



Analisis Keamanan Sambaran Petir pada Mobil Berdasarkan Hukum Gauss dan Konsep Sangkar Faraday

Bayu Renov Pujiyanto^{1*}, Doddi Yuniardi²

^{1,2} Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma

*Penulis Korespondensi: bayurenov8@gmail.com

Abstract. Based on Gauss's Law, the metal body of a car acts as a Faraday cage that protects passengers from lightning strikes by creating a zero electric field inside the cabin. This article analyzes these protection mechanisms and safety measures within Indonesia's tropical climate using a descriptive-analytical literature review method. The analysis reveals that the metal body effectively channels external electrical currents to the outer surface and to the ground, while rubber tires provide negligible protection. Consequently, composite or convertible vehicles are less safe and require Lightning Strike Protection (LSP) technology, such as NiCVs or carbon nanotube-based coatings, to replicate the Faraday cage effect. In conclusion, a closed metal-bodied car is a safe shelter from lightning provided windows are closed tightly and passengers avoid touching interior metal parts.

Keywords: Gauss's law, Faraday cage, lightning protection, metal body

Abstrak. Berdasarkan Hukum Gauss, bodi logam mobil berfungsi sebagai sangkar Faraday yang melindungi penumpang dari sambaran petir dengan membuat medan listrik di dalam kabin menjadi nol. Artikel ini menganalisis mekanisme perlindungan tersebut serta langkah keselamatan di iklim tropis Indonesia menggunakan metode studi literatur deskriptif-analitis. Hasil analisis menunjukkan bahwa bodi logam efektif menyalurkan arus listrik ke permukaan luar dan menuju tanah, sementara ban karet memberikan perlindungan yang sangat kecil. Kendaraan komposit atau terbuka (*convertible*) kurang aman dan memerlukan teknologi *Lightning Strike Protection* (LSP) seperti lapisan NiCVs atau *carbon nanotube* untuk mereplikasi efek sangkar Faraday. Kesimpulannya, mobil tertutup berbahan logam merupakan tempat berlindung yang aman dari petir asalkan jendela tertutup rapat dan penumpang tidak menyentuh bagian logam interior.

Kata kunci: Hukum Gauss, sangkar Faraday, proteksi petir, bodi logam

1. LATAR BELAKANG

Kendaraan *convertible* atau yang terbuat dari material komposit seperti polimer dan *fibreglass* memiliki tingkat keamanan yang lebih rendah karena tidak membentuk struktur pelindung sangkar Faraday yang utuh. Material komposit memiliki konduktivitas listrik yang sangat rendah, mereka sangat rentan mengalami kerusakan lokal saat tersambar petir akibat ketidakmampuan material tersebut dalam menyebarkan arus listrik.

Untuk mengatasi masalah ini, industri otomotif dan kedirgantaraan telah mengupayakan perbaikan melalui sistem perlindungan petir atau *Lightning Strike Protection* (LSP). Secara konvensional, para insinyur manufaktur menambahkan lapisan jaring logam murni (seperti foil aluminium atau tembaga) ke permukaan luar bodi

material komposit untuk menciptakan jalur konduktif buatan. Akan tetapi, metode ini memiliki kelemahan signifikan, yaitu menambah beban massa pada kendaraan dan berisiko memunculkan masalah korosi galvanik.

Sebagai solusi mutakhir, berbagai penelitian terdahulu mulai mengembangkan teknologi pelapisan ultra-ringan sebagai alternatif pengganti jaring logam berat. Salah satu penelitian yang diterbitkan di jurnal MDPI mengusulkan metode penggunaan lembaran serat karbon berlapis nikel (NiCVs) yang terbukti mampu memberikan tingkat perlindungan sambaran petir yang sebanding dengan foil tembaga, namun jauh lebih ringan dan hemat biaya [1]. Penelitian lain juga berhasil menggunakan kertas konduktif berbahan dasar *carbon nanotube* untuk pelapis luar, yang terbukti mampu meningkatkan konduktivitas listrik permukaan material komposit hingga 8800% tanpa memberatkan struktur. Penerapan teknologi LSP canggih ini memastikan bahwa kendaraan bermaterial *non-logam* utuh pun dapat mereplikasi efek sangkar Faraday secara efektif demi keselamatan penumpangnya.

