

# Analisis Resistansi Aliran Listrik pada Antena Ban untuk Mengetahui Efektivitas Antena sebagai Komponen Utama Sistem Pentanahan

Anis Choirunnisa<sup>1)</sup>

Teknologi Informasi, Politeknik Gajah Tunggal  
[anis@poltek-gt.ac.id](mailto:anis@poltek-gt.ac.id)

Paul Michael Siahaan<sup>2)</sup>

Teknik Elektronika, Politeknik Gajah Tunggal  
[paul@poltek-gt.ac.id](mailto:paul@poltek-gt.ac.id)

Meilana Putri Andini<sup>3)</sup>

Teknik Elektronika, Politeknik Gajah Tunggal  
[andinimeilana11@gmail.com](mailto:andinimeilana11@gmail.com)

## ABSTRAK

Perkembangan kendaraan listrik (*Electric Vehicle / EV*) mendorong industri ban untuk memenuhi standar baru terkait resistansi listrik, guna menjamin pelepasan muatan listrik statis ke tanah secara efektif. PT AMS masih menghadapi kendala dalam menjaga nilai resistansi listrik ban agar tetap stabil dan sesuai dengan spesifikasi pelanggan OEM yang menetapkan batas maksimal sebesar  $10^6$  Ohm. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi titik hambatan (*blocking point*) aliran listrik dalam struktur ban, serta mengevaluasi efektivitas antena sebagai jalur pentanahan tambahan. Pengujian dilakukan secara eksperimental terhadap tiga jenis ban utuh dengan konfigurasi berbeda menggunakan alat Super Megohm Meter dan mesin EKTRON. Analisis data dilakukan menggunakan uji kecukupan data, uji normalitas, uji homogenitas, uji *Welch ANOVA*, uji *post hoc Games-Howell*, uji *Welch T-Test*, serta perhitungan *effect size (Cohen's d)*. Hasil menyatakan bahwa antena terbukti mampu menurunkan resistansi secara signifikan, terutama ketika terhubung langsung ke *tread*. Temuan ini dapat menjadi acuan pengembangan desain ban yang lebih konduktif dan sesuai standar industri EV.

**Kata Kunci** : Ban, Konduktivitas, Kendaraan Listrik, Resistansi Listrik, Antena

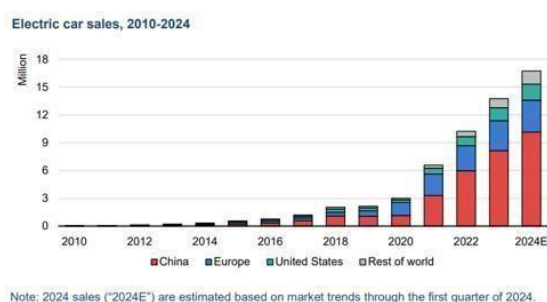
## ABSTRACT

*The development of electric vehicles (EV) has driven the tire industry to meet new standards related to electrical resistance, in order to ensure the effective discharge of static electricity to the ground. PT AMS continues to face challenges in maintaining the electrical resistance of tires within a stable range and in accordance with OEM customer specifications, which set a maximum limit of  $10^6$  Ohms. This study aims to identify blocking points of electrical flow within the tire structure and to evaluate the effectiveness of the antenna as an additional grounding path. Experimental testing was conducted on three types of whole tires with different configurations using a Super Megohm Meter and an EKTRON machine. Data analysis included data sufficiency tests, normality test, homogeneity test, Welch ANOVA test, Games-Howell post hoc test, Welch T-Test, and effect size calculation (Cohen's d). The results showed that the antenna significantly reduced resistance, especially when directly connected to the tread. These findings can serve as a reference for developing more conductive tire designs that meet EV industry standards.*

**Keywords**: Tire, Conductivity, Electric Vehicle, Electrical Resistance, Antenna

## I. PENDAHULUAN

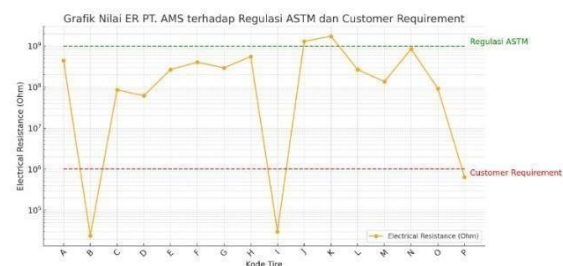
Dalam beberapa tahun terakhir, perkembangan kendaraan listrik (*Electric Vehicle/EV*) mengalami lonjakan yang sangat pesat di berbagai belahan dunia. Pergeseran ini tidak hanya menjadi tren sesaat, melainkan sebuah transformasi besar dalam dunia transportasi yang dipicu oleh berbagai faktor. Kesadaran global terhadap isu lingkungan dan perubahan iklim semakin meningkat, mendorong masyarakat dan pelaku industri untuk mencari alternatif transportasi yang lebih ramah lingkungan. Di sisi lain, krisis energi dan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil juga menjadi pemicu kuat bagi munculnya solusi transportasi berbasis listrik yang dinilai lebih berkelanjutan. Kemajuan teknologi turut memainkan peran penting dalam mempercepat adopsi kendaraan listrik. Inovasi pada sistem baterai yang kini memiliki kapasitas lebih besar, waktu pengisian lebih singkat, serta usia pakai yang lebih panjang, menjadikan kendaraan listrik semakin efisien dan kompetitif dibandingkan kendaraan konvensional. Begitu pula dengan pengembangan motor listrik dan sistem kendalinya, yang kini menawarkan performa tinggi dengan efisiensi energi yang jauh lebih baik. Respon positif juga datang dari sisi regulasi. Pemerintah di banyak negara, termasuk Indonesia, terus mendorong percepatan transisi menuju kendaraan listrik melalui berbagai kebijakan strategis. Dukungan tersebut memberikan ruang yang luas bagi pertumbuhan pasar kendaraan listrik di tanah air, sekaligus membuka peluang besar bagi industri otomotif dan komponen pendukungnya untuk berinovasi dan beradaptasi dengan kebutuhan baru ini [1].



Gambar 1. Tren Penjualan Mobil Listrik 2010 – 2024 (Gül et al., 2024)

Seiring dengan pertumbuhan pasar kendaraan listrik, industri otomotif pun mulai bertransformasi dalam skala besar. Banyak produsen kendaraan ternama yang berupaya mengembangkan dan memasarkan kendaraan listrik secara massal, menjadikan EV sebagai produk strategis dalam lini produksi mereka. Perkembangan ini mendorong sektor industri penunjang, salah satunya industri ban, untuk memenuhi standar baru yang ditetapkan oleh

pelanggan OEM (*Original Equipment Manufacturer*). Salah satu syarat penting dalam produksi ban untuk kendaraan listrik adalah kemampuan ban dalam menghantarkan muatan listrik statis ke tanah melalui sistem pentanahan yang efektif guna memastikan keamanan dan kestabilan sistem kelistrikan pada kendaraan listrik. Oleh karena itu, diperlukan inovasi dalam desain dan pemilihan material penyusun ban agar mampu menjawab tantangan tersebut secara efektif [3]. Salah satu syarat penting dalam produksi ban untuk kendaraan listrik adalah kemampuan ban dalam menghantarkan muatan listrik statis ke tanah melalui sistem pentanahan yang efektif. Namun, masih terdapat permasalahan yang cukup serius dalam hal pengendalian resistansi listrik pada ban, khususnya ban dengan *tread* berbahan silika. Meskipun bahan ini memiliki keunggulan dalam hal traksi dan efisiensi bahan bakar, silika bersifat isolatif dan memiliki resistansi tinggi, sehingga menyulitkan pelepasan muatan listrik secara optimal. Resistansi yang terlalu tinggi berisiko menyebabkan akumulasi muatan listrik pada kendaraan, yang dapat mengganggu sistem elektronik dan mengancam keselamatan pengguna [4]. Berdasarkan data internal PT AMS, masih ditemukan ban dengan nilai resistansi listrik yang tidak stabil dan melebihi batas maksimal yang telah ditetapkan OEM, yaitu  $10^6$  Ohm. Hal ini menjadi perhatian khusus bagi perusahaan dalam memenuhi kualitas dan spesifikasi pelanggan.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Nilai Resistansi Listrik PT AMS dengan Standar Regulasi dan Pelanggan Requirement (R&D PT. AMS, 2025)

