkah-langkah pencegahan secara otomatis. Sistem ini menawarkan kelebihan dibandingkan metode pemutusan baterai konvensional dengan kemampuannya untuk secara aktif memerangi kebakaran. Selain itu, sistem ini dapat berkomunikasi dengan fasilitas diagnostik dan pemantauan lainnya, termasuk layanan notifikasi darurat dan diagnostik kendaraan dari jarak jauh. Pemasangan sistem ini tidak hanya dapat mengurangi risiko kerugian finansial akibat kebakaran tetapi juga meningkatkan keamanan bagi penumpang dan pengguna jalan lainnya. Ketika digabungkan dengan teknologi keamanan lainnya seperti sistem manajemen termal, manajemen baterai, dan desain sel yang proaktif, penerapan sistem pemadam kebakaran ini dapat meningkatkan keselamatan secara keseluruhan dan memperpanjang umur baterai kendaraan listrik.

Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Bisschop et al., 2020) yang dilakukan di negara swedia dengan judul penelitian “*Handling Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles: Preventing and Recovering from Hazardous Events*” menemukan bahwa bahwa penerapan sistem pemadaman kebakaran terintegrasi ke dalam baterai traksi dapat meningkatkan keselamatan kendaraan dengan mengontrol peristiwa termal dalam baterai tersebut. Pengujian menunjukkan bahwa sistem pemadaman kebakaran yang diterapkan secara internal ke dalam baterai dapat memperbaiki keselamatan dengan mengurangi risiko penyebaran kebakaran dan memperlambat laju penyebaran panas antar sel baterai. Hasil ini memberikan dasar untuk pengembangan lebih lanjut dari sistem keselamatan kebakaran untuk kendaraan listrik yang rusak, dengan fokus pada pencegahan dan pemulihan dari peristiwa berbahaya yang terkait dengan baterai lithium-ion.

Disamping pemasangan sistem pemadaman kebakaran terintegrasi kedalam baterai penting juga mendalami pengaruh pemanasan berlebih pada baterai lithium-ion yang ada pada kendaraan listrik. Hal ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh (Y. Huang et al., 2021) di China dengan judul penelitian “*Experimental investigation into the use of emergency spray on suppression of battery thermal runaway*” menemukan bahwa tingkat muatan baterai berpengaruh pada seberapa parah baterai mengalami pemanasan berlebih. Baterai dengan

muatan tinggi lebih mudah panas dan sulit untuk didinginkan. Baterai lithium-ion bisa didinginkan dengan cara penyemprotan pada tahap kedua dari proses pemanasan berlebih. Suhu di mana penyemprotan dimulai sangat menentukan seberapa mudah pemanasan berlebih dapat diatasi. Jika penyemprotan dimulai dekat dengan suhu di mana tegangan baterai mulai turun, penyemprotan dalam waktu singkat sudah cukup efektif. Namun, jika suhu awal penyemprotan tinggi, diperlukan waktu penyemprotan yang lebih lama. Durasi penyemprotan harus disesuaikan berdasarkan suhu awal. Ketika suhu awal tinggi, durasi penyemprotan perlu diperpanjang untuk memastikan baterai tidak terlalu panas setelah penyemprotan selesai. Memilih durasi yang tepat dapat menghemat jumlah cairan yang digunakan dan lebih ekonomis sambil tetap menjaga keamanan baterai.

Selain itu penggunaan agen pemadam juga menjadi hal penting dalam proses penanganan kebakaran kendaraan listrik. Seperti penelitian yang dilakukan oleh (Zhang et al., 2020) di china dengan judul penelitian "*Experimental study on the synergistic effect of gas extinguishing agents and water mist on suppressing lithium-ion battery fires*" menemukan bahwa metode pemadaman kebakaran sinergis (kombinasi agen pemadam gas dan kabut air) lebih efektif dibandingkan dengan penggunaan agen tunggal. Penggunaan kabut air saja hampir tidak dapat memadamkan api, sementara kombinasi agen pemadam gas dan kabut air dapat memadamkan api. Khususnya, $C_6F_{12}O$ dikombinasikan dengan kabut air menunjukkan efek pemadaman dan pendinginan terbaik. CO_2 dikombinasikan dengan kabut air memiliki manfaat ekonomi yang baik dan efek pemadaman kebakaran serta pendinginan yang lebih baik dalam eksperimen ini.

