



Keselamatan dan Proteksi Baterai Sepeda Motor Listrik: Studi Kasus Analisis Kegagalan Pada Insiden Kebakaran Kapal Motor Penumpang (KMP) Tranship 1

R. Hanggoro Ananta Khrisna^{1,2*}, Yanto¹, Arka Dwinanda Soewono²

¹Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi , Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

²Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

E-mail: ronie_yuwono@yahoo.co.id

ABSTRAK

Penggunaan sepeda motor listrik di Indonesia mengalami pertumbuhan pesat seiring dengan dorongan penggunaan transisi energi berkelanjutan. Namun, aspek keselamatan baterai menjadi tantangan penting, terutama pada jenis Lithium-ion dan Sealed Lead Acid (SLA). Kajian ini bertujuan untuk melakukan analisis kegagalan terkait dengan insiden kebakaran yang terjadi pada Kapal Motor Penumpang (KMP) Tranship 1 yang diduga dipicu oleh baterai Lithium-ion dari sepeda motor listrik yang tidak memiliki sistem proteksi memadai. Metode yang digunakan mencakup diagram *Fishbone* dan diagram pohon akar penyebab kesalahan (*Fault Tree Analysis*) berdasarkan data hasil studi kasus lapangan, peninjauan sistem proteksi pada motor listrik produksi lokal, serta kajian literatur teknis. Hasil analisis akar penyebab masalah dengan diagram *Fishbone* menunjukkan bahwa beberapa faktor seperti kesalahan penggunaan dan pada saat pengisian daya, metode pengangkutan yang tidak tepat, kondisi lingkungan ekstrem, dan kerusakan peralatan dapat berkontribusi terhadap risiko kebakaran. Hasil Fault Tree Analysis (FTA) menunjukkan bahwa sistem sekring, pemutus arus, dan ventilasi memegang peranan penting dalam mencegah insiden kebakaran atau ledakan dari baterai kendaraan listrik. Studi ini merekomendasikan penerapan sistem proteksi berlapis, penggunaan charger sesuai standar, serta penyusunan regulasi nasional yang mengadopsi standar keselamatan internasional. *Battery Management System* (BMS).

Kata kunci :

Keselamatan baterai; Pencegahan kebakaran; Sepeda motor listrik; Sistem perlindungan baterai; Thermal runaway

ABSTRACT

The adoption of electric motorcycles in Indonesia has seen rapid growth, driven by the push toward a sustainable energy transition. However, battery safety remains a significant concern, particularly with Lithium-ion and Sealed Lead Acid (SLA) battery types. This study aims to analyze the failure mechanisms behind a fire incident on the passenger motor vessel (KMP) Tranship 1, which was allegedly triggered by a Lithium-ion battery from an electric motorcycle lacking an adequate protection system. The analysis employs Fishbone Diagrams and Fault Tree Analysis (FTA), drawing on data from field case studies, evaluations of protection systems in locally manufactured electric motorcycles, and a review of relevant technical literature. The root cause analysis using the Fishbone Diagram identifies several contributing factors to fire risk, including improper usage and charging practices, inadequate transportation methods, extreme environmental conditions, and equipment failure. Findings from the Fault Tree Analysis highlight the critical role of safety components such as fuses, circuit breakers, and ventilation systems in preventing battery-related fires or explosions in electric vehicles. Based on these findings, the study recommends the implementation of multilayered protection systems, the use of standardized chargers, and the development of national regulations aligned with international safety standards. The incorporation of a Battery Management System (BMS) is also strongly recommended to enhance battery safety and reliability.

Keywords :

Battery protection system; Battery safety; Electric motorcycle, Fire prevention, Thermal runaway

1. PENDAHULUAN

Sepeda motor listrik semakin populer sebagai sarana transportasi yang ramah lingkungan dan bebas emisi di Indonesia. Namun, aspek keamanan baterai sepeda motor listrik menjadi perhatian serius mengingat beberapa insiden kebakaran baterai kendaraan listrik telah terjadi [1]. Baterai Lithium-ion (Li-ion) umum digunakan karena densitas energinya tinggi, bobotnya ringan, dan siklus hidup panjang dibanding baterai timbal-asam (*Sealed Lead Acid* atau SLA) tradisional [2], [3]. Densitas energi baterai Li-ion dapat mencapai sekitar 100–265 Wh/kg [4], jauh melebihi baterai SLA yang memiliki kapasitas kurang dari 50 Wh/kg [5]. Keunggulan ini memungkinkan motor listrik menempuh jarak lebih jauh dengan baterai lebih kecil, tetapi juga membawa risiko keselamatan karena material internal baterai Li-ion seperti elektrolit dan material *separator* bersifat mudah terbakar [6]. Sebaliknya, baterai SLA memiliki energi lebih rendah namun mengandung asam dan menghasilkan gas hidrogen pada kondisi *overcharge* yang dapat memicu ledakan jika terperangkap tanpa ventilasi [7].