Data nilai resistansi listrik ban PT AMS yang terlampir pada Gambar 2, belum sepenuhnya memenuhi standar regulasi yang ditetapkan ASTM, dan cenderung bervariasi, hal ini dikarenakan nilai resistansi listrik pada ban yang dikembangkan oleh PT AMS belum didasarkan pada studi khusus. Salah satu solusi yang mulai diterapkan oleh industri adalah penggunaan antenna sebagai jalur tambahan untuk penghantar listrik pada ban. Antenna ini biasanya ditanamkan dalam struktur ban untuk membantu aliran muatan dari bagian dalam ban menuju *tread*, kemudian dilepaskan ke tanah [6].

Meskipun demikian, efektivitas antenna tersebut belum

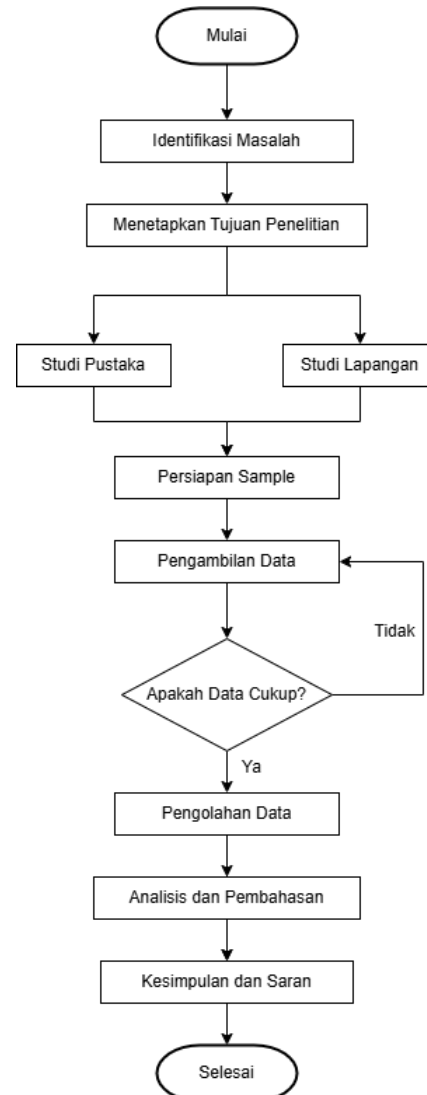
banyak dikaji secara menyeluruh, khususnya terkait titik hambatan (*blocking point*) dalam struktur ban yang menyebabkan aliran listrik terhambat. Permasalahan yang terjadi pada industri ban secara umum juga dirasakan oleh PT AMS, yaitu belum adanya pemetaan teknis mengenai titik hambatan aliran listrik dalam struktur ban serta kurangnya evaluasi berbasis data terhadap kontribusi antenna dalam menurunkan nilai resistansi listrik. Untuk mengatasi hal tersebut, penulis melakukan penelitian dengan pendekatan eksperimental terhadap tiga jenis ban dengan konfigurasi berbeda. Pengujian dilakukan pada ban utuh dengan masing-masing ban memiliki struktur yang berbeda. Proses pengukuran dilakukan menggunakan Super Megohm Meter dan mesin Ektron untuk mendapatkan data resistansi listrik secara akurat [7]. Selain itu, penulis juga melakukan analisis statistik untuk memastikan validitas hasil yang diperoleh. Uji statistik yang digunakan meliputi uji kecukupan dat, uji normalitas, uji homogenitas, uji *Welch ANOVA*, uji *post hoc Games-Howell*, uji *Welch T-Test*, serta perhitungan *effect size* dengan metode *Cohen's d*.

Selain melakukan pengujian eksperimental terhadap tiga jenis ban, penulis juga memerlukan kajian literatur sebagai dasar dalam menganalisis jalur aliran listrik pada struktur ban dan efektivitas antenna sebagai jalur pentanahan tambahan. Untuk itu, penulis mengkaji beberapa penelitian sebelumnya. Salah satunya adalah penelitian oleh Zhang et al. yang membahas tentang penggunaan konduktif antenna dalam struktur ban kendaraan listrik untuk mendukung sistem pelepasan muatan listrik statis. Penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan jalur konduktif pada ban mampu menurunkan resistansi, namun belum dilakukan analisis mendalam terkait titik hambatan utama dalam struktur ban [8]. Penelitian ini menggunakan pendekatan pengujian resistansi melalui alat Super Megohm Meter untuk mengukur sebaran aliran listrik pada ban kendaraan. Selain itu, peneliti juga menekankan perlunya uji statistik untuk memperkuat hasil eksperimen dan membedakan pengaruh masing-masing konfigurasi struktur ban terhadap resistansi listrik. Penelitian ini menggunakan uji *Welch ANOVA* dan *post hoc Games-Howell* untuk menganalisis perbedaan rata-rata antar kelompok ban yang diuji.

Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan informasi teknis yang lebih detail mengenai karakteristik aliran listrik dalam ban, serta membuktikan bahwa antenna mampu menurunkan resistansi secara signifikan. Temuan ini dapat menjadi dasar dalam pengembangan desain ban yang lebih konduktif dan sesuai dengan

kebutuhan industri kendaraan listrik masa kini.

## II. METODE PENELITIAN



Gambar 3. Alur Penelitian

Berdasarkan Gambar 3, penjelasan secara detail mengenai alur penulisan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

### A. Identifikasi Masalah

Pada tahap ini, identifikasi masalah dilakukan sebagai langkah awal untuk merumuskan arah penelitian. Permasalahan yang diangkat penulis berkaitan dengan tingginya nilai resistansi listrik pada ban berbahan *tread* silika, yang tidak mampu menghantarkan muatan listrik statis secara optimal ke tanah. Kondisi ini menjadi perhatian karena nilai resistansi pada beberapa ban melebihi batas maksimal  $10^6$  Ohm yang ditetapkan OEM. Selain itu, belum diketahui secara pasti titik hambatan (*blocking point*) aliran listrik dalam struktur ban. Penggunaan antenna sebagai jalur pentanahan tambahan mulai diterapkan, namun efektivitasnya

belum teruji secara kuantitatif. Oleh karena itu, diperlukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui kontribusi antenna dalam menurunkan resistansi listrik dan menjadikannya sebagai komponen utama sistem pentanahan.

### B. Menetapkan Tujuan Masalah

Pada tahap ini, penulis menentukan tujuan penulisan berdasarkan permasalahan teknis yang terjadi pada ban kendaraan listrik, khususnya terkait sistem pentanahan. Tujuan penulisan merupakan suatu pernyataan yang ingin diwujudkan oleh penulis dalam rangka menyelesaikan permasalahan yang telah diidentifikasi. Adapun tujuan dari penulisan ini adalah untuk mengevaluasi efektivitas antenna sebagai komponen utama sistem pentanahan pada ban kendaraan listrik. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan penggunaan antenna pada ban dapat dibuktikan mampu menurunkan resistansi listrik secara signifikan dan memenuhi spesifikasi pentanahan sesuai standar industri kendaraan listrik.