Adapun agen pemadam lainnya seperti penggunaan nitrogen cair yang dilakukan oleh (Z. Huang et al., 2021) di China menemukan bahwa pelepasan panas berlebih pada baterai dapat dicegah dengan cara menerapkan nitrogen cair sebelum suhu permukaan baterai mencapai suhu kritis yang biasanya menyebabkan pelepasan panas berlebih. Mereka menemukan bahwa efektivitas nitrogen cair dalam menunda pelepasan panas berlebih berkurang seiring dengan peningkatan suhu permukaan baterai. Dalam pengujian mereka, nitrogen cair seberat 29,3 gram berhasil diterapkan pada baterai, yang menurunkan suhu baterai dari kira-kira 700 derajat Celcius menjadi kurang dari 100 derajat Celcius dalam waktu 80 detik. Hal ini menunjukkan bahwa nitrogen cair sangat efektif dalam mendinginkan baterai yang panas. Namun, mereka juga menemukan bahwa seiring dengan penurunan suhu permukaan baterai, efektivitas pendinginan nitrogen cair berkurang. Tingkat pendinginan rata-rata turun dari 10.3 derajat Celcius per detik menjadi 2.84 derajat Celcius per detik saat suhu permukaan baterai menurun dari 800 derajat Celcius menjadi 0 derajat Celcius. Temuan ini

menunjukkan bahwa meskipun nitrogen cair sangat efektif dalam mendinginkan baterai yang sangat panas, efektivitasnya menurun seiring dengan penurunan suhu permukaan baterai.

Beberapa penelitian dengan menggunakan agen pemadam air seperti yang dilakukan oleh (Lim et al., 2021) di Korea Selatan menemukan bahwa penerapan agen pemadam berbasis air menyebabkan penurunan suhu di dalam paket baterai, tetapi suhu dalam modul baterai sulit didinginkan hingga suhu sekitar meskipun menggunakan sejumlah besar air (3000-5000 L) selama 40 menit atau lebih. Adapun penelitian lainnya dengan agen pemadam yang sama tetapi menggunakan metode penyemprotan kabut seperti penelitian yang dilakukan oleh (Zhang et al., 2020), (Li et al., 2023) dan (Zhao et al., 2024) di China menemukan bahwa penggunaan kabut air dapat efektif dalam menghambat dan mengelola pelarian panas termal pada baterai. Kabut air, bila dilepaskan sebelum terjadinya pelarian panas termal, dapat mencegah perkembangannya dan meningkatkan laju pendinginan hingga lebih dari 10 kali. Meskipun kabut air tidak mampu mencegah pelarian panas termal sepenuhnya setelah dimulai, ia berperan penting dalam mempersingkat durasi dan waktu pendinginan yang diperlukan. Selain itu, kabut air berkontribusi dalam mendinginkan dan memampatkan panas, mengubah morfologi api menjadi bentuk kerucut, serta mempertahankan laju pendinginan yang efisien. Kabut air halus juga berperan dalam menurunkan suhu dan laju pelepasan panas api, meskipun kapasitas alirannya yang rendah tidak memadai untuk memadamkan api di ruang penumpang atau menghentikan pelarian termal baterai sepenuhnya. Energi kinetik dari alat kabut air halus dapat mempengaruhi penyebaran api di bodi mobil, sehingga penggunaan kabut air melalui bukaan pada bodi mobil mungkin menjadi pendekatan yang masuk akal dalam pengelolaan api pada kendaraan listrik.