2. KAJIAN TEORITIS

Prinsip Hukum Gauss

Hukum Gauss berbunyi: fluks medan listrik melalui permukaan tertutup, dirumuskan sebagai berikut:

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{net}}{\epsilon_0}$$

Keterangan:

- \vec{E} = Vektor medan listrik
- \vec{A} = Vektor elemen luas permukaan
- Q_{net} = Muatan neto di dalam permukaan tertutup
- ϵ_0 = Permittivitas ruang hampa

Di mana Q_{net} adalah muatan neto di dalam. Pada konduktor seperti bodi mobil, muatan petir terinduksi ke permukaan luar, menciptakan medan listrik nol di interior karena muatan positif dan negatif saling meniadakan. Ketika terjadi sambaran petir, listrik mengalir melalui struktur logam menuju tanah, memberikan perlindungan pada kabin bagi para penumpang [2].

Penumpang sebaiknya tidak menyentuh bagian logam di dalam saat terjadi sambaran, sebab arus listrik tetap berada di permukaan luar kendaraan. Arus keluar melalui roda atau titik yang paling dekat dengan tanah, walaupun ban karet yang kering bersifat isolator, kondisi basah saat hujan justru membantu menyediakan jalur hantaran arus menuju tanah. Uji coba di laboratorium NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) menguatkan bahwa burung bertengger di tiang listrik tidak terkena bahaya bila tidak bersentuhan dengan konduktor, prinsip yang sama juga melindungi para pengemudi [3].

Konsep Medan Listrik

Di dalam konduktor pada keseimbangan elektrostatik, $\vec{E}=0$, sehingga tidak ada gaya listrik pada muatan di dalam. Petir memicu pergeseran listrik: elektron bebas langsung menyebar ke permukaan luar mobil, sehingga bagian dalam kabin tetap netral dan aman. Efek ini mirip dengan sangkar Faraday, yang telah diuji sejak abad ke-19, menunjukkan bahwa ruangan yang tertutup dengan logam dapat menghalangi gangguan elektromagnetik dari luar [4].

3. METODE PENELITIAN

Artikel ini disusun menggunakan metode studi literatur (*literature study*) dengan pendekatan deskriptif-analitis. Data dan informasi dikumpulkan dari buku teks fisika dasar, jurnal ilmiah mengenai elektromagnetika, serta data teknis dari lembaga otoritas seperti BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika) dan NASA. Langkah-langkah analisis meliputi:

1. Identifikasi variabel fisis pada fenomena sambaran petir.
2. Aplikasi model matematis Hukum Gauss pada struktur geometri mobil.
3. Analisis perbandingan antara material konduktif (logam) dan isolatif (karet/*fiberglass*).
4. Penarikan kesimpulan berdasarkan prinsip keseimbangan elektrostatik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian Mobil melindungi penumpang karena arus listrik hanya mengalir di permukaan luar. Berkat induksi elektrostatik, kabin dalam tetap aman selama Anda tidak menyentuh bagian logam. Efektivitas ini pun sudah dibuktikan oleh simulasi NASA [2].