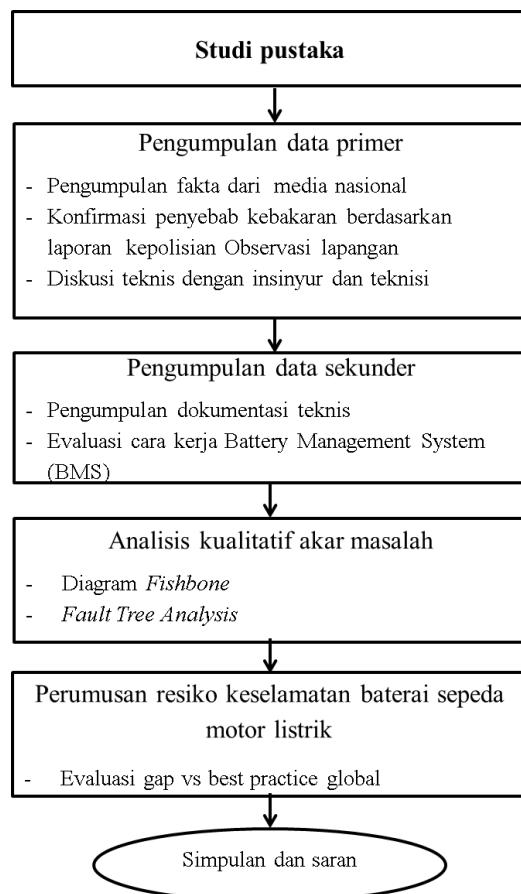
Baru-baru ini di Indonesia terjadi insiden kebakaran kapal feri yang diduga dipicu baterai sepeda motor listrik. Kapal Motor Penumpang (KMP) Tranship 1 terbakar saat sedang menyeberang dari Pelabuhan Merak, Banten menuju Bakauheni, Lampung pada 20 Oktober 2023[8]. Investigasi awal kepolisian mengindikasikan api berasal dari baterai lithium-ion pada sepeda motor listrik yang diangkut truk kargo di dalam kapal [9]. Baterai tersebut dalam kondisi terpasang di motor dan diduga mengalami panas berlebih di ruang tertutup dek kapal, apalagi cuaca panas ekstrem yang disebabkan oleh fenomena El Nino turut memicu suhu tinggi yang memperbesar risiko kebakaran. Insiden ini menegaskan bahwa resiko kebakaran atau ledakan baterai kendaraan listrik nyata dan perlu adanya sistem proteksi baterai yang andal untuk mencegah kejadian serupa.

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan analisis kegagalan pada baterai

sepeda motor listrik di Indonesia dan mengevaluasi sistem proteksi yang digunakan untuk mencegah kebakaran, baik pada baterai Li-ion maupun SLA. Pendekatan studi kasus dipilih untuk memahami faktor penyebab insiden nyata dan solusi teknis yang dapat diterapkan. Diharapkan hasil analisis studi kasus berdasarkan insiden nyata pada KMP Tranship 1 dapat dimanfaatkan sebagai bagian dari analisis risiko keselamatan baterai sepeda motor listrik di Indonesia pada umumnya.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan analisis studi kasus terkait keselamatan dan proteksi baterai sepeda motor listrik dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Kajian dimulai dengan studi pustaka dan pengumpulan data primer berdasarkan laporan kepolisian yang resmi disampaikan pada media massa nasional terpercaya. Selanjutnya, dilakukan peninjauan teknis

terhadap sistem keamanan baterai pada sepeda motor listrik produksi lokal. Kegiatan ini mencakup kunjungan ke sebuah dealer sepeda motor listrik nasional dan diskusi dengan teknisi. Sebagai contoh, salah satu merek lokal telah menerapkan terintegrasi, sekring pemutus arus sebagai proteksi standar. Dokumentasi teknis seperti foto komponen rangkaian proteksi, dan prosedur pengisian daya turut dikumpulkan. Selain itu, studi literatur dilakukan untuk melengkapi pemahaman mengenai mekanisme, *overcharging*, serta standar keselamatan baterai. Sumber pustaka primer berupa artikel jurnal dan laporan penelitian digunakan untuk memvalidasi temuan.

