

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Teori Penunjang

1. Bandar Udara



Gambar 2. 1 Bandara Internasional Yogyakarta

Sumber: <https://www.yogyakartaairport.com/>

Bandar udara merupakan kawasan di daratan atau perairan dengan batas tertentu yang digunakan sebagai tempat pesawat udara mendarat dan lepas landas, naik turun penumpang, serta bongkar muat barang, yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan, keamanan, dan fasilitas penunjang lainnya (Undang Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009, 2009). Bandar udara memiliki peran sebagai pintu gerbang kegiatan perekonomian dalam upaya pemerataan pembangunan, pertumbuhan dan stabilitas ekonomi serta keselarasan pembangunan nasional dan pembangunan daerah (Haridan, 2023).

Sebagai sarana penunjang transportasi udara, bandar udara dilengkapi dengan beragam fasilitas pada sisi udara dan sisi darat yang berfungsi untuk mendukung seluruh kegiatan operasional penerbangan serta pelayanan kepada pengguna jasa (Purwandari & Wijaya, 2023). Salah satu fasilitas sisi darat yang penting adalah bangunan terminal penumpang,

termasuk area parkir kendaraan yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan sementara kendaraan bagi penumpang, pengunjung, maupun pekerja di kawasan bandar udara (Undang Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009, 2009).

2. Pertolongan Kecelakaan Penerbangan dan Pemadam Kebakaran

Menurut Undang – Undang Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan, setiap penyelenggara bandar udara wajib memenuhi standar keselamatan dan keamanan penerbangan serta menyediakan pelayanan bandar udara yang beroperasi sesuai dengan ketentuan yang berlaku, termasuk dalam hal kesiapsiagaan terhadap potensi keadaan darurat seperti kebakaran (Undang Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009, 2009). Usaha pemenuhan aspek keselamatan tersebut juga didasarkan melalui Peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara Nomor PR 30 Tahun 2022 yang mengatur terkait standar teknis dan operasional pelayanan Pertolongan Kecelakaan Penerbangan dan Pemadam Kebakaran (PKP-PK) di bandar udara.

Pertolongan Kecelakaan Penerbangan dan Pemadam Kebakaran yang selanjutnya disebut PKP – PK adalah unit bagian dari penanggulangan keadaan darurat, yang memiliki tugas utama tugas utama, yaitu menyelamatkan jiwa dan harta dari kejadian (*incident*) dan kecelakaan (*accident*) di bandar udara dan sekitarnya. Tidak hanya itu, personel PKP – PK juga memiliki tugas pokok, yaitu operasional seperti administrasi, *stand by*, penyelamatan, pencegahan dan pemadaman; latihan; dan pemeliharaan terhadap fasilitas (PR 30 TAHUN 2022, 2022).

Dengan adanya standar pelayanan PKP-PK tersebut, setiap fasilitas yang berada di kawasan bandar udara, termasuk fasilitas sisi darat seperti area parkir kendaraan, perlu memperhatikan aspek keselamatan kebakaran guna meminimalkan risiko serta mendukung terciptanya lingkungan bandar udara yang aman bagi pengguna jasa.

3. Manajemen Resiko Keselamatan

Manajemen risiko keselamatan adalah suatu metode terstruktur yang digunakan untuk mengidentifikasi, menganalisis, dan mengendalikan potensi bahaya yang dapat mengancam keselamatan (Wardhana & Lukmandono, 2021). Dalam konteks kebandarudaraan, penerapan manajemen risiko keselamatan dimaksudkan untuk menjamin kelancarannya operasional juga melindungi pengguna jasa, petugas, dan fasilitas bandar udara itu sendiri.

Sesuai dengan yang disebutkan oleh (Marcelino et al., 2023) setelah dilakukan identifikasi risiko, selanjutnya dilakukan upaya pengendalian dan pengurangan risiko serta peningkatan kesiapsiagaan terhadap kemungkinan terjadinya keadaan darurat. Seiring dengan perkembangan teknologi transportasi, muncul pula potensi bahaya baru (*emerging hazard*), salah satunya adalah penggunaan kendaraan listrik. Di kawasan sisi darat bandar udara, kendaraan listrik berpotensi menimbulkan risiko kebakaran yang berkaitan dengan sistem baterai, sehingga memerlukan perhatian khusus dalam aspek keselamatan (Adebanjo et al., 2025). Oleh karena itu, penerapan manajemen risiko keselamatan menjadi landasan penting bagi unit PKP – PK dalam merencanakan kesiapan personel, fasilitas, serta prosedur penanganan keadaan darurat guna mengendalikan risiko kebakaran maupun insiden lain yang berkaitan dengan kendaraan listrik.