### C. Studi Pustaka

Pada tahap ini, penulis melakukan studi pustaka untuk memperoleh landasan teori yang mendukung penelitian. Studi ini bertujuan untuk memahami konsep resistansi listrik pada ban serta peran antenna sebagai sistem pentanahan tambahan, khususnya pada ban kendaraan listrik yang menggunakan *tread* berbahan silika. Beberapa penelitian sebelumnya menyebutkan bahwa karbon hitam memiliki sifat konduktif, sedangkan silika bersifat isolatif dan cenderung menghasilkan nilai resistansi yang tinggi [8]. Untuk mengatasi hal tersebut, mulai diterapkan antenna di dalam struktur ban sebagai jalur penghantar muatan listrik. Namun, belum banyak penelitian yang secara langsung membuktikan efektivitas antenna dalam menurunkan resistansi listrik ban secara kuantitatif. Oleh karena itu, melalui studi ini penulis ingin menganalisis permasalahan tersebut dengan membuktikan bahwa antenna berperan penting dalam menurunkan resistansi listrik dan dapat digunakan sebagai komponen utama sistem pentanahan ban kendaraan listrik.

### D. Studi Lapangan

Studi lapangan adalah metode penelitian yang melibatkan pengumpulan data langsung dari lokasi atau konteks di mana fenomena yang diteliti terjadi. Metode ini sering kali melibatkan interaksi langsung dengan subjek penelitian melalui wawancara, observasi, atau survei. Dalam penelitian ini, peneliti mengkaji data nilai resistansi listrik dari ban yang sudah pernah dibuat sebelumnya, serta melakukan wawancara kepada pegawai divisi R&D OEM PT AMS mengenai nilai resistansi listrik pada ban.

### E. Persiapan Sampel

Sebelum memasuki tahap pengujian, penulis terlebih dahulu melakukan persiapan sampel yang akan digunakan dalam penelitian. Tahap ini penting dilakukan agar setiap material yang diuji benar-benar sesuai dengan kebutuhan analisis dan mencerminkan kondisi sebenarnya dari ban yang diproduksi. Dalam penelitian ini, penulis menggunakan tiga jenis ban utuh dengan karakteristik bahan dan konstruksi yang berbeda. Sampel A adalah ban dengan *tread* yang mengandung campuran silika, tanpa dilengkapi antenna. Karena sifat silika yang isolatif, ban ini cenderung memiliki resistansi listrik yang tinggi. Sampel B merupakan ban dengan *tread* tanpa silika dan hanya mengandung karbon hitam yang dikenal lebih konduktif, namun sama-sama tidak menggunakan antenna. Sementara itu, sampel C memiliki *tread* berbahan silika seperti sampel A, tetapi dilengkapi dengan antenna sebagai jalur pentanahan tambahan. Setiap sampel dipersiapkan secara hati-hati agar proses pengukuran resistansi listrik dapat dilakukan dengan akurat dan hasilnya bisa dibandingkan.



Gambar 4. Sampel Ban Utuh

### F. Pengambilan Data



Gambar 5. Pengujian Resistansi Listrik pada Sampel Ban Utuh

Tahap ini, penulis melakukan pengambilan data dengan pengukuran resistansi listrik pada tiap jenis sampel ban secara utuh. Pengujian dilakukan di

laboratorium dengan mengikuti standar ASTM F1971-12, di mana ban dikondisikan minimal 8 jam pada suhu  $23 \pm 5^\circ\text{C}$  dan kelembaban maksimal 60%. Setiap pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali (tiga replikasi), dengan nilai rata-rata sebagai hasil akhir. Pengujian dilakukan pada empat titik berbeda di permukaan ban untuk mendapatkan hasil yang representatif. Tegangan diterapkan selama 3 menit  $\pm 10$  detik sebelum mencatat nilai resistansi. Kabel merah dari alat Megaohmmeter dihubungkan ke bagian *rim cushion* sebagai jalur masuk arus, sedangkan kabel hitam difungsikan sebagai pentanahan dihubungkan ke antena pada ban C, atau ke *tread* pada ban A dan B. Selama pengujian, ban diletakkan di atas papan akrilik sebagai isolator untuk mencegah aliran langsung ke lantai.

### G. Pengolahan Data

Pada bagian ini, data resistansi dari sampel ban utuh yang telah diperoleh sebelumnya kemudian diolah melalui serangkaian pengujian statistik, yang meliputi: uji kecukupan data, uji normalitas, uji keseragaman, uji homogenitas, uji *Welch* ANOVA, uji *post hoc Games-Howell*, serta perhitungan *effect size* menggunakan koefisien *Cohen's d*. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dan efektivitas penggunaan antena terhadap nilai resistansi listrik ban. Seluruh pengujian dilakukan baik melalui perhitungan langsung maupun dengan bantuan *software* SPSS untuk memastikan keakuratan dan validitas hasil analisis [9].

#### G.1 Uji Kecukupan Data

Uji kecukupan data merupakan uji yang dilakukan untuk menentukan tercukupinya data yang diperoleh dari hasil pendataan. Apabila data yang diperoleh tidak memenuhi syarat, pendataan terkait data yang dibutuhkan harus diulang hingga data tercukupi dan memenuhi syarat. Sebaliknya,

apabila data sudah memenuhi syarat, data tersebut akan menuju pengujian data selanjutnya, yaitu uji normalitas. Perlakuan uji kecukupan bagi setiap data adalah sama sehingga tidak terjadi penyimpangan pada akhir pengolahan data. Berikut adalah rumus yang umum digunakan dalam pengujian ini [10]:

$$N' = \left[ \frac{k \sqrt{N \sum xi^2 - (\sum xi)^2}}{\sum xi} \right]^2 \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

- N' = Data teoritis
- N = Data pengamatan
- k = Tingkat keyakinan
- s = Derajat ketelitian
- xi = Hasil pengukuran pada data ke-i

Apabila nilai  $N' \leq N$ , maka dapat disimpulkan bahwa data telah mencukupi dan analisis statistik dapat dilakukan. Dan sebaliknya apabila nilai  $N' > N$ , maka jumlah data yang telah dikumpulkan

belum mencukupi dan perlu dilakukan pengumpulan data tambahan.

#### G.2 Uji Normalitas

Pada penelitian ni, penulis menggunakan *software IBM SPSS Statistics 27*. Uji normalitas *Shapiro Wilk* adalah metode statistik yang digunakan untuk menguji apakah sampel data mengikuti distribusi normal. Adapun syarat pengujian data tersebut jika berdistribusi normal adalah sebagai berikut [11]:

1. Uji hipotesis  
 $H_0$  : Data berdistribusi normal  
 $H_1$  : Data tidak berdistribusi normal
2. Uji Statistik dengan Uji *Shapiro Wilk*  
 Jika Sig.  $> \alpha$ , maka  $H_0$  diterima  
 Jika Sig.  $< \alpha$ , maka  $H_0$  ditolak

#### G.3 Uji Keseragaman Data

Uji keseragaman data adalah salah satu metode yang digunakan untuk mengurangi varians dengan mengeliminasi data ekstrem [12]. Uji keseragaman data dilakukan dengan perhitungan secara matematis dan menggunakan *software* Excel. Nantinya, keseragaman data menghasilkan data yang tidak memiliki variasi berada pada rentang batas atas (UCL) dan tentang batas bawah (LCL). Data yang seragam berada pada batas tengah (CL) yang mana data tersebut dapat langsung di olah menjadi data yang dibutuhkan dalam menganalisis ergonomi. Apabila data yang diperoleh tidak dapat memenuhi syarat dalam pengujian keseragaman data, maka proses akan kembali ke pengumpulan data hingga data dapat seragam. Sebelum melakukan uji keseragaman data, terlebih dahulu dilakukan perhitungan nilai rata-rata yang dapat dibuktikan dengan teori matematis pada Persamaan 2 sebagai berikut [13]:

$$\bar{x} = \frac{\sum xi}{N} \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