Data-data primer dan sekunder kemudian dianalisis secara kualitatif. Analisis meliputi identifikasi akar penyebab utama kebakaran baterai. Hasil analisis disajikan dalam bentuk diagram dan narasi deskriptif. Untuk mengidentifikasi penyebab potensial kebakaran baterai kendaraan listrik secara sistematis dan menyeluruh, dilakukan dua pendekatan visual: *Fishbone Diagram* (Diagram Tulang Ikan) dan *Fault Tree Analysis* (FTA). Diagram *Fishbone* digunakan untuk mengelompokkan faktor-faktor penyebab berdasarkan aspek teknis seperti: manusia (pengguna/teknisi), metode pengisian, peralatan, dan lingkungan saat transportasi. Sementara itu, FTA digunakan untuk memetakan logika hubungan antar kejadian penyebab kebakaran seperti *overcharge*, *thermal runaway*, dan korsleting hingga kerusakan sel baterai.

Kedua pendekatan ini saling melengkapi dan memperkuat analisis kualitatif dalam mengidentifikasi akar masalah, serta menjadi dasar penyusunan rekomendasi mitigasi risiko kebakaran kendaraan listrik, khususnya dalam konteks transportasi lintas moda seperti feri penumpang. Hasil analisis dijadikan dasar pembahasan dalam melakukan evaluasi efektivitas sistem proteksi yang terpasang pada sepeda motor listrik di Indonesia, serta gap antara kondisi di lapangan terkait keselamatan baterai di Indonesia terhadap prosedur keselamatan yang diterapkan di beberapa negara lain.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil studi pustaka dan pengumpulan fakta menemukan bukti kuat bahwa insiden kebakaran KMP Tranship 1 yang terjadi pada hari Jumat, 20 Oktober 2023 disebabkan oleh api yang timbul dari baterai sepeda motor listrik. Liputan berita dari sejumlah media nasional seperti Kompas.com dan IDN Times [10], [11] mengutip Kapolres Lampung Selatan, Ajun Komisaris Besar Yusriandi Yusrin, yang mengonfirmasi bahwa api dipicu oleh baterai sepeda motor listrik yang dipasang di dalam truk ekspedisi yang diangkut oleh kapal feri, berdasarkan temuan awal dari olah tempat kejadian perkara untuk insiden kebakaran dan telah dilaporkan secara publik.

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, diagram *Fishbone* untuk menganalisis faktor-faktor yang dapat menyebabkan kebakaran baterai sepeda motor listrik telah disusun berdasarkan hasil diskusi dengan insinyur dan teknisi sepeda motor listrik dan kajian dokumen teknis terkait baterai kendaraan listrik. Diagram fishbone menunjukkan berbagai kategori penyebab kebakaran baterai, termasuk kesalahan manusia, proses pengisian daya yang tidak tepat, metode pengangkutan yang tidak sesuai prosedur, kondisi lingkungan ekstrem, kualitas material yang kurang baik, dan kerusakan peralatan. Setiap elemen ini dapat berkontribusi terhadap risiko kebakaran.



Gambar 2. Diagram *fishbone* – kebakaran baterai sepeda motor listrik

Untuk memetakan logika hubungan antar kejadian penyebab kebakaran baterai sepeda motor listrik, *Fault Tree Analysis* (FTA) dilakukan dan hasilnya diilustrasikan pada Gambar 3. Diagram FTA ini menunjukkan bahwa kebakaran pada baterai kendaraan listrik dapat terjadi karena satu