4. Instalasi Listrik

Menurut NFPA 70 *National Electrical Code*, standar keselamatan instalasi listrik ditetapkan melalui berbagai persyaratan teknis yang mencakup perencanaan, pemasangan, hingga pemeliharaan sistem kelistrikan yang bertujuan untuk melindungi manusia, fasilitas, serta lingkungan dari ancaman yang dapat timbul akibat kegagalan instalasi listrik (*National Electrical Code* (NEC), 2017). Di dalamnya mengatur tentang pemilihan peralatan listrik yang sesuai standar, sistem perlindungan terhadap arus

listrik, serta tata cara penataan instalasi listrik agar tidak menimbulkan risiko bagi pengguna maupun lingkungan sekitar.

Selanjutnya, *article* 625.43 NFPA 70 mengatur bahwa setiap EVSE harus dilengkapi dengan *disconnecting means*, yaitu perangkat pemutus arus yang dapat digunakan untuk memutus suplai listrik ketika dilakukan perawatan maupun pada kondisi darurat.

Selain itu, *article* 625.44 NFPA 70 mensyaratkan bahwa EVSE harus memiliki sistem *automatic de-energization*, yaitu mekanisme yang secara otomatis menghentikan aliran listrik apabila konektor pengisian dilepaskan atau terjadi kondisi yang berpotensi membahayakan pengguna maupun peralatan.

Di Indonesia, penerapan keselamatan instalasi listrik juga diatur melalui Undang-Undang Nomor 30 Tahun 2009 tentang Ketenagalistrikan serta Standar Nasional Indonesia (SNI) 0225:2011 Persyaratan Umum Instalasi Listrik yang menetapkan ketentuan teknis terkait instalasi listrik pada bangunan dan fasilitas publik (Undang Undang Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2009, 2009). Regulasi tersebut mewajibkan agar instalasi listrik harus dibuat, dipasang, dan dioperasikan sesuai standar keselamatan guna mencegah terjadinya hal yang tidak diinginkan.

Fasilitas publik seperti terminal penumpang beserta sarana yang berada di dalamnya wajib menerapkan standar keselamatan instalasi listrik sesuai dengan ketentuan yang berlaku (Rahmaniar, Anisah Siti, 2021). Instalasi listrik yang dirancang dan dipasang sesuai dengan standar yang berlaku memiliki peran penting dalam mencegah terjadinya korsleting listrik, serta dapat memberikan kemudahan dalam pelaksanaan kegiatan pemeriksaan, pemeliharaan, dan penanganan berbagai kondisi darurat, salah satunya adalah kejadian kebakaran (Widodo et al., 2023). Dengan demikian, penerapan standar keselamatan kelistrikan tersebut juga mendukung kesiapsiagaan layanan Pertolongan Kecelakaan Penerbangan dan

Pemadam Kebakaran (PKP – PK) dalam upaya pencegahan maupun pengendalian risiko kebakaran di lingkungan bandar udara.

5. *Electric Vehicle (EV)*

Secara definisi kendaraan listrik adalah suatu kendaraan yang menggunakan satu atau lebih motor listrik sebagai penggerak. Berdasarkan sumber energi dan jenis mesin penggeraknya, kendaraan listrik dapat dikelompokkan menjadi tiga jenis yaitu *pure electric vehicle* (PEV), *hybrid electric vehicle* (HEV), dan *fuel-cell electric vehicle* (FEV) (Anto & Pratama, 2023). Umumnya kendaraan listrik terdiri dari beberapa komponen utama, antara lain baterai traksi (*traction battery pack*), motor listrik, inverter, sistem manajemen baterai (*Battery Management System/BMS*), serta sistem pengisian daya yang terhubung dengan *Electric Vehicle Supply Equipment* (EVSE) (Thangavel et al., 2023).