- $\bar{x}$  = Nilai rata-rata
- $\sum xi$  = Jumlah keseluruhan data
- N = Banyaknya data

Setelah melakukan perhitungan nilai rata-rata, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan standar deviasi sampel dengan menggunakan teori matematis pada Persamaan 3 sebagai berikut [13]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{N \sum (xi - \bar{x})^2}{N-1}} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

- $\sigma$  = Nilai standar deviasi
- $X_i$  = Nilai data ke-i
- $\bar{x}$  = Rata-rata sampel
- N = Banyaknya data sampel

Kemudian untuk menentukan UCL menggunakan teori matematis dari Persamaan 4 dan LCL

menggunakan teori matematis pada Persamaan 5. Dapat dibuktikan sebagai berikut [13]:

$$UCL = \bar{x} + k\sigma \dots\dots\dots(4)$$

$$LCL = \bar{x} - k\sigma \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

$\bar{x}$  = Nilai rata-rata

$k$  = Nilai tingkat keyakinan

$\sigma$  = Standar deviasi dari nilai rata-rata

#### G.4 Uji Homogenitas

Uji homogenitas merupakan salah satu uji statistik yang digunakan untuk mengetahui apakah beberapa kelompok data memiliki varians yang sama atau tidak. Dengan kata lain, uji homogenitas bertujuan untuk memastikan bahwa penyebaran data dalam setiap kelompok tidak berbeda secara signifikan. Salah satu metode yang paling umum digunakan untuk menguji homogenitas adalah uji *Levene*. Dalam uji *Levene*,  $H_0$  menyatakan bahwa varians semua kelompok adalah sama (homogen), sedangkan  $H_1$  menyatakan bahwa paling tidak ada satu kelompok yang memiliki varians berbeda (tidak homogen) [14].

Adapun prosedur pengambilan keputusan yang paling umum didasarkan pada nilai signifikansi (Sig.) [14]:

a. Jika Sig.  $\geq \alpha$  (0,05), maka  $H_0$  gagal ditolak, artinya data homogen (variens sama).

b. Jika Sig.  $\leq \alpha$  (0,05), maka  $H_0$  ditolak, artinya data tidak homogen (variens berbeda).

#### G.5 Uji Welch ANOVA

Uji *Welch* ANOVA merupakan varian dari analisis varians satu arah (*One-Way* ANOVA) yang digunakan ketika asumsi homogenitas varians antar kelompok tidak terpenuhi [15].

Adapun hipotesis dalam uji *Welch* ANOVA adalah sebagai berikut [15]:

1.  $H_0$  : Jika p-Value  $\geq 0,05$ , maka tidak terdapat perbedaan rata-rata antar kelompok.

2.  $H_1$  : Jika p-Value  $< 0,05$ , maka terdapat paling tidak satu rata-rata kelompok yang berbeda

#### G.6 Uji Post Hoc Games-Howell

Uji *post hoc Games-Howell* digunakan setelah *Welch* ANOVA untuk mengetahui secara spesifik kelompok mana yang berbeda signifikan. Karena *Welch* ANOVA hanya menunjukkan adanya perbedaan rata-rata tanpa menyebutkan pasangan kelompoknya, maka uji *Games-Howell* diperlukan, terutama saat data tidak memenuhi asumsi homogenitas varians. Pada uji *post hoc Games-Howell* dengan derajat kepercayaan 95%, aturan signifikansi adalah sebagai berikut [16] :

a. Jika p-value  $< 0.05$ , maka  $H_0$  ditolak dan terdapat perbedaan rata-rata antar kelompok dianggap signifikan secara statistik.

b. Jika p-value  $> 0,05$ , maka  $H_0$  diterima dan tidak

terdapat perbedaan rata-rata antar kelompok.

#### G.7 Uji Welch T-Test

Uji *Welch* T-Test merupakan salah satu bentuk pengujian statistik yang digunakan untuk membandingkan rata-rata dua kelompok independen, terutama ketika asumsi homogenitas varians tidak terpenuhi. Adapun prosedur pengambilan keputusan dalam uji *Welch* T-Test didasarkan pada perbandingan antara nilai p-value dan tingkat signifikansi ( $\alpha = 0,05$ ) sebagai berikut [17]:

a. Jika p-value  $< 0,05$ , maka  $H_0$  ditolak, yang berarti terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan secara statistik.

b. Jika p-value  $\geq 0,05$ , maka  $H_0$  diterima, yang berarti tidak terdapat perbedaan rata-rata yang signifikan.

#### G.8 Effect Size Cohen's

*Effect size Cohen's d* merupakan salah satu ukuran statistik yang digunakan untuk mengukur besar pengaruh atau perbedaan antara dua kelompok data secara praktis, bukan hanya secara statistik. Berikut merupakan rumus perhitungan *effect size Cohen's d* [18]:

$$d = \frac{x_A - x_C}{S_{pooled}} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan :

$\bar{x}_A$  = Rata-rata nilai resistansi listrik ban A

$\bar{x}_C$  = Rata-rata nilai resistansi listrik ban C

$S_{pooled}$  = Simpangan baku gabungan

Dimana  $S_{pooled}$  atau simpangan baku gabungan bisa dihitung dengan persamaan berikut [18]:

$$s_{pooled} = \sqrt{\frac{(n_A-1)s_A^2 + (n_C-1)s_C^2}{n_A + n_C - 2}} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan :

n = Jumlah sampel

s = Standar deviasi

Tabel 1 berikut menyajikan klasifikasi nilai *effect size Cohen's d* beserta kategori interpretasinya [18]:

Tabel 1. Klasifikasi Effect Size Cohen's d	
Effect Size	Kategori
$0 \leq ES \leq 0,4$	Efek Rendah
$0,5 \leq ES \leq 0,7$	Efek Sedang
$ES \geq 0,8$	Efek Tinggi

#### H. Analisis dan Pembahasan

Analisis dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas antenna sebagai sistem pentanahan pada ban melalui pengujian resistansi listrik. Data resistansi dari ban utuh diolah dan dianalisis menggunakan uji statistik, diawali dengan uji kecukupan, normalitas, keseragaman, dan homogenitas. Hasilnya digunakan

sebagai dasar pemilihan uji *Welch ANOVA* dan *post hoc Games-Howell* untuk mengetahui perbedaan resistansi antar ban dengan dan tanpa antenna. Diperkuat dengan perhitungan *effect size* menggunakan *Cohen's d*, ditemukan bahwa keberadaan antenna memberikan pengaruh signifikan dalam menurunkan nilai resistansi listrik ban, sehingga meningkatkan kemampuan pelepasan muatan listrik statis ke tanah.