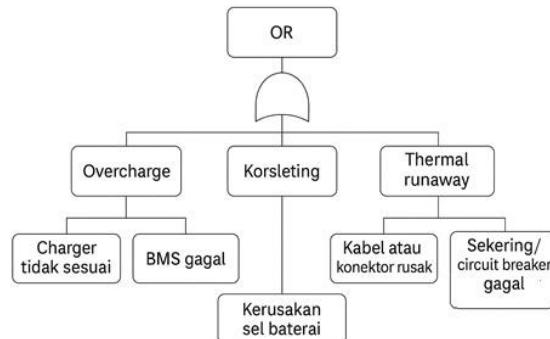
atau lebih penyebab, yang saling tidak bergantung. Hubungan *OR gate* di bagian atas menunjukkan bahwa cukup satu dari penyebab seperti *overcharging*, korsleting, atau *thermal runaway* dapat memicu kejadian utama. Penyebab lebih lanjut ditelusuri seperti kegagalan *Battery Management System* (BMS), pemakaian *charge adaptor* yang tidak sesuai, kerusakan konektor, atau kegagalan sekering yang menambah risiko terjadinya insiden baterai terbakar atau meledak. Pendekatan FTA ini akan menjadi basis untuk mengidentifikasi dan memitigasi risiko secara sistematis.

Studi kasus KMP Tranship 1 menyoroti bahaya kebakaran baterai Li-ion di kendaraan listrik. Baterai Li-ion rentan mengalami reaksi eksotermis berantai di dalam sel baterai yang menyebabkan kenaikan suhu internal sangat cepat dan tak terkendali yang dikenal sebagai fenomena *thermal runaway*. Beberapa faktor yang dapat memicu *thermal runaway* termasuk kelebihan pengisian, panas berlebih (*overheating*), kerusakan fisik sel, atau kegagalan komponen lain [12]. Dalam kasus KMP Tranship 1, penyebab kebakaran baterai sepeda motor listrik yang paling mungkin adalah kombinasi *overheating* lingkungan (ruang kargo tertutup yang panas) dan potensi kegagalan sistem proteksi baterai. Baterai Li-ion yang mengalami kegagalan akan melepaskan energi dalam bentuk panas tinggi, gas, dan api. Material organik di separator dan elektrolit baterai Li-ion bersifat mudah terbakar, sehingga ketika terjadi dapat timbul kobaran api hebat bahkan ledakan [6]. Hal ini menjelaskan mengapa api di dek kapal muncul tiba-tiba disertai kepulan asap hitam tebal seperti dilaporkan saksi mata. Selain itu Perilaku terbakarnya bateri Li-ion juga diketahui berbeda dengan pembakaran yang terjadi dari bahan bakar konvensional, dan sangat akan menghasilkan kondisi pemadaman kebakaran yang lebih sulit [13].

Di sisi lain, baterai *Sealed Lead Acid* (SLA) meski jarang digunakan pada motor listrik modern, tetap memiliki risiko keselamatan tersendiri. *Overcharging* pada baterai SLA menyebabkan elektrolisis air

sehingga menghasilkan gas hidrogen yang mudah terbakar [14]. Gas ini dapat terperangkap di dalam casing baterai atau ruangan tertutup. Jika terdapat percikan api, hidrogen dapat menyulut ledakan atau kebakaran. Risiko ini meningkat apabila pengisian daya berlebihan terus berlangsung (misalnya memakai *charger adaptor* yang tidak sesuai spesifikasi). Berbeda dengan Li-ion, baterai SLA jarang memicu kebakaran berupa nyala api besar, tetapi ledakan akibat akumulasi hidrogen bisa menyebabkan kerusakan parah pada perangkat dan cedera. Oleh karena itu, aspek ventilasi udara saat charging SLA perlu diperhatikan.

Kebakaran baterai kendaraan listrik



Gambar 3. Fault Tree Analysis – kebakaran baterai sepeda motor listrik

Terkait sistem proteksi baterai pada sepeda motor listrik, hasil peninjauan lapangan menunjukkan bahwa sepeda motor listrik produksi lokal umumnya telah dilengkapi dengan beberapa lapis sistem proteksi listrik dan termal. Komponen inti dari sistem ini adalah *Battery Management System* (BMS), yaitu modul elektronik yang terpasang di dalam paket baterai dan bertugas memantau parameter penting seperti tegangan setiap sel, arus listrik, serta suhu baterai secara real-time.

