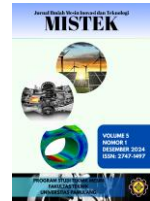




JURNAL TEKNIK MESIN MISTEK MESIN INOVASI DAN TEKNOLOGI



ANALISIS SISTEM Pengereman Roda Depan Pada Prototipe Mobil Listrik *BILIS KTM GEN-1 UNPAM*

Reynaldo Sutiawan¹, Nur Rohmat², Tatang Suryana³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pamulang, Jl. Surya Kencana No.1, Tangerang Selatan, Indonesia

E-mail: reynaldosutiawan1710@gmail.com¹

Masuk : 08 Juli 2024

Direvisi : 05 Agustus 2024

Disetujui : 28 Agustus 2024

Abstrak: Sistem pengereman adalah sebuah sistem pada kendaraan yang dirancang untuk mengurangi, memperlambat, atau menghentikan laju kendaraan. Sistem rem meliputi rem kaki, rem tromol, dan rem cakram. Pengereman sangat penting karena angka kecelakaan kendaraan terus meningkat, yang salah satu penyebabnya adalah kegagalan rem yang memengaruhi jarak pengereman dan stabilitas kendaraan. Pada penelitian ini dilakukan analisis sistem pengereman mobil Bilis KTM Gen-1 melalui beberapa tahap dengan menganalisis kebutuhan sistem rem, yaitu berat kendaraan, beban kendaraan, jarak pengereman yang ditetapkan, dan waktu pengereman yang ditetapkan. Pengujian sistem pengereman dilakukan dengan *road test* pada jarak 50 m dan 100 m dengan kecepatan 15 km/jam, 25 km/jam, dan 35 km/jam seperti kondisi berkendara di jalan. Hasil analisis dan eksperimen menunjukkan bahwa distribusi gaya rem berdasarkan kemampuan sistem adalah 1.873,713 N; 2.455,048 N; dan 2.696,918 N, dengan berat kendaraan 314 kg, pada kecepatan 15, 25, dan 35 km/jam. Pada jarak 50 m diperoleh rata-rata jarak pengereman 1,45 m; 3,08 m; dan 5,50 m, sedangkan pada jarak 100 m diperoleh rata-rata jarak pengereman 1,54 m; 3,18 m; dan 5,67 m. Berdasarkan hasil tersebut, perbandingan antara jarak 50 m dan 100 m menunjukkan bahwa kemampuan pengereman lebih baik pada jarak 50 m dibandingkan 100 m, karena semakin jauh jarak tempuh dan semakin tinggi kecepatan akan menambah beban pengereman pada kendaraan.

Kata Kunci: Rem Depan, Kecepatan, Gaya, Mobil Listrik.

Abstract: The braking system is a component in a vehicle designed to reduce, decelerate, or stop its motion. The braking system includes the foot brake, drum brake, and disc brake. Braking is highly important, as the number of traffic accidents continues to increase, with one of the main causes being brake failure that affects braking distance and vehicle stability. In this study, the braking system of the Bilis KTM Gen-1 vehicle was analyzed through several stages by determining the system requirements, including vehicle weight, load, designated braking distance, and specified braking time. Braking performance tests were carried out through road tests at distances of 50 m and 100 m with speeds of 15 km/h, 25 km/h, and 35 km/h under conditions similar to actual driving. The results of the analysis and experiments show that the braking force distribution produced by the system is 1,873.713 N; 2,455.048 N; and 2,696.918 N, with a vehicle weight of 314 kg at speeds of 15, 25, and 35 km/h, respectively. At a distance of 50 m, the average braking distances obtained were 1.45 m, 3.08 m, and 5.50 m, while at 100 m, the average braking distances were 1.54 m, 3.18 m, and 5.67 m. Based on these results, the comparison between the 50-m and 100-m tests indicates that braking performance is better at 50 m than at 100 m, as greater travel distances and higher speeds increase the braking load on the vehicle.

Keywords: Front Brake, Speed, Force, Electric Vehicle.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi transportasi di Indonesia mengalami kemajuan yang sangat pesat. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor menyebabkan konsumsi bahan bakar minyak (BBM) terus meningkat. Kondisi ini mendorong pengembangan penggunaan energi listrik pada sistem transportasi sebagai alternatif pengganti BBM melalui produksi kendaraan listrik [1], [2]. Selain perubahan dari sistem pembakaran berbahan bakar minyak ke tenaga listrik, aspek keamanan dan kenyamanan pengguna menjadi indikator penting dalam pengembangan teknologi kendaraan listrik [3].