Baterai traksi (*traction battery pack*) merupakan komponen utama yang berfungsi sebagai media penyimpanan energi listrik untuk menggerakkan kendaraan. Baterai ini umumnya menggunakan teknologi *lithium-ion* karena memiliki kepadatan energi yang tinggi, bobot yang relatif ringan, serta umur pakai yang lebih panjang dibandingkan jenis baterai lainnya. Meskipun demikian, baterai *lithium-ion* memiliki potensi mengalami *thermal runaway*, yaitu kondisi ketika suhu baterai meningkat secara tidak terkendali akibat kerusakan mekanis, korsleting internal, pengisian daya yang tidak normal, maupun paparan panas dari luar. Kondisi tersebut dapat memicu kebakaran bahkan ledakan apabila tidak segera ditangani.

Energi listrik yang tersimpan pada baterai kemudian disalurkan menuju motor listrik (*electric motor*) sebagai sumber tenaga penggerak kendaraan. Berbeda dengan mesin pembakaran dalam (*Internal Combustion Engine/ICE*), motor listrik mengubah energi listrik menjadi energi mekanik melalui interaksi medan magnet sehingga menghasilkan torsi yang tinggi sejak putaran awal. Sistem ini membuat kendaraan listrik lebih

efisien, memiliki tingkat kebisingan yang rendah, serta tidak menghasilkan emisi gas buang secara langsung.

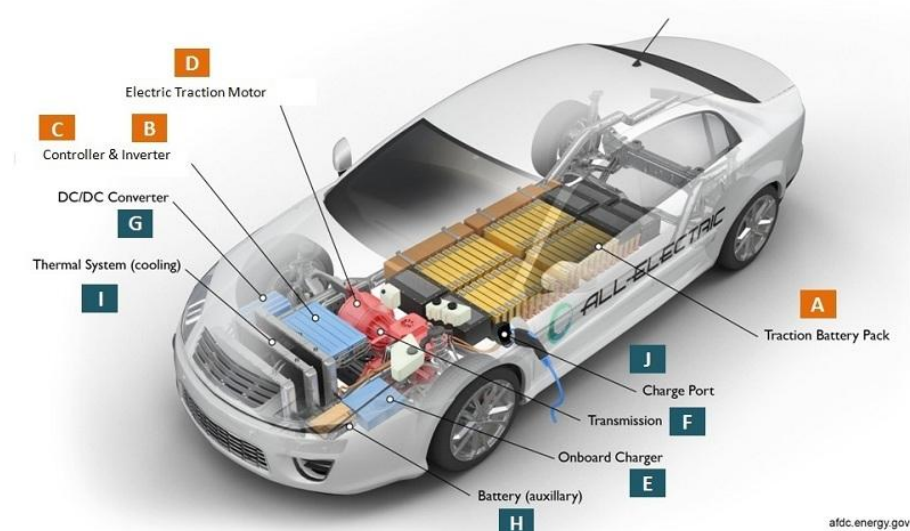
Di antara baterai dan motor listrik terdapat inverter yang berfungsi mengubah arus searah (*Direct Current/DC*) dari baterai menjadi arus bolak-balik (*Alternating Current/AC*) yang dibutuhkan oleh motor listrik. Selain itu, inverter juga mengatur kecepatan putaran motor, torsi, serta mendukung proses *regenerative braking*, yaitu proses pengubahan energi kinetik saat pengereman menjadi energi listrik yang kemudian disimpan kembali ke dalam baterai.

Untuk menjaga keamanan dan performa baterai, kendaraan listrik dilengkapi dengan *Battery Management System* (BMS). Sistem ini berfungsi memantau tegangan, arus, suhu, serta kondisi setiap sel baterai secara terus-menerus. BMS juga mengendalikan proses pengisian dan pengosongan baterai, menyeimbangkan tegangan antar sel (*cell balancing*), serta memberikan perlindungan terhadap kondisi *overcharge*, *overdischarge*, *overcurrent*, dan *overtemperature*. Apabila BMS mendeteksi adanya kondisi yang berpotensi membahayakan, sistem akan membatasi atau menghentikan aliran listrik untuk mencegah terjadinya kerusakan maupun kebakaran.