### I. Kesimpulan

Bagian terakhir dari penelitian berisi kesimpulan yang menjawab tujuan akhir dari penelitian. Kemudian, pada bagian saran berisi tentang hal-hal yang bisa ditambahkan untuk penelitian selanjutnya.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### A. Pengumpulan Data

Sebelum dilakukan analisis lebih lanjut untuk menentukan titik hambatan (*blocking point*) pada ban yang memiliki nilai resistansi tinggi, langkah awal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mengevaluasi efektivitas antenna. Evaluasi ini penting untuk melihat sejauh mana keberadaan antenna berpengaruh dalam menurunkan resistansi listrik pada ban, khususnya ban dengan *tread* berbahan silika yang secara alami bersifat isolatif. Pengujian terhadap efektivitas antenna menjadi dasar penting dalam memahami perannya sebagai komponen utama sistem pentanahan, sebelum masuk pada tahap identifikasi hambatan dalam struktur internal ban. Oleh karena itu, bagian ini akan menyajikan hasil pengukuran resistansi listrik dari berbagai jenis ban yang digunakan, disertai pembahasan terhadap pengaruh keberadaan antenna berdasarkan hasil uji statistik yang telah dilakukan. Berikut merupakan hasil pengukuran resistansi listrik ketika jenis ban disajikan dalam Tabel 2 berikut ini :

Tabel 2. Hasil Pengukuran Nilai Resistansi Listrik

Nilai Resistansi Listrik (MΩ)		
Ban A	Ban B	Ban C
2915,51	105,23	0,299
3156,73	111,20	0,220
3079,34	169,53	0,200
3092,81	165,94	0,290
3002,97	165,76	0,297
2794,33	121,55	0,170
3188,26	127,10	0,170
2872,91	160,73	0,260
4127,84	130,53	0,262
3671,97	146,07	0,270
2705,32	152,63	0,230
3761,22	173,24	0,270
3869,76	130,57	0,231

Tabel 2. Lanjutan

Nilai Resistansi Listrik (MΩ)		
Ban A	Ban A	Ban A
3285,52	131,12	0,200
3572,13	142,32	0,170
3273,17	165,312	0,240

Penelitian ini menggunakan tiga kelompok sampel ban, masing-masing terdiri dari 16 data hasil pengukuran resistansi listrik. Ban A merupakan ban tanpa antenna dan menggunakan *tread* berbahan silika yang dikenal bersifat isolatif. Sama halnya dengan ban B yang juga tidak dilengkapi antenna, namun menggunakan *tread* berbahan karbon hitam yang memiliki sifat konduktif lebih baik dibanding silika. Sementara itu, ban C, menggunakan *tread* berbahan silika seperti ban A, namun pada ban C terdapat material antenna konduktif di dalam strukturnya sebagai jalur tambahan sistem pentanahan. Pengukuran resistansi listrik ini dilakukan di laboratorium menggunakan alat Megaohmmeter, dengan prosedur yang konsisten dan terkalibrasi. Data yang terkumpul dianalisis menggunakan uji kecukupan, normalitas, homogenitas, serta analisis perbedaan rata-rata untuk mengevaluasi pengaruh kombinasi bahan *tread* dan antenna terhadap resistansi listrik ban.

### B. Pengolahan Data

#### 1. Uji Kecukupan Data

Uji kecukupan data merupakan langkah awal yang dilakukan untuk memastikan bahwa jumlah sampel yang digunakan dalam penelitian ini telah memadai dan mampu mewakili populasi secara representatif. Pada tahap awal, peneliti menetapkan tingkat keyakinan sebesar 90% dengan derajat ketelitian 10% sebagai dasar pengujian. Berikut perhitungan uji kecukupan data hasil nilai resistansi pada ban A sesuai dengan Persamaan 1:

Diketahui :

$$N = 16$$

$$\sum x_i = 52369,79 \text{ M}\Omega$$

$$\sum x_i^2 = 173.989.071.701.300 \text{ M}\Omega^2$$

$$N' = \left[ \frac{k \sqrt{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}}{\sum x_i} \right]^2$$

$$= \left[ \frac{2 \sqrt{16(173.989.071.701.300) - (2.742.594.904.644.100)}}{52.369,79} \right]^2$$

$$= \left[ \frac{20 \sqrt{41.230.242.576.700,3^2}}{52369,79} \right]^2$$

$$= \left[ \frac{128.421,559836^2}{52369,79} \right]^2$$

$$= 6$$

Hasil perhitungan di atas dapat diketahui bahwa nilai  $N' < N = 6 < 16$ , maka data tersebut telah mencukupi.

Perhitungan uji kecukupan data hasil nilai resistansi listrik pada ban B sebagai berikut :

Diketahui :

$$N = 16$$

$$\sum x_i = 2298,832 \text{ M}\Omega$$

$$\sum x_i^2 = 337461179744 \text{ M}\Omega^2$$

$$N' = \left[ \frac{\frac{k \sqrt{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}}{\sum x_i}}{s} \right]$$

$$= \left[ \frac{0,1 \sqrt{16(337.461.179.744) - (5.284.628.564,224)}}{2298,832} \right]$$

$$= \left[ \frac{20 \sqrt{114.750.311.680}}{2298,832} \right]$$

$$= \left[ \frac{6.774,963075^2}{2298,832} \right]$$

$$= 9$$

Hasil perhitungan di atas dapat diketahui bahwa nilai  $N' < N = 9 < 16$ , maka data tersebut telah mencukupi.

Perhitungan uji kecukupan data hasil nilai resistansi listrik pada ban C sebagai berikut :

Diketahui :

$$N = 16$$

$$\sum x_i = 3,779 \text{ M}\Omega$$

$$\sum x_i^2 = 922,715 \text{ M}\Omega^2$$

$$N' = \left[ \frac{\frac{k \sqrt{N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}}{\sum x_i}}{s} \right]$$

$$= \left[ \frac{0,1 \sqrt{16(922.715 \times 10^6) - (14.280.841 \times 10^6)^2}}{3.779.000} \right]$$

$$= \left[ \frac{20 \sqrt{482.599.000.000}}{3.779.000} \right]$$

$$= \left[ \frac{13.893.869^2}{3.779.000} \right]$$

$$= 14$$

Hasil perhitungan di atas dapat diketahui bahwa nilai  $N' < N = 14 < 16$ , maka data tersebut telah mencukupi.

## 2. Uji Normalitas Data

Setelah dipastikan bahwa jumlah data dalam penelitian ini mencukupi, langkah berikutnya adalah melakukan uji normalitas.

Tabel 2. Hasil Uji Normalitas Nilai Resistansi Listrik  
Ban A, B, C

Item Uji Normalitas Data	Std. Value S-W	Sig. Value S-W	Interpretasi
Ban A	0,05	0,375	$p\text{-value} > 0,05$ Data Berdistribusi Normal
Ban B	0,05	0,247	$p\text{-value} > 0,05$ Data Berdistribusi Normal
Ban C	0,05	0,211	$p\text{-value} > 0,05$ Data Berdistribusi Normal

Berdasarkan Tabel 2 seluruh kelompok data memiliki jumlah sampel kurang dari 50, sehingga penggunaan uji *Shapiro-Wilk* ini sudah tepat. Nilai signifikansi masing-masing adalah: Ban A = 0,375; Ban B = 0,247; dan Ban C = 0,211. Karena ketiganya  $> 0,05$ , maka data berdistribusi normal dan memenuhi asumsi untuk dilanjutkan ke uji statistik parametrik.