Jika BMS mendeteksi anomali seperti tegangan sel melebihi batas atas (*overvoltage*), tegangan terlalu rendah (*undervoltage*), atau suhu sel terlalu tinggi (*overtemperature*), maka sistem akan otomatis memutus koneksi arus listrik dan membuka sirkuit baterai. Tindakan ini bertujuan mencegah kerusakan lanjut atau potensi kebakaran akibat kondisi yang

memburuk. Dengan demikian, BMS berfungsi sebagai pengaman aktif terhadap overcharge, over discharge, dan panas berlebih yang dapat memicu thermal runaway.

Mayoritas baterai lithium-ion komersial di pasaran saat ini telah dilengkapi dengan BMS, sehingga risiko ledakan akibat kesalahan pengisian daya dapat diminimalisasi. Insiden baterai meledak saat pengisian daya umumnya terjadi pada baterai rakitan murah yang tidak memiliki sistem manajemen pengisian otomatis.

Selain BMS, sepeda motor listrik lokal juga dilengkapi dengan sekering (*fuse*) dan pemutus sirkuit (*circuit breaker / CB*) sebagai proteksi tambahan terhadap arus lebih (*overcurrent*) dan korsleting (*short circuit*). Fuse merupakan komponen pengaman sekali pakai yang akan meleleh dan putus jika arus melebihi kapasitasnya,

sehingga menghentikan aliran listrik dan mencegah panas berlebih. Sementara itu, circuit breaker memiliki fungsi serupa namun dapat di-reset setelah gangguan teratas.

Sebagai contoh, pada motor listrik merk Selis, sistem proteksi standar mencakup BMS internal, sekering utama, dan CB terintegrasi yang secara otomatis memutus arus saat terdeteksi gangguan listrik. Sistem ini dirancang untuk mencegah risiko tersengat listrik, korsleting, dan

Berdasarkan data yang dihimpun, insiden kebakaran di KMP Tranship 1 diduga kuat dipicu oleh baterai Lithium-ion sepeda motor listrik yang mengalami kegagalan. Meskipun unit baterai kemungkinan telah dilengkapi BMS, Tabel 1 merangkum beberapa skenario yang dapat menjelaskan mengapa proteksi gagal mencegah kebakaran.

Tabel 1. Skenario penyebab kegagalan sistem proteksi baterai pada kasus KMP Tranship 1

No Kategori	Penyebab Teknis Tambahan	Tingkat Kemungkinan	Keterangan	
1	Instalasi Tidak Sesuai SOP	Koneksi longgar, isolasi kabel buruk, polaritas salah	Tinggi	Sangat sering terjadi pada unit modifikasi atau dipasang manual
2	Getaran atau Suhu Ekstrem	Guncangan selama perjalanan, ventilasi buruk	Sedang	Sering terjadi dalam transportasi jarak jauh atau kondisi overstocking
3	Pengisian Saat Transportasi	Baterai di-charge saat diangkut	Sedang	Tidak direkomendasikan tapi masih sering ditemukan di lapangan
4	Modifikasi Komponen Non-Standar	BMS tidak bersertifikasi, baterai KW	Tinggi	Banyak digunakan oleh ekspedisi kecil atau pengguna akhir tanpa pelatihan
5	Overcharge atau Deep Discharge	Tidak ada proteksi overvoltage atau undervoltage	Sedang	Sering ditemukan pada baterai bekas atau sistem proteksi rusak
6	Baterai Bekas atau Rekondisi	Sel degradasi, tidak stabil	Sedang	Digunakan untuk menekan biaya tapi meningkatkan risiko
7	Kelembapan/ Air Masuk	Terjadi korosi internal SLA/lithium tanpa IP rating yang cukup	Rendah	Tidak umum jika baterai punya casing IP65+, tapi berisiko dalam kondisi lembab
8	Korsleting dari Komponen Lain	Misalnya dari inverter atau wiring lampu tambahan	Rendah	Lebih jarang, tapi tetap perlu pengujian menyeluruh pada sistem kelistrikan

Tabel 2. Contoh format tabel 2 kolom

Tingkat	Deskripsi	Keterangan Tambahan
Tinggi	Risiko sering terjadi di lapangan, dapat menyebabkan kebakaran besar, dan sulit dikendalikan.	Misalnya: <i>overcharge</i> , modifikasi non-standar, koneksi longgar.
Sedang	Risiko cukup sering ditemukan, berdampak sedang, dan masih bisa dikendalikan dengan SOP yang baik.	Misalnya: getaran, baterai rekondisi, pengisian saat transportasi.
Rendah	Risiko jarang terjadi, dampaknya ringan, dan mudah dicegah.	Misalnya: kelembapan, korsleting dari komponen tambahan.