Seiring meningkatnya kecepatan kendaraan, risiko kecelakaan juga bertambah. Oleh karena itu, sistem pengereman yang andal sangat diperlukan untuk meminimalkan risiko tersebut, termasuk inovasi berupa sistem pengereman otomatis [4]. Mobil listrik menggunakan motor listrik sebagai penggerak utama yang memperoleh energi dari baterai, sehingga lebih efisien dan tidak menimbulkan polusi udara. Mekanisme pengereman bekerja dari adanya gaya tekan yang melawan putaran roda, menghasilkan gesekan yang mengubah energi kinetik menjadi energi panas sehingga kendaraan dapat melambat hingga berhenti [5].

Perkembangan teknologi kendaraan juga mencakup perubahan komponen, seperti sistem bahan bakar karburator menjadi *Electronic Fuel Injection* (EFI), sistem pengisian menggunakan *integrated circuit* (IC), serta penggunaan rem cakram dan sistem *Anti-lock Braking System* (ABS) [6]. Pada konteks ini, penelitian difokuskan pada analisis kinerja sistem rem cakram pada kendaraan listrik untuk mengetahui kemampuan maksimal pengereman yang dapat dicapai.

Universitas Pamulang sebagai lembaga pendidikan tinggi bertanggung jawab menghasilkan lulusan yang kompeten dalam bidang teknologi. Kualitas pembelajaran dipengaruhi oleh berbagai faktor eksternal, termasuk ketersediaan sarana dan prasarana pendukung. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menguji dan menganalisis seberapa maksimal dan efisiennya kinerja sistem pengereman roda depan menggunakan rem cakram, serta besar pengaruhnya terhadap performa kendaraan listrik Bilis KTM Gen-1.

METODOLOGI

Kajian Sistem Rem

Sistem rem merupakan komponen vital pada kendaraan karena berpengaruh langsung terhadap keselamatan pengemudi dan penumpang. Menurut Sofan Amri dan Yayan Setiawan (2011), sistem rem harus mampu mengurangi kecepatan, menghentikan kendaraan, serta memungkinkan kendaraan diparkir dengan aman pada kondisi jalan menanjak maupun menurun. Sebagai bagian dari sistem Kemudi-Rem-Suspensi (KRS), performa rem menjadi faktor yang menentukan kendali kendaraan. Sumber daya pada sistem rem terdiri dari dua jenis, yaitu rem manual yang mengandalkan tenaga tangan atau kaki sebagai penggerak utama, serta rem dengan daya bantu yang bekerja dengan bantuan sistem hidrolik, elektrik, atau kombinasi keduanya untuk meningkatkan efisiensi dan kekuatan pengereman.

Kendaraan memiliki energi kinetik yang bergantung pada massa dan kecepatan. Mesin menghasilkan energi untuk mempercepat kendaraan, sedangkan rem harus menghilangkan energi tersebut ketika kendaraan melambat atau berhenti. Prinsip kerja rem adalah mengubah energi kinetik menjadi energi panas melalui gesekan antara dua permukaan. Persamaan gaya pengereman mengacu pada konsep energi kinetik (Heinz Heisler, 2002:450):

$$F = \frac{mV^2}{2s} \quad (1)$$

dengan:

V = kecepatan kendaraan (m/s)

F = gaya pengereman rata-rata (N)

s = jarak pengereman (m)

m = massa kendaraan (kg)

Pendekatan analisis meliputi fungsi sistem rem, jenis-jenis rem, serta komponen-komponen yang memengaruhi performa pengereman roda depan pada mobil listrik.

Pengujian Sistem Pengereman

Persiapan pengujian dimulai dengan memastikan kendaraan dan seluruh sistem pengereman berada dalam kondisi baik. Setelah itu, jarak pengujian ditentukan pada 50 meter dan 100 meter, kemudian kendaraan uji Bilis KTM Gen-1 dipersiapkan dan diposisikan tepat di belakang garis start. Garis finish juga ditandai dengan jelas pada kedua jarak tersebut sebelum pengujian dimulai.