## 3. Uji Keseragaman Data

Setelah data dinyatakan berdistribusi normal, maka akan dilakukan uji keseragaman data agar tidak terdapat data yang ekstrem dengan menentukan UCL dan LCL. Namun sebelum melakukan uji keseragaman data, terlebih dahulu dilakukan perhitungan nilai rata-rata yang dapat dibuktikan dengan teori matematis pada Persamaan 2. Berikut merupakan hasil perhitungan rata-rata dengan Persamaan 2 :

$$\bar{x}_A = 3.273,111875 \text{ M}\Omega$$

$$\bar{x}_B = 143,677 \text{ M}\Omega$$

$$\bar{x}_C = 0,236188 \text{ M}\Omega$$

Setelah melakukan perhitungan nilai rata-rata, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan standar deviasi sampel dengan menggunakan teori matematis seperti pada Persamaan 3. Berikut merupakan hasil perhitungan standar deviasi dengan Persamaan 3 :

$$\sigma_A = 414,478802 \text{ M}\Omega$$

$$\sigma_B = 21,866099 \text{ M}\Omega$$

$$\sigma_C = 0,044842 \text{ M}\Omega$$

Kemudian untuk menentukan UCL menggunakan teori matematis dari Persamaan 4 dan LCL menggunakan teori matematis pada Persamaan 5. Berikut merupakan hasil perhitungan UCL dan LCL:

$$\text{Ban A : } UCL_A = 4.516,548281 \text{ M}\Omega$$

$$LCL_A = 2.029,675469 \text{ M}\Omega$$

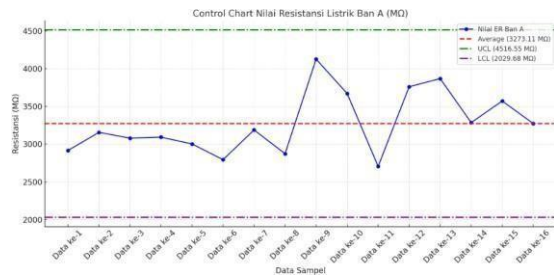
$$\text{Ban B : } UCL_B = 4.516,548281 \text{ M}\Omega$$

$$LCL_B = 2.029,675469 \text{ M}\Omega$$

Ban C :  $UCL_C = 4.516,548281 \text{ M}\Omega$

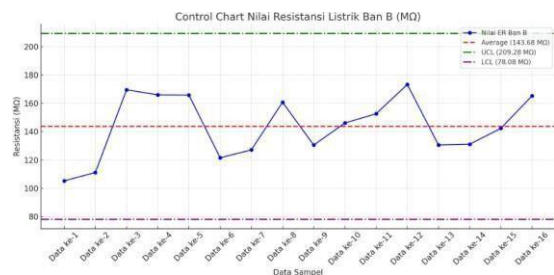
$LCL_C = 2.029,675469 \text{ M}\Omega$

Berdasarkan hasil perhitungan yang didapat, data dapat disajikan menggunakan grafik uji keseragaman data dengan *Microsoft Excel* seperti berikut :



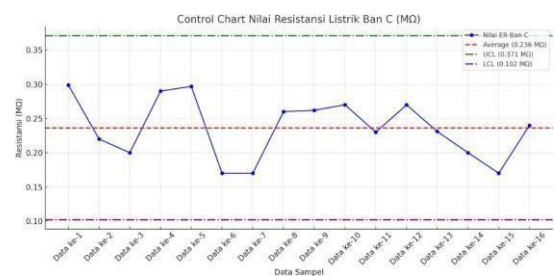
Gambar 6. Grafik Uji Keseragaman Data Ban A

Berdasarkan Gambar 6, maka dapat diambil Kesimpulan bahwa data nilai resistansi listrik pada ban A seragam karena tidak melebihi batas kontrol atas atau UCL maupun batas kontrol bawah atau LCL.



Gambar 7. Grafik Uji Keseragaman Data Ban B

Berdasarkan Gambar 7, maka dapat diambil kesimpulan bahwa data nilai resistansi listrik ban B seragam karena tidak melebihi batas kontrol atas atau UCL maupun batas kontrol bawah atau LCL.



Gambar 8. Grafik Uji Keseragaman Data Ban C

Berdasarkan Gambar 8, maka dapat diambil kesimpulan bahwa data nilai resistansi listrik ban B seragam karena tidak melebihi batas kontrol atas atau UCL maupun batas kontrol bawah atau LCL.

#### 4. Uji Homogenitas

Setelah melakukan uji keseragaman data, untuk mrngetahui apakah ketiga kelompok data memiliki ragam (varians) yang sama atau tidak, yang mmerupakan salah satu syarat untuk melanjutkan analisis menggunakan uji statistik parametrik seperti ANOVA. Pengujian ini dilakukan menggunakan metode *Levene's Test*.

Tabel 3. Hasil Uji Homogenitas (*Levene Test*)

Item Uji Homogenitas Data	Std. Value Levene Test	Sig. Value Levene Test	Interpretasi
NilaiER (Ban A-B-C)	0.05	0,001	$p\text{-value} < 0,05$ Tidak Homogen

Hasil pengujian yang disajikan pada Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai signifikansi kurang dari 0,05, yang menunjukkan bahwa terdapat varians antar kelompok. Dengan kata lain, data tidak memiliki varians yang homogen. Karena hasil uji *Levene* menunjukkan bahwa ketiga kelompok data memiliki varians yang berbeda secara signifikan, maka dapat disimpulkan bahwa data tidak memenuhi asumsi homogenitas varians.

#### 5. Uji Welch ANOVA

Analisis awal pada penelitian ini menggunakan uji ANOVA satu arah (*One-Way ANOVA*) untuk menguji apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara tiga kelompok terhadap variabel NilaiER. Hasil pengujian ANOVA menunjukkan bahwa nilai signifikansi ( $p\text{-value}$ ) sebesar 0,001. Karena nilai signifikansi ini lebih kecil dari taraf signifikansi 0,05, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antara rata-rata nilai NilaiER di antara kelompok-kelompok yang diteliti.

Karena salah satu syarat utama dari ANOVA dilanggar, maka hasil uji ANOVA tidak lagi valid untuk dijadikan dasar pengambilan keputusan. Untuk mengatasi pelanggaran asumsi ini, digunakan uji *Welch*, yaitu metode alternatif dari ANOVA yang dirancang khusus untuk data yang tidak homogen. Uji *Welch* dikenal sebagai *robust test of equality of means*, yang tidak memerlukan asumsi homogenitas varians dan tetap dapat memberikan hasil yang akurat meskipun varians antar kelompok tidak seragam.

Tabel 4. Hasil Uji *Welch* ANOVA

Item Uji <i>Welch</i> ANOVA	Std. Value <i>Welch</i> ANOVA	Sig. Value <i>Welch</i> ANOVA	Interpretasi
NilaiER (Ban A-B-C)	0.05	0,001	$p\text{-value} < 0,05$ Terdapat Perbedaan Signifikansi Antar Kelompok

Hasil uji *Welch* dalam penelitian ini pada Tabel 4 menunjukkan nilai signifikansi 0,001, yang berarti bahwa hasilnya tetap konsisten dengan ANOVA, yakni menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara rata-rata kelompok. Dengan demikian, meskipun asumsi ANOVA tidak terpenuhi, hasil uji *Welch* memberikan dukungan yang kuat bahwa perbedaan antar kelompok memang benar-benar signifikan dan bukan terjadi karena kesalahan teknis dalam model analisis. Oleh karena itu, kesimpulan bahwa terdapat pengaruh perlakuan atau perbedaan nyata antar kelompok terhadap NilaiER tetap dapat diterima secara sah, berdasarkan hasil uji *Welch* yang lebih sesuai dengan karakteristik data.

### 6. Uji Post Hoc Games-Howell

Untuk mengidentifikasi kelompok mana yang berbeda secara spesifik, dilakukan uji *post hoc Games-Howell*, yang juga tepat digunakan dalam kondisi varians tidak homogen.

**Tabel 5.** Hasil Uji *Post Hoc Games Howell*  
Nilai Resistansi (Sig.)

Item Uji <i>Post Hoc Games-Howell</i>	Std. Value <i>Post Hoc Games Howell</i>	Sig. Value <i>Post Hoc Games Howell</i>	Interpretasi
NilaiER (Ban A-B-C)	0,05	0,001	$p\text{-value} < 0,05$ Terdapat Perbedaan Signifikansi Antar Kelompok

Nilai signifikansi hasil uji *post hoc Games-Howell* seperti pada Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai signifikansi ( $p\text{-value}$ ) sebesar 0,001. Karena nilai signifikansi ini lebih kecil dari standar signifikansi 0,05, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik antara rata-rata nilai NilaiER di antara kelompok-kelompok yang diteliti.

