

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sepeda motor merupakan kendaraan bermotor yang paling diminati oleh masyarakat Indonesia. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2022, jumlah sepeda motor di Indonesia tercatat sebanyak 125.305.332 unit. Jumlah tersebut membuat populasi sepeda motor menjadi yang tertinggi dibandingkan kendaraan bermotor lainnya, yaitu sebesar 84,5% dari total populasi kendaraan bermotor di Indonesia (BPS, 2024).

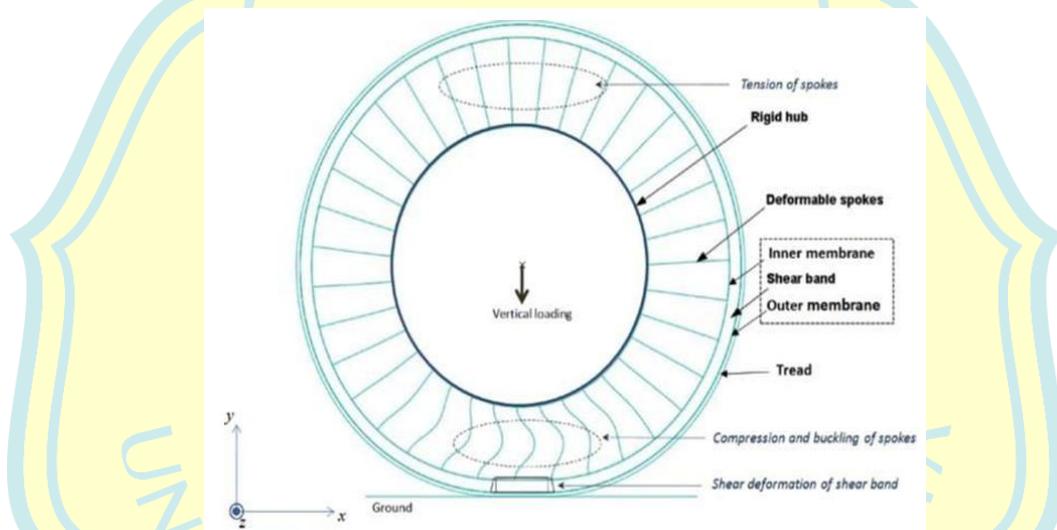
Banyaknya populasi sepeda motor tersebut juga sebanding dengan jumlah kecelakaan yang terjadi di Indonesia. Berdasarkan data *Integrated Road Safety Management System* (IRSMS) milik Korps Lalu Lintas Polisi Republik Indonesia (Korlantas Polri), jumlah kecelakaan lalu lintas yang terjadi di Indonesia sepanjang tahun 2023 sebanyak 148.307 kecelakaan dengan sepeda motor menjadi jenis kendaraan bermotor dengan jumlah kecelakaan terbanyak, yaitu mencapai 70,5% atau 138.075 dari total kecelakaan (Maulana & Aditya, 2024).

Faktor utama yang menjadi penyebab kecelakaan lalu lintas adalah tekanan ban yang tidak sesuai dengan standar. Komisi Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) pada tahun 2019 menyebutkan bahwa 80% dari kecelakaan di jalan raya diakibatkan tekanan ban yang tidak sesuai standar tersebut (Praditya, 2019). Tekanan ban yang tidak sesuai tersebut akan berakibat kepada efisiensi penggereman menjadi tidak optimal dan terjadinya penyimpangan rem yang berpotensi mengakibatkan kecelakaan (Halimatus Sa'diyah et al., 2020). Tekanan ban yang rendah juga dapat memengaruhi kinerja suspensi yang berakibat kepada kualitas mengemudi dan juga akan memengaruhi pengendalian dan stabilitas kendaraan (Hamed et al., 2015).

Salah satu upaya untuk meminimalisir jumlah kecelakaan yang disebabkan oleh tekanan ban adalah dengan cara membuat ban yang memiliki tekanan konstan atau stabil. Salah satu aplikasinya yaitu dengan penggunaan ban tanpa udara atau ban non-pneumatik (*airless tyre/non-pneumatic tyre*). Ban non-pneumatik menawarkan kelebihan dibanding ban biasa, yaitu lebih aman, tidak memerlukan

banyak perawatan, dan tidak memerlukan penggantian ban yang dikarenakan ban bocor/pecah (Jafferson & Sharma, 2021).