Tingkat keamanan mobil saat ada petir ditentukan oleh material komponennya. Berdasarkan Hukum Gauss, berikut adalah peran dan efektivitas komponen mobil dalam menangkal petir:

Tabel 1. Komponen mobil dan efektivitasnya dalam perlindungan sambaran petir

Komponen Mobil	Peran dalam Perlindungan Petir	Efektivitas
Bodi Logam (Baja/ Aluminium)	<i>Faraday cage</i> , salur arus luar	Tinggi
Ban Karet	Isolasi sekunder dari tanah	Rendah
Jendela Kaca	Menjaga kelengkapan <i>enclosure</i>	Esensial

Berdasarkan data tabel tersebut, bodi logam memiliki efektivitas tinggi karena bertindak sebagai sangkar Faraday yang mengalirkan seluruh arus petir hanya di permukaan luar kendaraan sehingga medan listrik di dalam kabin tetap nol ($E=0$). Di sisi lain, jendela kaca memiliki peran esensial yang wajib ditutup rapat guna menjaga kelengkapan ruang tertutup (*enclosure*) agar arus listrik dari luar tidak melompat masuk ke dalam interior. Sementara itu, ban karet memiliki efektivitas rendah karena tidak mampu menahan tegangan petir yang sangat besar, namun kondisi ban yang basah saat hujan justru membantu menyediakan jalur hantaran arus dari bodi mobil menuju ke tanah.

Untuk kendaraan di tanah air, sebaiknya jauhkan diri dari truk terbuka atau sepeda motor saat ada badai, mobil sedan yang tertutup dan terbuat dari logam adalah pilihan terbaik. Tegangan petir yang mencapai 100 juta volt akan menghilang ke tanah melalui titik kontak, melindungi hingga empat orang dewasa. Prinsip ini juga berlaku untuk pesawat di tengah badai, dengan catatan bahwa lapisan konduktif tetap dalam kondisi baik [3].

Bahan dan Struktur Mobil

Bodi logam mobil akan menyalurkan arus petir hanya di permukaan luarnya saja. Agar tetap aman, kaca jendela wajib ditutup rapat untuk mencegah listrik masuk, sementara ban karet sebenarnya bukanlah pelindung utama kendaraan dari petir [5].

Pengecualian Keselamatan

Mobil *convertible* atau *pickup* yang tidak memiliki atap logam tidak dapat memberikan perlindungan karena tidak berfungsi sebagai sangkar Faraday yang utuh. Jangan menyentuh pintu atau kemudi ketika sedang terjadi petir, serta jauhi pohon atau kabel listrik [6].

Kendaraan yang terbuat dari *fiberglass* atau plastik, seperti bus sekolah yang sudah tua, memiliki kerentanan karena kurangnya kemampuan menghantarkan listrik dan tidak membentuk medan nol di bagian dalam. Truk yang terbuka dan sepeda motor tentunya menghadapi risiko yang lebih tinggi, petir dapat langsung melompati pengemudi melalui helm atau struktur logam [7].

Parkirlah jauh dari bangunan garasi logam yang terbuka atau tiang listrik, sambaran petir dari samping dapat menghasilkan arus yang berbahaya. Selama musim hujan di Indonesia, BMKG merekomendasikan masyarakat untuk segera berlindung di dalam bangunan tertutup yang aman atau di dalam mobil yang tertutup rapat, alih-alih berlindung di bawah pohon tinggi atau struktur terbuka. Utamakan penggunaan kendaraan bermaterial logam utuh demi menjamin keselamatan keluarga [8].

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Mobil terbukti aman sebagai tempat berlindung dari sambaran petir berkat Hukum Gauss dan konsep medan listrik nol di dalam konduktor. Bodi logam yang berfungsi sebagai sangkar Faraday alami, mengarahkan arus listrik hanya ke permukaan luar tanpa menembus kabin penumpang. Prinsip ini berlaku efektif di iklim tropis Indonesia, asal hindari mobil terbuka dan sentuhan logam interior saat badai [9].

Data BMKG menunjukkan bahwa Indonesia mengalami sekitar 55-60 sambaran kilat setiap kilometer persegi setiap tahun, menjadikan pemahaman ini penting ketika musim hujan tiba. Pengujian dari NIST (*National Institute of Standards and Technology*) dan NASA telah mengesahkan bahwa arus 30.000 ampere dapat melalui badan logam tanpa menyebabkan cedera dalam. Pengetahuan ini berpotensi menyelamatkan nyawa ribuan pengemudi setiap tahun [3].