Tabel 2 menunjukkan kriteria tingkat kemungkinan kebakaran berdasarkan evaluasi teknis terhadap penyebab, frekuensi kejadian, dan dampak yang ditimbulkan. Dari analisis di atas, dapat dipahami bahwa sistem proteksi yang ada sebenarnya dirancang untuk mencegah insiden korsleting, dll., tetapi dalam praktik lapangan bisa gagal karena faktor eksternal maupun kelalaian. Sebagai perbandingan, pada baterai Li-ion biasanya terjadi akibat kombinasi penyebab; misalnya di kota New York, banyak kebakaran e-bike terjadi karena baterai kualitas rendah tanpa atau penggunaan charger tidak cocok. Di Indonesia, kasus-kasus sepeda listrik terbakar saat dicas juga umumnya dikaitkan dengan penggunaan charger tidak asli/tidak sesuai, yang mengakibatkan pengisian tidak terkontrol dan baterai overheating. Beruntung dalam insiden KMP Tranship 1, tidak ada korban jiwa dan seluruh penumpang serta kendaraan berhasil dievakuasi selamat. Truk kargo dan kapal pun dilaporkan tidak mengalami kerusakan permanen berkat penanganan cepat petugas. Hal ini memberi pelajaran berharga bahwa meskipun dampak bisa diminimalkan, pencegahan di hulu tetap krusial.

Berdasarkan temuan studi kasus, beberapa solusi teknis telah dan dapat diterapkan untuk meningkatkan keselamatan baterai motor listrik di Indonesia:

▪ Pendekatan Teknologi

Pendekatan teknologi terbaru dalam keselamatan baterai kendaraan listrik roda dua mencakup integrasi sistem pemantauan berbasis Internet of Things (IoT), penggunaan material tahan api

seperti *intumescent foam*, serta pemanfaatan BMS yang dilengkapi deteksi tekanan dan gas. Selain itu, standar global seperti UL 2271 dan UL 2849 telah menjadi rujukan penting dan terbukti menurunkan angka kebakaran e-bike di kota-kota seperti New York. Di Indonesia, SNI 8872:2024 dan SNI 8928:2020 mulai diimplementasikan namun belum bersifat wajib. Disarankan agar regulasi nasional mulai mengadopsi kewajiban pengujian baterai terhadap *thermal runaway* dan validasi sistem BMS dengan deteksi tekanan/gas sebagai syarat kelayakan produk.

▪ Peningkatan Standar Pengiriman Baterai
Untuk transportasi kendaraan listrik dengan kapal atau moda lain, disarankan baterai dilepas dari kendaraan dan dikemas terpisah dalam wadah aman. Baterai sebaiknya memiliki tingkat pengisian 30-50% (sesuai SOP pengiriman baterai Li-ion) guna meminimalkan risiko. Ruang kargo perlu ventilasi memadai deteksi asap/panas dini. Prosedur ini selaras dengan imbauan otoritas pasca insiden. dan *sensor*

▪ Penggunaan Baterai Berkualitas dan Charger Original:

Produsen dan pengguna harus memastikan baterai dilengkapi BMS yang handal dan harus rutin diperiksa fungsinya. Pengisi daya (*charger*) wajib sesuai spesifikasi baterai baik tegangan maupun arusnya, agar algoritma cut-off pengisian bekerja optimal. *Charger* tidak standar dapat menyebabkan kebakaran karena tidak menggunakan tegangan

listrik yang tepat. Dengan *charger* asli pabrikan, baterai akan otomatis berhenti mengisi saat penuh.