**Tabel 6.** Hasil Uji *Post Hoc Games Howell*  
(Mean Difference)

Kelompok (Baris vs Kolom)	Ban A( $\Omega$ )	Ban B( $\Omega$ )	Ban C( $\Omega$ )
Ban A	-	+3.129.434.875	+3.272.875.688*
Ban B	-3.129E+9*	-	+143.440.813*
Ban C	-3.273E+9*	3.440.813*	-

Berdasarkan Tabel 6, berikut penjelasan hasil uji *post hoc Games Howell* untuk setiap pasangan kelompok ban :

a. Ban A dan Ban B

Ban A memiliki resistansi jauh lebih tinggi dari Ban B (+3.129.434.875  $\Omega$ ), menunjukkan Ban B lebih baik dalam menghantarkan listrik.

b. Ban A dan Ban C

Ban A juga memiliki resistansi jauh lebih tinggi dari Ban C (+3.272.875.688  $\Omega$ ), artinya Ban C lebih

konduktif daripada Ban A.

c. Ban B dan Ban A

Kebalikan dari poin (a), Ban B memiliki resistansi lebih rendah dari Ban A (-3.129.434.875  $\Omega$ ), menunjukkan konduktivitas Ban B lebih baik.

d. Ban B dan Ban C

Ban B memiliki resistansi sedikit lebih tinggi dari Ban C (+143.440.813  $\Omega$ ), tapi perbedaan ini tetap signifikan, menunjukkan Ban C lebih unggul.

e. Ban C dan Ban A

Kebalikan dari poin (b), Ban C memiliki resistansi jauh lebih rendah dari Ban A (-3.272.875.688  $\Omega$ ), memperkuat bahwa Ban C lebih efektif.

f. Ban C dan Ban B

Ban C juga lebih unggul dibanding Ban B dalam hal konduktivitas listrik, dengan resistansi lebih rendah sebesar 143.440.813  $\Omega$ .

Hasil uji pada Tabel 6 menunjukkan bahwa seluruh pasangan ban (A–B, A–C, dan B–C) memiliki perbedaan nilai resistansi listrik yang signifikan. Ban A dan C sama-sama menggunakan *tread* silika, namun hanya Ban C yang dilengkapi antenna. Nilai resistansi yang lebih rendah pada Ban C membuktikan bahwa antenna efektif meningkatkan konduktivitas ban berbahan silika. Ban B yang menggunakan karbon hitam tanpa antenna juga menunjukkan perbedaan signifikan terhadap Ban A dan C. Meskipun karbon hitam bersifat konduktif alami, hasil resistansinya masih lebih tinggi dibanding Ban C yang memadukan silika dan antenna. Berdasarkan hasil uji tersebut dapat dilihat bahwa antenna memberikan kontribusi nyata dalam menurunkan resistansi listrik, khususnya pada ban dengan *tread* silika. Kombinasi bahan dan fitur konduktif seperti antenna perlu dipertimbangkan dalam perancangan ban untuk mencapai performa pentanahan yang optimal.

### 7. Uji Welch T-Test

Untuk melihat pengaruh antenna secara spesifik, dilakukan perbandingan antara ban A dan ban C yang sama-sama menggunakan *tread* silika, namun berbeda pada keberadaan antenna. Karena material dasarnya sama, perbedaan resistansi dapat dikaitkan langsung dengan fungsi antenna. Analisis dilakukan menggunakan uji *Welch T-Test*, karena kedua kelompok memiliki varians yang berbeda. Uji ini dipilih untuk memastikan akurasi dalam menguji signifikansi perbedaan nilai resistansi listrik antara kedua ban.

**Tabel 7.** Hasil Uji *Welch T-Test*

Item Uji <i>Welch T-Test</i>	Std. Value <i>Welch T-Test</i>	Sig. Value <i>Welch T-Test</i>	Interpretasi
Nilai Resistansi Listrik (Ban A dan Ban C)	0,05	0,001	$p\text{-value} < 0,05$ Terdapat Perbedaan Signifikansi Antar Kelompok

Uji *Welch T-Test* digunakan karena hasil *Levene's Test* menunjukkan nilai signifikansi 0,001 ( $< 0,05$ ), yang menandakan varians antar kelompok tidak homogen dan pada Tabel 7 menunjukkan bahwa *Sig-Value Welch T-Test* yaitu 0,001, yang berarti terdapat perbedaan resistansi listrik yang sangat signifikan antara ban tanpa antenna dan ban dengan antenna.

#### 8. *Effect Size Cohen's d*

Untuk mengetahui besarnya perbedaan secara praktis, dilakukan perhitungan *effect size* menggunakan *Cohen's d* seperti pada Persamaan 6. Diketahui :

$$\begin{aligned}\bar{x}_A - \bar{x}_C &= 3.272,875688 \text{ M}\Omega \\ s_A &= 414,478802 \text{ M}\Omega \\ s_C &= 0,044842 \text{ M}\Omega \\ n_A = n_C &= 16\end{aligned}$$

Sebelum perhitungan *Cohen's d* nilai resistansi listrik pada ban A dan ban C, terlebih dahulu menghitung *S<sub>pooled</sub>* dengan Persamaan 7. Dari perhitungan diperoleh nilai *S<sub>pooled</sub>* sebagai berikut:

$$S_{pooled} = 926,425 \text{ M}\Omega$$

Setelah nilai *S<sub>pooled</sub>* diketahui, berikut adalah perhitungana *Cohen's d* nilai resistansi listrik pada ban A dan ban C dengan menggunakan Persamaan 6:

$$\begin{aligned}d &= \frac{\bar{x}_A - \bar{x}_C}{S_{pooled}} \\ &= \frac{3.272.875.688}{926.425.000} \\ &= 3,53\end{aligned}$$

Sebagai penguatan terhadap hasil uji *Welch T-Test* sebelumnya, perhitungan *effect size* dilakukan menggunakan rumus *Cohen's d*. Perhitungan yang dipakai untuk mengklasifikasikan nilai sesuai dengan tabel klasifikasi. Pengklasifikasian ini digunakan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh ada tidaknya antenna pada ban terhadap nilai resistansi listrik

Berdasarkan hasil, diperoleh nilai sebesar 3,53 yang tergolong dalam kategori efek tinggi ( $ES \geq 0,8$ ) sesuai pada Tabel 1. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan antara ban tanpa antenna dan ban dengan antenna tidak hanya signifikan secara statistik, tetapi juga berdampak besar secara praktis. Artinya, antenna terbukti efektif sebagai jalur konduktif dalam menurunkan resistansi listrik, khususnya pada ban dengan *tread* berbahan silika.