Selanjutnya, kendaraan dinyalakan dan dikemudikan secara perlahan hingga mencapai kecepatan uji. Pengujian dilakukan pada kecepatan 15 km/jam, 25 km/jam, dan 35 km/jam. Pengemudi harus menginjak pedal rem tepat pada garis finish, kemudian jarak pengereman diukur dari garis tersebut hingga kendaraan benar-benar berhenti. Prosedur yang sama dilakukan kembali dengan penambahan beban, lalu seluruh rangkaian pengujian diulang untuk jarak 100 meter.

Pengujian dilakukan untuk mengetahui performa sistem rem, meliputi tekanan pedal, kecepatan, dan waktu pengereman. Proses pengujian melibatkan tiga orang: pengemudi, pencatat data, dan dokumentator. Langkah-langkah pengujian sistem pengereman adalah sebagai berikut:

1. Membuat garis penanda *start* menggunakan kapur dan penggaris.
2. Memposisikan kendaraan di belakang garis *start*.

3. Mengemudi menuju garis *finish* pada variasi kecepatan uji, kemudian mengerem tepat di garis *finish*.
4. Mengambil data jarak pengereman berdasarkan posisi roda depan kendaraan.
5. Mengukur jarak dan waktu pengereman dengan *roller meter* untuk akurasi.

Pengujian Putaran Roda

Persiapan dimulai dengan menyiapkan kendaraan, tachometer, serta dongkrak, kemudian mobil ditempatkan pada permukaan yang rata dan keras untuk memastikan stabilitas selama pengangkatan. Dongkrak diletakkan pada titik tumpu yang sesuai, lalu kendaraan diangkat hingga roda depan bebas berputar. Setelah itu, kendaraan dinyalakan dan stiker reflektif dipasang pada roda sebagai penanda bagi alat pengukuran.

Pelaksanaan pengujian dilakukan dengan mengarahkan laser tachometer tepat ke stiker reflektif pada roda, kemudian mencatat jumlah putaran roda pada kecepatan 15 km/jam, 25 km/jam, dan 35 km/jam berdasarkan nilai yang sudah stabil pada layar tachometer.

Pemeriksaan Sebelum Pengujian

Sebelum pengujian dimulai, seluruh peralatan uji diperiksa untuk memastikan semuanya berada dalam kondisi baik dan siap digunakan. Bahan uji juga dipastikan telah tersedia dan sesuai kebutuhan pengujian. Selain itu, alat ukur dicek kembali untuk menjamin akurasi pembacaan selama proses berlangsung, dan perlengkapan tulis disiapkan guna mencatat setiap hasil pengukuran secara sistematis.

Teknik Analisis Data

Penelitian menggunakan metode pengamatan langsung (*direct observation*). Data hasil eksperimen dicatat secara sistematis, ditampilkan dalam tabel dan grafik, kemudian dianalisis untuk melihat perbedaan performa pengereman pada tiap kondisi uji.

Lokasi Penelitian

Pengujian dilakukan di jalan raya sekitar Kampus Universitas Pamulang, yang dipilih karena akses mudah, memungkinkan pengaturan proses uji, dan memenuhi syarat keselamatan serta relevansi dengan konteks penelitian pengereman.

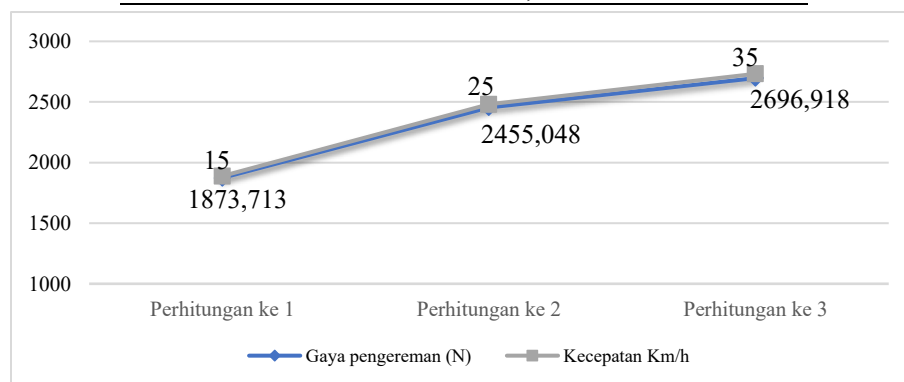
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan Gaya Pengereman

Hasil pengukuran awal terhadap sistem pengereman disajikan pada Tabel 1, yang memuat nilai gaya pengereman pada setiap variasi kecepatan kendaraan. Data tersebut menjadi dasar untuk melihat bagaimana peningkatan kecepatan memengaruhi besarnya gaya yang harus dihasilkan oleh sistem rem.