Selain metode kabut, adapun metode lain dalam penggunaan agen pemadam air yaitu penggunaan penghalang banjir seperti yang telah dilakukan oleh (Lim et al., 2021) di Korea Selatan menemukan bahwa penggunaan penghalang banjir menunjukkan efektivitas yang lebih tinggi dalam merespons kebakaran baterai lithium-ion pada kendaraan listrik, terutama setelah air berhasil menembus celah-celah paket baterai yang rusak, yang secara langsung mendinginkan baterai di dalamnya. Hal ini menunjukkan bahwa strategi efektif untuk menanggapi kebakaran mobil listrik mungkin memerlukan pendekatan untuk menyuntikkan agen pemadaman secara langsung ke dalam paket LIB daripada mendinginkannya secara tidak langsung dari luar. Sedangkan penggunaan agen pemadam busa foam yang dilakukan oleh (Zhao et al., 2024) di China menemukan bahwa membutuhkan waktu 90 detik untuk memadamkan api; rata-rata laju pendinginan sekitar $-9,8$ °C/detik, namun reaksi dalam baterai masih aktif dan memerlukan pendinginan untuk waktu yang lama.

Dari sisi lain penggunaan agen pemadam air untuk kendaraan listrik menimbulkan dampak seperti hasil penelitian yang dilakukan oleh (Quant et al., 2023) di swedia dengan judul penelitian “Ecotoxicity Evaluation of Fire-Extinguishing Water from Large-Scale Battery and Battery Electric Vehicle Fire Tests” menemukan bahwa air pemadam kebakaran dari uji coba memiliki toksisitas tinggi terhadap spesies akuatik yang diuji. Analisis air pemadam mengungkapkan konsentrasi beberapa logam dan ion yang melebihi nilai panduan air permukaan yang sesuai. Senyawa polifluoroalkil (PFAS) juga terdeteksi dalam konsentrasi yang signifikan. Penelitian ini menyoroti pentingnya memahami dampak lingkungan dari air pemadam kebakaran yang digunakan dalam kebakaran baterai dan kendaraan listrik, serta perlunya strategi mitigasi untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Adapun peralatan lainnya seperti penggunaan selimut api yang telah dilakukan penelitian oleh (Lim et al., 2021) di korea Selatan dan (Zhao et al., 2024) di China menemukan bahwa penggunaan selimut api menunjukkan efektivitas terbatas dalam merespons kebakaran kendaraan listrik. Selimut tersebut dapat menghambat penyebaran api dan panas radiasi tetapi tidak efektif dalam mendinginkan baterai lithium-ion yang mengalami panas berlebih.

Dari analisis di atas dapat digolongkan pada 4 varian temuan di lapangan; pertama, terdapat 6 hasil penelitian yang menggunakan bahan agen pemadam menggunakan air dalam hal pemadaman kendaraan listrik tetapi dengan metode yang berbeda seperti penyemprotan metode kabut, penahan banjir dan penggunaan busa foam tetapi tidak secara efektif memadamkan kendaraan listrik karena masih membutuhkan waktu yang relatif lama dalam pemadaman kemudian di gabungkan dengan agen pemadam lainnya seperti Air, CO₂, C₆F₁₂O, cairan nitrogen dan selimut api yang memiliki dampak lebih efektif dalam pemadaman kebakaran kendaraan listrik; kedua, terdapat 2 hasil penelitian yang pada dasarnya menyarankan adanya pemasangan sistem pemadaman kebakaran terintegrasi kedalam baterai sehingga dapat meningkatkan keselamatan secara keseluruhan dan memperpanjang umur baterai kendaraan listrik; ketiga terdapat 1 hasil penelitian yang menyarankan agar petugas pemadam untuk perlunya pelatihan khusus terkait kendaraan listrik karena hal ini berbeda dengan kendaraan konvensional pada umumnya; keempat terdapat 1 hasil penelitian yang tidak merekomendasikan penggunaan agen pemadam air karena memiliki dampak lingkungan dari air pemadam kebakaran yang digunakan dalam kebakaran baterai dan kendaraan listrik.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kebakaran pada kendaraan listrik membutuhkan pendekatan yang berbeda dari kendaraan konvensional karena kompleksitas teknologi baterai lithium-ion. Perlunya pelatihan

