

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sepeda motor adalah salah satu moda transportasi utama di Indonesia yang memainkan peran penting dalam mendukung mobilitas masyarakat. Sepeda motor didefinisikan sebagai kendaraan bermotor roda dua yang digerakkan oleh mesin dan digunakan untuk mengangkut satu hingga dua penumpang (KBBI, 2025). Kepraktisan, efisiensi bahan bakar, dan kemampuan menavigasi kemacetan membuat sepeda motor menjadi pilihan utama bagi masyarakat di daerah perkotaan maupun pedesaan. Menurut data dari Badan Pusat Statistik (BPS), jumlah sepeda motor di Indonesia pada tahun 2024 mencapai lebih dari 125 juta unit, menjadikannya jenis kendaraan paling banyak di negara ini (Badan Pusat Statistik, 2024). Dominasi ini semakin kuat seiring dengan meningkatnya laju pembelian baru (Trading Economics, 2026). Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia (AISI) menyatakan bahwa penjualan sepeda motor domestik sepanjang tahun 2024 mencapai sekitar 6,3 juta unit, dengan tren pertumbuhan yang stabil selama beberapa tahun terakhir. Data menunjukkan segmen sepeda motor matic mendominasi pasar dengan pangsa lebih dari 89%, menunjukkan bahwa jenis sepeda motor ini adalah fokus utama inovasi dalam industri kendaraan roda dua di Indonesia (AISI, 2024).

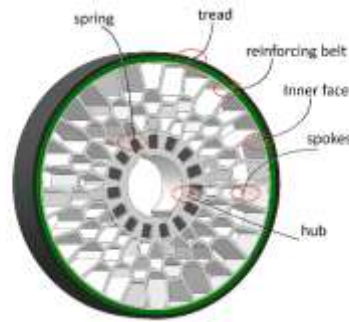
Namun, dibalik tingginya angka kepemilikan dan penggunaan, sepeda motor juga berkontribusi signifikan terhadap tingginya jumlah kecelakaan lalu lintas di Indonesia. Berdasarkan data Korps Lalu Lintas Kepolisian Negara Republik Indonesia lebih dari 70% kecelakaan lalu lintas di Indonesia melibatkan sepeda motor. Tingkat kecelakaan lalu lintas di Indonesia mengalami peningkatan yang signifikan sepanjang tahun 2024 (NTMC Redaksi, 2024). Berdasarkan data dari *Integrated Road Safety Manajemen System* (IRSMS) Korlantas Polri, tercatat sebanyak 79.220 kecelakaan lalu lintas terjadi hingga 5 Agustus 2024.

Kecelakaan lalu lintas paling banyak terjadi melibatkan sepeda motor, dengan 76,42% dari total kendaraan yang terlibat, atau sekitar 552.155 unit (Korlantas Polri, 2024). Oleh karena itu, kebutuhan mendesak untuk meningkatkan aspek keselamatan dan keandalan komponen kendaraan diperlukan dengan meninjau aspek sistem roda dan ban. Salah satu penyebab kecelakaan fatal bagi pengendara sepeda motor adalah pecah atau bocor ban secara tiba-tiba, yang dapat menyebabkan hilangnya kendali kendaraan (Fidlia & Shaula, 2022). Hal ini menggaris bawahi perlunya mengembangkan teknologi ban yang tidak hanya memberikan performa optimal dalam hal cengkraman dan kenyamanan, tetapi juga aman, tahan lama, dan anti bocor.

Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) menyatakan pada tahun 2019 bahwa 80% kecelakaan lalu lintas disebabkan oleh ban dengan tekanan tidak standar (Juwita Trisna Rahayu, 2019). Tekanan ban yang tidak tepat akan mengakibatkan efisiensi pengereman yang tidak optimal dan penyimpangan rem, yang berpotensi menyebabkan kecelakaan (Halimatus Sa'diyah et al., 2020), dikutip dalam (Bhahak Fendi Baihaqi & Fitri Naryanto, 2025). Tekanan ban yang rendah juga dapat memengaruhi kinerja suspensi, menghasilkan kualitas berkendara yang buruk dan memengaruhi penanganan serta stabilitas kendaraan (Hamed et al., 2015)

Sebagai solusi inovatif untuk masalah ini, para peneliti dan produsen otomotif telah mulai mengembangkan ban *non pneumatic* (NPT). Berbeda dengan ban konvensional yang mengandalkan tekanan udara untuk menopang beban, ban *non pneumatic* menggunakan struktur padat dan fleksibel, biasanya terdiri dari elemen jari-jari (jari-jari elastis) dan bahan polimer, untuk menggantikan fungsi udara.

Intelligentia - Dignitas



Gambar 1. 1 Struktur Ban *Non pneumatic* (Yinghao Ning, 2016)

Keunggulan utama ban *non pneumatic* adalah ketahanannya terhadap tusukan dan pecah ban, perawatan yang lebih sederhana, dan potensi umur pakai yang lebih panjang. Meskipun demikian, teknologi ini masih menghadapi beberapa tantangan, seperti peningkatan berat, karakteristik deformasi yang berbeda, dan nilai hambatan gelinding yang cenderung lebih tinggi daripada ban konvensional jika desainnya tidak dioptimalkan.