- **Proteksi Berlapis pada Sistem Baterai:** Produsen sebaiknya menerapkan sistem proteksi berlapis dengan memasang sensor suhu (*thermal sensor*) secara langsung pada battery pack, yang terhubung ke mekanisme pemutus arus independen seperti thermal fuse atau circuit breaker otomatis. Dengan begitu, jika suhu baterai mendekati titik bahaya, arus listrik dapat langsung diputus secara otomatis, bahkan jika sistem utama seperti *Battery Management System* (BMS) mengalami kegagalan. Penambahan bahan penyerap panas atau bahan tahan api (*fire retardant*) di sekitar sel baterai juga direkomendasikan, guna memperlambat penyebaran panas atau api jika salah satu sel mengalami kebakaran. Contohnya termasuk penggunaan material isolasi khusus atau padding intumescent yang dapat mengembang ketika terkena panas untuk menghambat penyebaran api. Kombinasi antara BMS, sensor suhu, thermal fuse, dan desain fisik tahan api dapat membentuk sistem proteksi berlapis yang signifikan dalam mencegah insiden kebakaran baterai.
- **Pengalihan ke Kimia Baterai Lebih Aman:** Baterai *Lithium Iron Phosphate* (LiFePO₄) dikenal lebih stabil secara termal (tidak mudah terbakar walau suhu pelarian termal lebih tinggi) dibanding Lithium NMC atau LCO. Kekurangannya densitas energi sedikit lebih rendah, tapi sudah cukup untuk sepeda motor listrik jarak dekat. Menggunakan baterai LiFePO₄ dapat mengurangi probabilitas kebakaran. Beberapa motor listrik konversi di dalam negeri mulai mengadopsi sel LiFePO₄ demi alasan keamanan. *Overcharge*.
- **Edukasi Pengguna:** Pengguna motor listrik harus diedukasi tentang kebiasaan pengecasan yang aman. Kebiasaan buruk seperti meninggalkan baterai di-charge

semalam tanpa pengawasan atau menggunakan colokan timer yang tidak sesuai harus dihindari. National Fire Protection Association (NFPA) merekomendasikan untuk tidak mengisi baterai di dalam rumah tanpa pengawasan dan menjauhkan baterai dari material mudah terbakar saat mengisi daya. Di Indonesia, kampanye serupa bisa digalakkan melalui komunitas kendaraan listrik.

SIMPULAN

Studi kasus kebakaran baterai sepeda motor listrik pada insiden KMP Tranship 1 di Indonesia menunjukkan bahwa risiko kebakaran pada baterai Lithium-ion nyata dan perlu dikelola dengan serius dimana:

1. Baterai Li-ion memiliki densitas energi tinggi sehingga rentan terhadap ketika dipicu panas berlebih, atau kerusakan, sementara baterai SLA menyimpan risiko ledakan gas hidrogen saat meski potensi nyala apinya lebih kecil. *thermal runaway* oleh *overcharge*, *overcharge*,
2. Sistem proteksi baterai yang memadai terbukti esensial – kebanyakan baterai motor listrik modern sudah cara efektif untuk mencegah terjadinya kebakaran selama komponen utama berfungsi normal. (*BMS, fuse, circuit breaker*)
3. Penyebab kebakaran umumnya bukan satu faktor tunggal; kombinasi faktor lingkungan (ruang tertutup panas) dan kemungkinan kegagalan/ketidaadaan proteksi menjadi pemicu pada kasus KMP Tranship 1.

Untuk produsen dan pemangku kepentingan industri, disarankan meningkatkan standar keamanan baterai dengan mengacu praktik terbaik global. Misalnya, memastikan seluruh produk baterai tersertifikasi dan lulus uji keselamatan (uji tahan panas, guncangan, *overcharge*, dan lainnya) sebelum dipasarkan. Pemerintah dapat mempertimbangkan adopsi standar internasional seperti UL 2849 (Standar Sistem Kelistrikan Sepeda Motor Listrik), UL 2271 (Light EV Battery Safety), dan

UNECE Regulation No. 136 Part II sebagai acuan regulasi nasional. Penerapan standar ini akan menjamin baterai dirancang dengan berbagai safeguards (contoh: ventil khusus, pemutus arus internal) yang mampu mencegah kebakaran meskipun terjadi penyalahgunaan atau kegagalan komponen.

Selain itu, prosedur operasi seperti penanganan dan pengiriman baterai perlu diperketat (misalnya baterai dilepas saat transportasi, dengan petunjuk pengisian yang aman disertakan). Bagi pengguna, disiplin dalam menggunakan charger asli, serta melakukan perawatan baterai secara berkala, adalah kunci mencegah insiden. Terakhir, kolaborasi antara produsen, pemerintah, dan institusi riset perlu ditingkatkan untuk mengembangkan teknologi baterai yang lebih aman.