Selain komponen yang berada pada kendaraan, proses pengisian daya didukung oleh *Electric Vehicle Supply Equipment* (EVSE). EVSE merupakan sistem penghubung antara jaringan listrik dan kendaraan listrik yang berfungsi menyalurkan energi listrik secara aman selama proses pengisian baterai. EVSE terdiri atas beberapa komponen seperti kabel pengisian, konektor, sistem komunikasi antara kendaraan dan pengisi daya, serta berbagai perangkat proteksi kelistrikan, seperti *Ground-Fault Circuit Interrupter* (GFCI), *overcurrent protection*, dan *disconnecting means* sebagaimana diatur dalam NFPA 70 Article 625. Keberadaan EVSE yang memenuhi standar sangat penting untuk mengurangi risiko

korsleting, sengatan listrik, maupun kegagalan sistem pengisian yang dapat menyebabkan kebakaran.

Berdasarkan karakteristik komponen tersebut, dapat dipahami bahwa sistem kendaraan listrik memiliki kompleksitas yang lebih tinggi dibandingkan kendaraan konvensional, terutama pada aspek penyimpanan dan distribusi energi listrik. Oleh karena itu, penyediaan fasilitas parkir kendaraan listrik perlu didukung oleh sistem proteksi kebakaran, instalasi kelistrikan, serta fasilitas pengisian daya yang memenuhi standar keselamatan agar risiko terjadinya kebakaran akibat kegagalan baterai maupun sistem kelistrikan dapat diminimalkan. Dengan kepadatan energi yang tinggi pada baterai *lithium-ion*, terdapat risiko kebakaran dan ledakan, karena baterai ini rentan terhadap *thermal runaway*, yaitu reaksi kimia *irreversibel* di dalam baterai yang dapat terjadi akibat panas berlebih, korsleting, pengisian daya berlebih, cacat produksi, dan bentuk kerusakan lainnya (Boyd, 2024).



Gambar 2. 2 Komponen Utama Mobil Listrik

Sumber: <https://www.omazaki.co.id/komponen-mobil-listrik-dan-prinsip-kerjanya/>

Dari kacamata keselamatan, kendaraan listrik memiliki risiko yang berbeda dibandingkan dengan kendaraan konvensional yang telah beredar dari dulu sampai dengan sekarang ini, terutama kaitannya dengan sistem kelistrikan bertegangan tinggi serta karakteristik baterai yang sensitif terhadap panas dan kerusakan mekanis, yang dapat menyebabkan kebakaran (Naiek et al., 2025). Oleh karena itu, pemahaman terkait karakteristik hingga potensi risiko dari kendaraan listrik menjadi sangat penting bagi unit Pertolongan Kecelakaan Penerbangan dan Pemadam Kebakaran (PKP – PK) sebagai acuan dalam upaya pencegahan hingga respons terhadap insiden kebakaran di lingkungan bandar udara, khususnya pada area publik seperti fasilitas parkir terminal penumpang.

6. Parkiran Khusus Kendaraan Listrik

Menurut NFPA 88A *Standard for Parking Structures*, pembuatan fasilitas parkir harus memperhatikan aspek keselamatan kebakaran, seperti pemerhatian ruang parkir, sistem ventilasi parkir, akses kendaraan darurat menuju area parkir, serta penyediaan sistem proteksi kebakaran yang memadai untuk menangani keadaan darurat yang terjadi di area parkir tersebut (NFPA 88A *Standard for Parking Structures*, 2023). Area parkir kendaraan listrik juga seharusnya dirancang dengan mempertimbangkan karakteristik teknis kendaraan listrik serta potensi risiko yang akan ditimbulkan.

Pertama, berdasarkan Pasal 6.1.1 NFPA 88A (2023), seluruh instalasi kelistrikan pada struktur parkir harus memenuhi ketentuan dalam NFPA 70 (*National Electrical Code*). Ketentuan ini menjadi dasar bahwa seluruh instalasi listrik, termasuk fasilitas pengisian kendaraan listrik (*Electric Vehicle Supply Equipment/EVSE*), harus dirancang sesuai standar keselamatan kelistrikan guna meminimalkan risiko korsleting maupun kebakaran.