Struktur *spoke* merupakan elemen utama dalam menentukan kinerja ban *non-pneumatic* (NPT), tidak hanya dari sisi mekanis tetapi juga dari sisi termal dan dinamis. *Spoke* berperan sebagai penopang beban, peredam energi, serta jalur utama terjadinya deformasi berulang yang berpotensi menghasilkan panas akibat sifat viskoelastik material. Variasi geometri *spoke*, seperti jumlah, ketebalan, sudut kemiringan, bentuk penampang, dan konfigurasi arah, terbukti memengaruhi kekakuan radial, deformasi, umur kelelahan, dan hambatan gelinding ban (Zang et al., 2025). Namun demikian, sebagian besar penelitian masih menitikberatkan pada aspek mekanis statis dan kelelahan material, sementara pengaruh variasi geometri *spoke* terhadap kinerja termal akibat variasi kecepatan operasional belum banyak dikaji secara komprehensif.

Penelitian oleh Phromjan dan Suvanjumrat menunjukkan bahwa konfigurasi *curved isolated spokes* mampu menghasilkan distribusi tegangan yang lebih merata dan menurunkan risiko retak dini pada ban *non pneumatic* pertanian (Phromjan & Suvanjumrat, 2023). Akan tetapi, penelitian tersebut dilakukan pada kondisi kecepatan rendah dan beban ringan, sehingga efek peningkatan temperatur akibat deformasi siklik dan gaya sentrifugal pada kecepatan tinggi belum terwakili. Padahal, pada sepeda motor matic, ban bekerja

pada variasi kecepatan yang lebih luas dan mengalami frekuensi pembebanan dinamis yang tinggi, yang berpotensi meningkatkan akumulasi panas dan mempercepat degradasi material *spoke*.

Studi oleh (Shuai et al., 2024) serta tinjauan sistematis (Sun et al., 2024) menegaskan bahwa variasi geometri *spoke* seperti *honeycomb*, *radial*, *truss*, dan melengkung berpengaruh signifikan terhadap umur kelelahan dan hambatan gelinding. Meskipun demikian, fokus penelitian tersebut masih dominan pada kendaraan ringan dan sepeda, serta belum secara eksplisit mengaitkan pengaruh variasi kecepatan terhadap dan respons mekanis ban. Selain itu, bentuk *spoke trapezoid*, yang secara teoritis memiliki keunggulan dalam distribusi tegangan dan jalur konduksi panas, masih relatif jarang dikaji secara spesifik.

Penelitian oleh (Fu et al., 2024) mengembangkan model prediksi umur kelelahan *spoke* berbasis kurva S–N, namun belum mengintegrasikan pengaruh peningkatan temperatur akibat deformasi berulang pada berbagai kecepatan. Demikian pula, penelitian (Ku et al., 2023) dan (Jin et al., 2018) menggunakan analisis numerik keadaan tunak untuk mengevaluasi *rolling resistance*, tetapi belum mengaitkannya dengan fenomena termal yang muncul selama operasi dinamis. (Ali et al., 2022) juga masih terbatas pada analisis statik material *polyurethane* tanpa mempertimbangkan efek kecepatan dan kenaikan temperatur jangka panjang.

Dari sisi metodologi, sebagian besar penelitian terdahulu masih menggunakan pendekatan numerik statis atau semi dinamis tanpa validasi eksperimental yang memadai, sehingga hubungan antara variasi kecepatan dan respons mekanis ban belum tervalidasi secara menyeluruh. Penelitian yang mengombinasikan analisis numerik berbasis *Finite Element Analysis* (FEA) dengan pengujian eksperimental untuk mengevaluasi kinerja termal akibat variasi kecepatan masih sangat terbatas. Berdasarkan uraian tersebut, terdapat kesenjangan penelitian yang signifikan terkait analisis pengaruh respons mekanis dan variasi kecepatan pada struktur *spoke trapezoid* ban *non pneumatic*, khususnya untuk aplikasi sepeda motor.

Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk menganalisis respons mekanis dan implikasinya terhadap performa ban pada berbagai kecepatan operasional. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan desain *spoke trapezoid* yang lebih optimal serta menjadi dasar teknis bagi pengembangan ban *non pneumatic* yang aman, efisien, dan berkelanjutan untuk kendaraan roda dua.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, beberapa permasalahan utama yang dapat diidentifikasi dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tingginya tingkat kecelakaan sepeda motor di Indonesia masih dipengaruhi oleh kegagalan fungsi ban, khususnya akibat tekanan ban yang tidak standar serta risiko bocor atau pecah secara tiba-tiba.
2. Ban *non pneumatic* (NPT) menawarkan keunggulan anti bocor dan perawatan rendah, namun karakteristik kinerja mekanik dan respons dinamik pada aplikasi sepeda motor masih belum terkarakterisasi secara menyeluruh.
3. Struktur *spoke* merupakan komponen utama pada ban *non pneumatic* yang sangat memengaruhi respons deformasi dan distribusi tegangan akibat sifat viskoelastik material.
4. Sebagian besar penelitian terdahulu lebih menitikberatkan pada analisis mekanis statis dan kelelahan material, sementara kajian terkait simulasi dinamis akibat deformasi berulang masih terbatas.
5. Pengaruh variasi kecepatan putar ban terhadap respons mekanis struktur *spoke*, khususnya pada sepeda motor matic dengan rentang kecepatan yang bervariasi belum banyak dikaji.
6. Struktur *spoke trapezoid* memiliki potensi dalam mendistribusikan beban secara lebih merata, namun kajian spesifik mengenai respons mekanis pada ban *non pneumatic* sepeda motor masih sangat terbatas.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus dan ketercapaian tujuan penelitian, maka batasan masalah dalam penelitian ini ditetapkan sebagai berikut:

1. Penelitian ini difokuskan pada ban *non pneumatic* (NPT) yang diaplikasikan pada sepeda motor dengan *spoke* menggunakan material *polyurethane* berdasarkan data literatur.
2. Struktur ban yang dianalisis adalah struktur *spoke trapezoid* tanpa melakukan perbandingan langsung dengan bentuk *spoke* lainnya.
3. Analisis dilakukan menggunakan metode numerik berbasis *Finite Element Analysis* (FEA) dengan bantuan perangkat lunak *ANSYS 2026 R1 Student Version*.
4. Variabel penelitian dibatasi pada variasi kecepatan putar ban yaitu 20, 40, 60, 80 Km/Jam dan pembebanan radial yang merepresentasikan kondisi operasional sepeda motor.
5. Beban yang digunakan adalah berat penumpang 2 orang ditambah berat net dari motor kemudian dikali distribusi roda belakang sebesar 60%.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik *strain energy* pada struktur *spoke trapezoid* ban *non pneumatic* sepeda motor akibat deformasi berulang selama operasi?
2. Bagaimana variasi kecepatan putar ban memengaruhi *strain energy*, *maximum shear stress*, dan *equivalent stress* pada struktur *spoke trapezoid* ?
3. Bagaimana pengaruh variasi kecepatan putar ban terhadap respons mekanis struktur *spoke trapezoid* pada ban *non pneumatic* ?
4. Apakah variasi kecepatan putar ban berpengaruh terhadap area kritis tegangan pada struktur ban ?

5. Apakah struktur *spoke trapezoid* memiliki respons mekanis yang layak untuk diaplikasikan pada ban *non pneumatic* sepeda motor dengan variasi kecepatan operasional ?

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah diuraikan, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh variasi sudut spoke terhadap respons mekanis struktur *spoke trapezoid* ban *non pneumatic* sepeda motor, yang meliputi *strain energy*, *maximum shear stress*, *equivalent stress*, dan *safety factor*.
2. Menganalisis pengaruh variasi kecepatan putar ban sebesar 20 km/jam, 40 km/jam, 60 km/jam, dan 80 km/jam terhadap respons mekanis struktur spoke trapezoid selama menerima pembebanan dinamis pada proses rolling.
3. Menganalisis perubahan *strain energy*, *maximum shear stress*, dan *equivalent stress* akibat peningkatan kecepatan putar pada variasi sudut spoke 10° dan 15°, serta mengevaluasi *respons transien* yang terjadi pada saat awal ban mulai berputar.
4. Mengidentifikasi daerah kritis pada struktur *spoke trapezoid* yang mengalami konsentrasi tegangan tertinggi akibat pembebanan dinamis, khususnya pada daerah sambungan *spoke* dengan *hub* dan *shear band*.
5. Mengevaluasi karakteristik dan kelayakan mekanis desain *spoke trapezoid* berdasarkan kemampuan menyerap energi deformasi, distribusi tegangan, dan *safety factor*, sebagai desain dasar (*baseline*) untuk pengembangan struktur ban *non pneumatic* pada penelitian selanjutnya.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini terdiri atas manfaat umum dan manfaat khusus sebagai berikut:

1.6.1 Manfaat Umum

Menganalisis respons mekanis dan pengaruh variasi kecepatan putar ban pada struktur *spoke trapezoid* ban *non pneumatic* sepeda motor guna mengevaluasi kelayakan dan potensi penerapannya sebagai alternatif ban konvensional.

1.6.2 Manfaat Khusus

1. Menganalisis *strain energy*, *maximum shear stress*, dan *equivalent stress* yang terjadi pada struktur *spoke trapezoid* ban *non pneumatic* akibat deformasi berulang selama proses *rolling*.
2. Mengevaluasi pengaruh variasi kecepatan putar ban terhadap respons mekanik dan dinamis struktur *spoke trapezoid*.
3. Mengidentifikasi hubungan antara variasi kecepatan putar, tegangan, dan deformasi pada struktur ban *non pneumatic*.
4. Menentukan karakteristik kinerja mekanik struktur *spoke trapezoid* pada berbagai kondisi kecepatan operasional sepeda motor.
5. Menyusun rekomendasi desain struktur *spoke trapezoid* yang optimal berdasarkan hasil analisis numerik.