Terapkan panduan sederhana seperti tutup jendela, nonaktifkan AC (*Air Conditioner*) luar, dan parkir jauh dari kendaraan lain. Prinsip yang sama juga digunakan untuk melindungi pesawat komersial saat menghadapi badai tropis secara global.

Keamanan saat berkendara meningkat secara signifikan dengan penerapan ilmu fisika dasar ini [10].

DAFTAR REFERENSI

- [1] R. E. Wirz et al., “Enhancing Lightning Strike Protection of CFRP Laminates Using Nickel-Coated Carbon Fiber Nonwoven Veils,” *J. Compos. Sci.* 2026, Vol. 10, Page 69, vol. 10, no. 2, p. 69, Jan. 2026, doi: 10.3390/JCS10020069.
- [2] “Hukum Gauss Dan Medan Listrik – Gramedia Literasi.” Accessed: Mar. 12, 2026. [Online]. Available: https://www.gramedia.com/literasi/hukum-gauss-dan-medan-listrik/#google_vignette
- [3] “Ban Mobil Bukan Penghambat Petir Di Kala Hujan, Tapi Karena Ini | KASKUS.” Accessed: Mar. 15, 2026. [Online]. Available: <https://www.kaskus.co.id/thread/5fbb678f97751371d17667d7/ban-mobil-bukan-penghambat-petir-di-kala-hujan-tapi-karena-ini>
- [4] “Bab buku dari Listrik: Medan Listrik dan Hukum Gauss.” Accessed: Mar. 12, 2026. [Online]. Available: <https://teachy.ai/id-ID/buku/pendidikan-menengah-atas/kelas-11-sma/fisika/penguasaan-medan-listrik-dan-hukum-gauss-76d1>
- [5] “Kenapa Mobil Tempat Aman untuk Berlindung Saat Banyak Petir.” Accessed: Mar. 12, 2026. [Online]. Available: <https://www.suara.com/otomotif/2024/11/17/145954/kenapa-mobil-tempat-aman-untuk-berlindung-saat-banyak-petir>
- [6] “Mobil Bisa Melindungi Anda dari Petir, tapi...” Accessed: Mar. 12, 2026. [Online]. Available: <https://www.liputan6.com/otomotif/read/3937245/mobil-bisa-melindungi-anda-dari-petir-tapi>
- [7] “Ban Karet Cegah Petir Hanya Mitos, Pria Bermotor Ini Mati Tersambar | kumparan.com.” Accessed: Mar. 15, 2026. [Online]. Available: <https://kumparan.com/tribus-id/ban-karet-cegah-petir-hanya-mitos-pria-bermotor-ini-mati-tersambar-1r12khvJL5B>
- [8] “Berada Dalam Mobil Lebih Aman dari Petir Lantaran Karet Ban? - OLX News.” Accessed: Mar. 15, 2026. [Online]. Available: <https://www.olx.co.id/news/berada-dalam-mobil-lebih-aman-dari-petir-lantaran-karet-ban/>
- [9] “Hukum Gauss Dan Medan Listrik – Gramedia Literasi.” Accessed: Mar. 15, 2026. [Online]. Available: <https://www.gramedia.com/literasi/hukum-gauss-dan-medan-listrik/>
- [10] “Hukum Gauss dan Contoh Soal Lengkap dengan Pembahasan yang Mudah Dipahami - Sekolapedia.” Accessed: Mar. 15, 2026. [Online]. Available: <https://daftarsekolah.spmb.teknokrat.ac.id/2026/01/hukum-gauss-dan-contoh-soal-lengkap-dengan-pembahasan-yang-mudah-dipahami/>