Kedua, Pasal 6.3.1 NFPA 88A (2023) mengatur bahwa struktur parkir tertutup harus dilengkapi dengan sistem ventilasi yang memadai. Ventilasi

berfungsi mengurangi akumulasi asap, panas, dan gas berbahaya apabila terjadi kebakaran sehingga dapat mendukung proses evakuasi dan pemadaman.

Ketiga, Pasal 6.4.1 NFPA 88A (2023) mewajibkan seluruh struktur parkir dilengkapi dengan sistem sprinkler otomatis sesuai standar NFPA 13 atau NFPA 13R. Ketentuan ini menjadi salah satu aspek penting dalam mitigasi kebakaran karena sprinkler berfungsi mengendalikan perkembangan api pada tahap awal sebelum petugas pemadam kebakaran melakukan penanganan lebih lanjut.

Keempat, Pasal 7.1.5 NFPA 88A (2023) menyatakan bahwa instalasi peralatan pengisian kendaraan listrik wajib memenuhi ketentuan yang terdapat dalam NFPA 70. Dengan demikian, aspek keselamatan fasilitas pengisian kendaraan listrik tidak hanya mengacu pada standar bangunan parkir, tetapi juga pada standar instalasi kelistrikan.

Kelima, Pasal 7.1.6 NFPA 88A (2023) mengatur bahwa *electric vehicle charging station* harus menggunakan peralatan yang telah tersertifikasi sesuai standar UL 2202. Persyaratan ini bertujuan memastikan bahwa stasiun pengisian daya memiliki tingkat keamanan yang telah diuji dan memenuhi standar keselamatan internasional.

Keenam, Pasal 7.1.7 NFPA 88A (2023) mensyaratkan bahwa *Electric Vehicle Supply Equipment* (EVSE) harus memenuhi standar UL 2594. Ketentuan tersebut bertujuan menjamin keamanan perangkat pengisian daya selama proses pengoperasian.

Ketujuh, Pasal 7.1.8 NFPA 88A (2023) mengatur bahwa apabila digunakan sistem pengisian daya nirkabel (*wireless charging*), maka peralatan tersebut harus memenuhi standar UL 2750 sebagai bentuk jaminan keselamatan terhadap teknologi pengisian daya tanpa kabel.

Selain berpegang pada standar internasional tersebut, penyediaan fasilitas parkir kendaraan listrik juga harus memperhatikan regulasi nasional yakni,

Peraturan Menteri ESDM Nomor 13 Tahun 2020 tentang penyediaan infrastruktur pengisian kendaraan listrik berbasis baterai, yang di dalamnya mengatur penyediaan fasilitas pengisian daya serta dukungan infrastruktur bagi kendaraan listrik di berbagai fasilitas publik. Regulasi tersebut menekankan bahwa penyediaan infrastruktur kendaraan listrik tetap harus memperhatikan aspek keselamatan bagi para penggunanya. Dalam konteks operasional di lingkungan bandar udara, penataan area parkir kendaraan listrik juga perlu dirancang untuk mendukung pelaksanaan tugas unit Pertolongan Kecelakaan Penerbangan dan Pemadam Kebakaran (PKP – PK), khususnya dalam menghadapi potensi kebakaran yang berkaitan dengan kendaraan listrik.

NFPA 88A merupakan standar yang mengatur persyaratan keselamatan pada struktur parkir, termasuk aspek konstruksi, ventilasi, sistem proteksi kebakaran, serta instalasi pendukung pada fasilitas parkir. Dalam kaitannya dengan penyediaan fasilitas parkir kendaraan listrik, terdapat beberapa ketentuan yang menjadi acuan dalam penelitian ini (Ayva & Selamat, 2021).