Terakhir, kolaborasi antara produsen, pemerintah, dan institusi riset perlu ditingkatkan untuk mengembangkan teknologi baterai yang lebih aman. Inovasi ke depan bisa meliputi dengan fitur *early warning* (deteksi dini gejala), material baterai yang tidak mudah terbakar, hingga desain paket baterai yang isolatif sehingga jika satu sel terbakar tidak menjalar ke sel lain. Dengan kombinasi pendekatan teknis dan edukatif, diharapkan risiko kebakaran baterai sepeda motor listrik di Indonesia dapat ditekan semaksimal mungkin, memastikan transisi ke kendaraan listrik berlangsung aman dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Sun, R. Bisschop, H. Niu, and X. Huang, “A review of battery fires in electric vehicles,” *Fire Technol.*, vol. 56, no. 4, pp. 1361–1410, 2020, doi: 10.1007/s10694-019-00944-3.
- [2] M. Mahmud *et al.*, “Lithium-ion battery thermal management for electric vehicles using phase change material: A review,” *Results Eng.*, vol. 20, p. 101424, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101424>.
- [3] A. Dannier, G. Brando, M. Ribera, and I. Spina, “Li-Ion batteries for electric vehicle applications: An overview of accurate state of charge/state of health estimation methods,” *Energies*, vol. 18, no. 4, 2025, doi: 10.3390/en18040786.
- [4] A. K. Koech, G. Mwandila, F. Mulolani, and P. Mwaanga, “Lithium-ion battery fundamentals and exploration of cathode materials: A review,” *South African J. Chem. Eng.*, vol. 50, pp. 321–339, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2024.09.008>.
- [5] K. Vignarooban *et al.*, “State of health determination of sealed lead acid batteries under various operating conditions,” *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 18, pp. 134–139, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.seta.2016.10.007>.
- [6] S. W. Kim, S. G. Park, and E. J. Lee, “Assessment of the explosion risk during lithium-ion battery fires,” *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 80, p. 104851, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2022.104851>.
- [7] G. J. May, A. Davidson, and B. Monahov, “Lead batteries for utility energy storage: A review,” *J. Energy Storage*, vol. 15, pp. 145–157, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.est.2017.11.008>.
- [8] R. Gunawan, “Kebakaran dialami KMP Tranship 1 di pelabuhan Bakauheni Lampung,” *Antara*, 2023. https://www.antaranews.com/berita/3784080/kebakaran-dialami-kmp-tranship-1-di-pelabuhan-bakauheni-lampung#google_vignette (accessed Jun. 20, 2025).
- [9] T. P. Jaya and T. M. V. Arief, “Kebakaran ferry di pelabuhan Bakauheni diduga karena baterai sepeda listrik,” *Kompas*, 2023. <https://regional.kompas.com/read/2023>

- /10/21/194825678/kebakaran-ferry-di-pelabuhan-bakauheni-diduga-karena-baterai-sepeda-listrik (accessed Jun. 30, 2025).
- [10] V. Oktavia, “Kebakaran KMP Tranship di Lampung, api diduga berasal dari baterai motor listrik,” *Kompas*, 2023. <https://www.kompas.id/baca/nusantara/2023/10/21/kebakaran-kmp-tranship-di-lampung-api-diduga-berasal-dari-baterai-motor-listrik> (accessed Jul. 07, 2025).
- [11] T. Wiguna, “Kebakaran kapal Tranship 1 di Bakauheni dipicu baterai motor listrik,” *IDN Times*, 2023. <https://lampung.idntimes.com/news/lampung/kebakaran-kapal-tranship-1-di-bakauheni-dipicu-baterai-motor-listrik-00-5h6fh-bgn5pd> (accessed Jul. 07, 2025).
- [12] Y. Dai and A. Panahi, “Thermal runaway process in lithium-ion batteries: A review,” *Next Energy*, vol. 6, p. 100186, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.nxener.2024.100186>.
- [13] P. Sturm *et al.*, “Fire tests with lithium-ion battery electric vehicles in road tunnels,” *Fire Saf. J.*, vol. 134, p. 103695, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2022.103695>.
- [14] E. Lemaire *et al.*, “Study of the Operation of Lead–Acid Battery Electrodes Under Hybrid Battery–Electrolyzer Cycling Profiles,” *Batteries*, vol. 11, no. 4, pp. 137–137, Mar. 2025, doi: <https://doi.org/10.3390/batteries11040137>.