husus untuk petugas pemadam kebakaran, pengembangan sistem pemadam kebakaran yang terintegrasi dengan kendaraan, pemilihan agen pemadam yang tepat, dan pertimbangan dampak lingkungan merupakan aspek penting yang harus diperhatikan dalam meningkatkan keselamatan kendaraan listrik. Ini juga menunjukkan perlunya inovasi dan penelitian lebih lanjut dalam teknologi keamanan dan pemadam kebakaran untuk kendaraan listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Bisschop, R., Willstrand, O., & Rosengren, M. (2020). Handling Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles: Preventing and Recovering from Hazardous Events. *Fire Technology*, 56(6), 2671–2694. <https://doi.org/10.1007/s10694-020-01038-1>
- Febrian, D. (2020). *Chassis Kendaraan Ringan*. CV. Budi Utama.
- Huang, Y., Wu, Y., & Liu, B. (2021). Experimental investigation into the use of emergency spray on suppression of battery thermal runaway. *Journal of Energy Storage*, 38(February), 102546. <https://doi.org/10.1016/j.est.2021.102546>
- Huang, Z., Liu, P., Duan, Q., Zhao, C., & Wang, Q. (2021). Experimental investigation on the cooling and suppression effects of liquid nitrogen on the thermal runaway of lithium ion battery. *Journal of Power Sources*, 495(November 2020), 229795. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2021.229795>
- Łebkowski, A. (2017). Electric vehicle fire extinguishing system. In *Przegląd Elektrotechniczny*. pe.org.pl. <http://pe.org.pl/articles/2017/1/77.pdf>
- Li, Q., Yu, J., Liu, G., Ma, X., Si, W., Hu, X., Zhu, G., & Liu, T. (2023). Study on the Effectiveness of Water Mist on Suppressing Thermal Runaway in LiFePO₄ Batteries. *Crystals*, 13(9), 1–19. <https://doi.org/10.3390/cryst13091346>
- Lim, O. K., Kang, S., Kwon, M., & Choi, J. Y. (2021). Full-scale Fire Suppression Tests to Analyze the Effectiveness of Existing Lithium-ion Battery Fire Response Procedures for Electric Vehicle Fires. *Fire Science and Engineering*, 35(6), 21–29. <https://doi.org/10.7731/kifse.8172e9b4>
- Quant, M., Willstrand, O., Mallin, T., & Hynynen, J. (2023). Ecotoxicity Evaluation of Fire-Extinguishing Water from Large-Scale Battery and Battery Electric Vehicle Fire Tests. *Environmental Science and Technology*, 57(12), 4821–4830. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c08581>
- Stave, C., & Carlson, A. (2017). A case study exploring firefighters' and municipal officials' preparedness for electrical vehicles. *European Transport Research Review*, 9(2). <https://doi.org/10.1007/s12544-017-0240-1>
- Wahyudi, D. (2020). *Mesin Hybrid*. CV. Budi Utama.
- Zhang, L., Li, Y., Duan, Q., Chen, M., Xu, J., Zhao, C., Sun, J., & Wang, Q. (2020). Experimental study on the synergistic effect of gas extinguishing agents and water mist on suppressing lithium-ion battery fires. *Journal of Energy Storage*, 32(June), 101801. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101801>
- Zhao, C., Hu, W., Meng, D., Mi, W., Wang, X., & Wang, J. (2024). Full-scale experimental study of the characteristics of electric vehicle fires process and response measures. *Case Studies in Thermal Engineering*, 53(September 2023), 103889. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103889>