Tabel 1. Hasil Perhitungan Gaya Pengereman

Perhitungan	Gaya pengereman (N)	Kecepatan (km/h)
1	1.873,71	15
2	2.455,05	25
3	2.696,92	35



Gambar 1. Hasil Perhitungan Gaya Pengereman

Gambar 1 menunjukkan bahwa gaya pengereman meningkat seiring bertambahnya kecepatan kendaraan. Pada kecepatan 15 km/jam diperoleh gaya pengereman sebesar 1.873,713 N, meningkat menjadi 2.455,048 N pada 25 km/jam, dan 2.696,918 N pada 35 km/jam. Peningkatan gaya pengereman ini terjadi karena semakin tinggi kecepatan awal

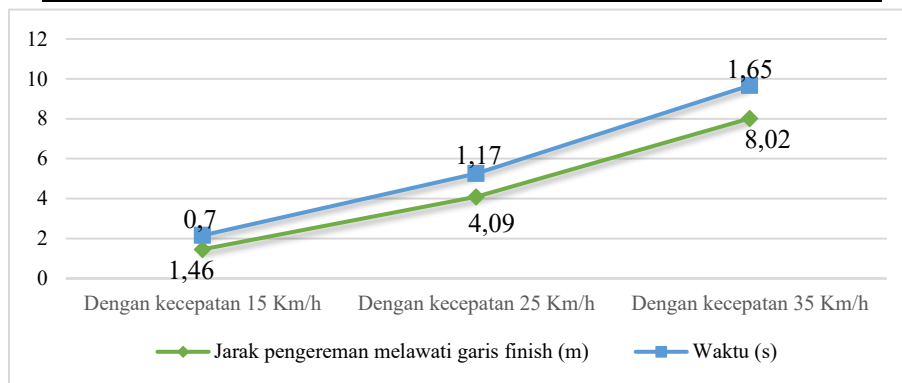
kendaraan, semakin besar energi kinetik yang harus dihilangkan oleh sistem rem. Dengan demikian, rem membutuhkan gaya yang lebih besar untuk menghentikan kendaraan pada kecepatan yang lebih tinggi.

Hasil Perhitungan Jarak dan Waktu Pengereman

Tabel 2 menyajikan hasil perhitungan jarak pengereman dan waktu pengereman pada tiga variasi kecepatan kendaraan. Data ini digunakan untuk menganalisis hubungan antara kecepatan awal kendaraan, jarak berhenti, serta durasi pengereman yang terjadi di lapangan.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Jarak dan Waktu Pengereman

Perhitungan	Kecepatan (km/h)	Jarak pengereman (m)	Waktu (s)
1	15,00	1,46	0,7
2	25,00	4,09	1,17
3	35,00	8,02	1,65



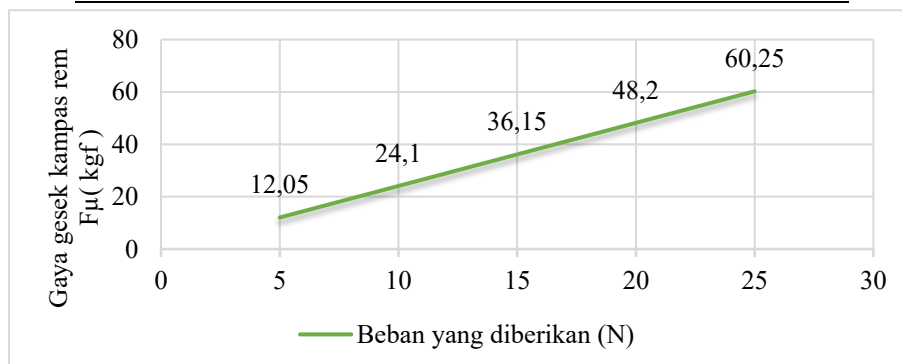
Gambar 2. Hasil Perhitungan Jarak dan Waktu Pengereman

Gambar 2 menunjukkan bahwa kecepatan berpengaruh signifikan terhadap jarak dan waktu pengereman. Pada kecepatan 15 km/jam, kendaraan membutuhkan jarak pengereman 1,46 m dalam waktu 0,70 s. Pada kecepatan 25 km/jam, jarak pengereman meningkat menjadi 4,09 m dengan waktu 1,17 s. Pada 35 km/jam, jarak pengereman mencapai 8,02 m dengan waktu 1,65 s. Peningkatan jarak dan waktu pengereman terjadi karena permukaan jalan yang rata dan bersih memberikan daya lekat optimal pada ban, sehingga slip tetap terjadi tetapi dalam jumlah minimal. Slip pada permukaan aspal saat pengereman berpengaruh terhadap waktu pengereman, terutama ketika kecepatan awal semakin tinggi.