B. Kajian Penelitian Terdahulu yang Relevan

(Kuzio et al., 2025) membahas terkait penyediaan stasiun pengisian kendaraan listrik pada fasilitas parkir penumpang di area bandar udara, termasuk juga bagaimana cara implementasinya. Dari hasil kajiannya memperlihatkan bahwa meningkatnya penggunaan kendaraan listrik memiliki dampak langsung terhadap kebutuhan fasilitas pengisian daya di area – area publik, termasuk bandara. Perencanaan fasilitas ini juga memperhitungkan kapasitas listrik, lokasi instalasi, serta tata cara pengelolaan operasional. Penelitian ini mempunyai kemiripan dengan penelitian yang dilakukan peneliti karena sama – sama membahas penyediaan fasilitas kendaraan listrik di area parkir bandara. Namun, pada penelitian tersebut tidak membahas secara spesifik terkait standar keselamatan kebakaran. Oleh karenanya, penelitian ini penting guna melengkapi

analisis terhadap aspek keselamatan kebakaran pada fasilitas parkir kendaraan listrik di lingkungan bandara.

Selanjutnya, (European Commission, 2025) mengkaji tentang panduan keselamatan kebakaran pada kendaraan listrik yang diparkir dan fasilitas pengisian daya di area parkir yang tertutup. Dalam kajiannya dijelaskan bahwa meskipun risiko kebakaran kendaraan listrik relatif kecil dibanding kendaraan konvensional yang sudah tersebar sampai dengan saat ini, kebakaran yang melibatkan baterai *lithium-ion* mempunyai karakteristik spesial seperti *thermal runaway* dan *jet fire* yang membuat proses pemadaman berjalan lebih lama dari biasanya. Selain itu, pentingnya penerapan manajemen risiko, sistem proteksi kebakaran, jalur evakuasi, jarak antar kendaraan, serta akses bagi petugas pemadam juga ditekankan pada kajian ini. Keterkaitan yang kuat dengan penelitian ini karena sama – sama membahas aspek keselamatan kebakaran pada fasilitas parkir kendaraan listrik. Namun, penelitian ini belum membahas secara rinci di area bandar udara.

Dalam penelitian (Kang et al., 2025) dilakukan simulasi dinamika kebakaran untuk menganalisis potensi penyebaran api dan asap pada kebakaran kendaraan listrik di parkir bawah tanah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kebakaran baterai *lithium - ion* menghasilkan panas yang sangat tinggi dan asapnya yang sangat berbahaya dan sangat mudah menyebar di ruang tertutup. Oleh karena itu, perencanaan fasilitas parkir harus memperhatikan ventilasi, jarak antar kendaraan, serta sistem proteksi kebakaran aktif dan pasif di area parkir. Kesamaan dengan penelitian peneliti dalam hal pembahasan risiko kebakaran pada kendaraan listrik. Namun, penelitian tersebut terfokus pada simulasi di ruang tertutup dan tidak membahas spesifik terkait fasilitas parkir di area bandara maupun analisis kesenjangan terhadap standar keselamatan kebakaran yang berlaku, sehingga penelitian ini melengkapi kekurangan tersebut dengan pendekatan evaluatif di lingkungan bandara.

Selain itu, (Jang et al., 2025) membahas mengenai analisis risiko penyebaran gas beracun akibat kebakaran kendaraan listrik di area parkir bawah tanah

menunjukkan bahwa gas yang dihasilkan sangat berbahaya, terutama pada area yang memiliki ventilasi terbatas. Faktor seperti ventilasi, ukuran ruang, serta jarak antar kendaraan menjadi unsur penting yang memiliki pengaruh terhadap tingkat risiko. Oleh karena itu, diperlukan sistem ventilasi yang memadai dan sesuai dengan standar, serta langkah mitigasi yang tepat guna meminimalisir dampak kebakaran. Penelitian ini juga memiliki keterkaitan dengan penelitian ini dalam hal pembahasan risiko kebakaran kendaraan listrik dan dampaknya terhadap lingkungan di sekitar. Namun, penelitian tersebut tidak secara gamblang membahas fasilitas parkir di bandara ataupun kesesuaiannya dengan standar keselamatan kebakaran. Dengan demikian, penelitian ini dimaksudkan untuk melengkapi dengan mengkaji penyediaan fasilitas parkir kendaraan listrik di bandara berdasarkan standar keselamatan kebakaran yang berlaku.