#### C. Analisa dan Pembahasan Hasil

Berdasarkan hasil uji statistik yang telah dilakukan, ditemukan bahwa keberadaan antenna pada ban memberikan pengaruh yang signifikan terhadap performa ban. Hal ini terlihat dari perbedaan nilai resistansi listrik yang secara statistik

terbukti bermakna antara ban A dan ban C, meskipun keduanya menggunakan *tread* berbahan dasar silika. Artinya, satu-satunya faktor pembeda yang memberikan kontribusi terhadap perbedaan performa adalah keberadaan antenna itu sendiri. ban A dan ban C dirancang dengan komposisi material yang sama yakni menggunakan *tread* silika, yang terkenal unggul dalam hal traksi, kenyamanan berkendara, dan efisiensi energi. Namun, silika memiliki sifat sebagai isolator listrik, yang membuatnya tidak dapat menghantarkan muatan listrik statis dari kendaraan ke tanah. Pada ban A, yang tidak dilengkapi antenna, muatan listrik statis berpotensi tertahan dan menumpuk, sehingga bisa menimbulkan gangguan pada sistem elektronik kendaraan, terutama pada kendaraan modern yang sangat sensitif terhadap interferensi kelistrikan. Sebaliknya, ban C dilengkapi dengan antenna, yaitu komponen konduktif yang tertanam dalam struktur ban dan berfungsi sebagai jalur penghantar listrik. Antenna inilah yang membuat perbedaan signifikan, karena mampu menangani kelemahan elektrik *tread* silika tanpa mengurangi keunggulan performa fisiknya. Oleh karena itu, perbandingan antara ban A dan ban C menegaskan bahwa kehadiran antenna terbukti efektif dalam meningkatkan performa keseluruhan ban, baik dari sisi kelistrikan maupun kestabilan pengendalian. Hasil uji statistik memperkuat hal ini dengan menunjukkan bahwa perbedaan yang terjadi bukan kebetulan, melainkan dampak langsung dari keberadaan antenna. Selain itu, terdapat ban B, yaitu ban yang tidak memiliki antenna namun menggunakan *tread* berbahan karbon hitam. Berbeda dari silika, karbon hitam memiliki sifat konduktif, sehingga dapat menghantarkan listrik secara alami meskipun tanpa antenna. Dengan demikian, ban B tetap mampu mengatasi akumulasi muatan listrik statis. Namun demikian, dari segi performa jalan karbon hitam masih kalah dibandingkan silika, terutama dalam hal daya cengkeram, efisiensi putaran, dan kenyamanan berkendara. Jadi meskipun ban B unggul secara kelistrikan, secara keseluruhan performanya tidak setinggi ban yang menggunakan *tread* silika, khususnya dalam aplikasi kendaraan yang membutuhkan performa tinggi.

#### IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa antenna memiliki peran signifikan dalam menurunkan resistansi listrik pada ban kendaraan listrik, khususnya ban dengan *tread* berbahan silika. Hasil pengujian dan analisis statistik membuktikan bahwa ban dengan antenna (Ban C) memiliki resistansi jauh lebih rendah dibandingkan ban tanpa antenna (Ban A), meskipun menggunakan bahan *tread* yang sama. Perbedaan ini terbukti signifikan secara statistik melalui uji *Welch T-Test* dan diperkuat oleh nilai *effect size* sebesar 3,53, yang menunjukkan dampak praktis yang sangat besar. Dengan demikian, antenna terbukti

efektif sebagai komponen utama sistem pentanahan ban dan menjadi solusi untuk meningkatkan konduktivitas ban berbahan silika dalam memenuhi standar industri kendaraan listrik.

## V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Y. Suci Mila Ramadhani, "Pengaruh Persepsi Konsumen Terhadap Minat Beli Mobil Listrik," No. 4, Pp. 35–44.
- [2] T. Gül, A. F. Pales, And E. Connelly, "Global Ev Outlook 2024 Moving Towards Increased Affordability," *Electr. Veh. Initiative*, P. 79, 2024.
- [3] A. D. N. Agusta, "Pengembangan Kerja Sama Hyundai Dan Indonesia Dalam Menerapkan Teknologi Ramah Lingkungan Pada Industri Otomotif," 2025.
- [4] W. Her, L. Chin, And L. Hsien, "A Study Of The Durability Properties Of Waste Tire Rubber Applied To Self-Compacting Concrete," *Constr. Build. Mater.*, Vol. 41, Pp. 665–672, 2022, Doi: 10.1016/J.Conbuildmat.2012.11.019.
- [5] R&D Pt. Ams, "Report Electrical Resistance No. 0087rdtii25 Pt Ams," Jakarta, 2025.
- [6] W. Wu *Et Al.*, "Triboelectric Nanogenerator Boosts Smart Green Tires," *Adv. Funct. Mater.*, Vol. 29, No. 41, Pp. 1–9, 2021, Doi: 10.1002/Adfm.201806331.
- [7] G. N. Popa, D. A. Nikolov, And C. M. Diniş, "About The Aged Degradation Of The Materials Used For Medium-Voltage Distributors," *Energies*, Vol. 17, No. 14, 2024, Doi: 10.3390/En17143418.
- [8] P. Thaptong, P. Jittham, And P. Sae-Oui, "Effect Of Conductive Carbon Black On Electrical Conductivity And Performance Of Tire Tread Compounds Filled With Carbon Black/Silica Hybrid Filler," *J. Appl. Polym. Sci.*, Vol. 138, No. 34, Pp. 1–10, 2021, Doi: 10.1002/App.50855.
- [9] N. M. Janna, "Konsep Uji Validitas Dan Reliabilitas Dengan Menggunakan Spss," *Spss*, No. 18210047, 2024.
- [10] D. Sanjaya, F. Jombang, And S. W. Abstract, "Analisis Kualitas Pelayanan Terhadap Kepuasan Pelanggan Menggunakan Metode Servqual," 2022.
- [11] M. Isnaini, M. W. Afgani, A. Haqqi, And I. Azhari, "Teknik Analisis Data Uji Normalitas," Vol. 4, No. 2, Pp. 1377–1384, 2025.
- [12] T. H. Suryatman And R. Ramdani, "Desain Kursi Santai Multifungsi Ergonomis Dengan Menggunakan Pendekatan Antropometri," *J. Ind. Manuf.*, Vol. 4, No. 1, P. 45, 2019, Doi: 10.31000/Jim.V4i1.1244.
- [13] S. Immanuella, R. D. Astuti, And E. Pujiyanto, "Matrik Perancangan Alat Pemotong Label Untuk Meminimasi Gerakan Repetitive Pekerja Di Industri Jago Jaya Shuttlecock Surakarta," Vol. Xxii, No. 1, 2021, Doi: 10.350587/Matrik.
- [14] R. Sianturi, "Uji Homogenitas Sebagai Syarat Pengujian Analisis," Vol. 8, No. 1, Pp. 386–397, 2022, Doi: 10.53565/Pssa.V8i1.507.
- [15] A. A. Geong, "Analisis Distribusi Umur Pengelola Usaha Pertanian Perorangan (Utp) Di Provinsi Nusa Tenggara Timur Dan Berperan Aktif Dalam Mendukung," No. April, 2025.
- [16] R. N. Lina And A. Rahmawaty, "Uji Efektivitas Analgesik Kombinasi Ekstrak Etanol Umbi Rumput Teki (Cyperus Rotundus L.) Dan Daun Kelor (Moringa Oleifera Lam.) Pada Mencit Jantan Dengan," Vol. 6, No. 1, Pp. 55–64, 2022.
- [17] C. Adelina And R. Witarasa, "Vol : 1 No : 5, Oktober - November 2024 Pengaruh Model Picture And Picture Terhadap Kemampuan Menyimak Dan Menulis Paragraf Teks Deskripsi Siswa Smpn 2 Rupert Utara The Influence Of The Picture And Picture Model On Listening And Writing Paragraphs Of Descriptive Text Skills Of Students At Smpn 2 Rupert Utara Jicn : Jurnal Intelek Dan Cendekiawan Nusantara Vol : 1 No : 5, Oktober - November 2024," No. November, Pp. 6788–6796, 2024.
- [18] A. Risnawati, K. Nisa, And I. Oktaviyanti, "Pengaruh Model Pembelajaran Problem Based Learning Terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Kelas V Pada Tema Kerukunan Dalam Bermasyarakat Sdn Wora," 2022.
- [19] R. Pramana, S. Panie, N. Kurniati, E. Kurniawan, And N. Hikmah, "Pengaruh Model Discovery Learning Terhadap Hasil Belajar Siswa Smpn 8 Mataram Kelas Vii Tahun Ajaran 2022 / 2023," Vol. 8, Pp. 1065–1073, 2023.