Hasil Perhitungan Gaya Gesek Kampas Rem

Tabel 3. Gaya Gesek Kampas Rem F_{μ}

No	Beban yang diberikan (kgf)	Gaya gesek kampas rem (kgf)
1	5	12,05
2	10	24,1
3	15	36,15
4	20	48,2
5	25	60,25



Gambar 3. Gaya Gesek Kampas Rem

Data menunjukkan bahwa gaya gesek kampas rem meningkat proporsional terhadap beban yang diberikan. Pada beban 5 kgf, gaya gesek yang dihasilkan sebesar 12,05 kgf. Pada beban 10 kgf dan 15 kgf, gaya gesek masing-masing meningkat menjadi 24,10 kgf dan 36,15 kgf. Begitu pula pada beban 20 kgf dan 25 kgf, gaya gesek bertambah menjadi 48,20 kgf dan 60,25 kgf.

Peningkatan gaya gesek ini memperlihatkan bahwa semakin besar beban yang menekan kampas rem, semakin besar pula gaya gesek yang dihasilkan. Hal ini selaras dengan karakteristik gesekan statis dan kinetis pada material kampas rem, di mana tekanan kontak berpengaruh langsung terhadap gaya gesek yang muncul.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis dan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh beberapa temuan utama terkait kinerja sistem pengereman mobil listrik Bilis KTM Gen-1 sebagai berikut:

1. Performa sistem rem depan Bilis KTM Gen-1 dipengaruhi oleh massa kendaraan 314 kg dan variasi kecepatan 15, 25, dan 35 km/jam, di mana kecepatan yang lebih tinggi menghasilkan jarak serta waktu pengereman yang lebih panjang.
2. Gaya pengereman meningkat seiring bertambahnya kecepatan, masing-masing sebesar 1.873,713 N; 2.455,048 N; dan 2.696,918 N, selaras dengan peningkatan jarak pengereman 1,45 m; 3,08 m; dan 5,50 m.
3. Hasil pengujian putaran roda menunjukkan kecenderungan peningkatan rpm sesuai kecepatan kendaraan dan secara keseluruhan sistem pengereman memenuhi standar kinerja sehingga dinyatakan aman digunakan.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk menguji performa rem pada kondisi jalan yang berbeda, seperti basah atau menanjak, serta menambahkan variasi beban kendaraan untuk memperoleh gambaran kinerja yang lebih komprehensif. Pengukuran temperatur kampas rem juga perlu dilakukan untuk menilai ketahanan sistem dalam penggunaan jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Kumar, K. P. Panda, R. T. Naayagi, R. Thakur, and G. Panda, "Comprehensive Review of Electric Vehicle Technology and Its Impacts: Detailed Investigation of Charging Infrastructure, Power Management, and Control Techniques," *Appl. Sci.*, vol. 13, no. 15, p. 8919, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/app13158919>.
- [2] I. E. A. (IEA), "Global EV Outlook 2019," IEA, Paris, 2019. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019>
- [3] D. Zhao, J. Gao, and N. Liu, "Exploring user satisfaction and improvement priorities in electric vehicle segments," *Transp. Res. Part D Transp. Environ.*, vol. 125, p. 103996, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103996>.
- [4] L. Yang *et al.*, "A Systematic Review of Autonomous Emergency Braking System: Impact Factor, Technology, and Performance Evaluation," *J. Adv. Transp.*, vol. 2022, no. 1, p. 1188089, Jan. 2022, doi: <https://doi.org/10.1155/2022/1188089>.
- [5] V. Vodovozov, Z. Raud, and E. Petlenkov, "Review on Braking Energy Management in Electric Vehicles," *Energies*, vol. 14, no. 15, p. 4477, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/en14154477>.
- [6] S. Thakre, A. Shahare, and G. K. Awari, "Performance optimization of the disc brake system of electric Two-wheeler using Taguchi approach," *Mater. Today Proc.*, vol. 62, no. 4, pp. 1861–1867, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.010>.