Secara umum, konstruksi ban non-pneumatik terdiri dari *rigid hub*, *flexible spokes*, *shear band*, dan *tread/alur* ban yang terbuat dari material karet seperti dapat dilihat pada gambar 1.1. Bagian penting yang menjadi perhatian dalam desain ban non-pneumatik adalah bagian *spoke*. Bagian ini berfungsi sebagai penopang ban non-pneumatik bersamaan dengan *shear band* yang menggantikan peran udara pada ban pneumatik untuk menopang beban kendaraan (Mohan et al., 2017).



Gambar 1. 1 Konstruksi Ban Non-Pneumatik (Mohan et al., 2017)

Desain *spoke* pada ban non-pneumatik memiliki variasi geometri yang beragam. Penelitian yang telah dilakukan di antaranya mengenai *spoke* dengan jenis Honeycomb (sarang lebah), Tweel, UPTIS (*Unique Puncture-Proof Tire System*, *metal hinge*, dan *auxetic structure*). Masing-masing jenis *spoke* tersebut memiliki karakteristik yang berbeda, terutama pada kekakuan radialnya (Shuai et al., 2024).

Kekakuan *spoke* pada ban non-pneumatik menjadi sangat penting karena *spoke* berperan sebagai pengganti angin pada ban pneumatik, di mana tekanan angin sangat berpengaruh terhadap deformasi yang akan memengaruhi *rolling resistance* pada ban (Suyabodha, 2017). *Rolling resistance* merupakan momen yang terjadi pada ban ke arah berlawanan dengan arah gerakan ban ketika gaya diperlukan untuk mengerakkan roda ke depan (Taghavifar & Mardani, 2013). Hal tersebut juga akan memengaruhi efisiensi konsumsi bahan bakar kendaraan dan masa pakai ban *kedepannya* (Hamed et al., 2015).

Model *spoke* yang memiliki keunggulan dalam hal karakteristik yang dibutuhkan oleh ban non-pneumatik yaitu *spoke* model RPAS (*rotated primitive-based auxetic structure*). Keunggulan tersebut berupa kekakuan yang bervariasi tergantung pada deformasi yang terjadi pada strukturnya yang didapat dari strukturnya yang bersifat *auxetic*. Hal tersebut membuat struktur RPAS lebih stabil ketika terdeformasi secara besar (Kim et al., 2024).

Penelitian mengenai *spoke* biasanya dilakukan dengan mengubah atau memvariasikan geometrinya. Dalam hal *spoke* model RPAS, sudut rotasi dan *volume fraction* sel memiliki peran besar dalam geometri RPAS (An et al., 2024; Simsek et al., 2021). Selain itu, material *spoke* juga berpengaruh dalam kinerjanya, sehingga material *spoke* perlu memiliki sifat khusus antara lain tahan terhadap deformasi siklik, meredam guncangan, dan elastis (Ali et al., 2022).

Selain bagian *spoke*, bagian lain yang juga memengaruhi nilai *rolling resistance* adalah alur tapak ban (*tread pattern*). Alur tapak ban memiliki bentuk berbeda-beda dan area kontak yang berbeda-beda berdasarkan bentuknya. Semakin besar area kontak permukaan ban dapat memengaruhi area kontak ban dengan permukaan jalan, di mana hal tersebut akan memengaruhi *rolling resistance* juga (Widya et al., 2022). Semakin besar kontak antara permukaan ban dengan permukaan jalan, maka semakin kecil tekanan yang diterima pada ban dan semakin kecil juga *rolling resistance* ban tersebut (Hutomo et al., 2017). Oleh karena itu, pemilihan alur tapak ban perlu diperhatikan dalam perancangan ban.

Material alur tapak ban juga merupakan komponen yang perlu diperhatikan karena perannya yang krusial terhadap interaksi antara ban dengan jalan raya. Salah satu material yang cocok digunakan untuk alur tapak ban adalah *butyl rubber* seperti pada penelitian oleh mohan et al, pada 2017. *Butyl rubber* memiliki sifat kedap air dan udara, dapat meredam getaran, dan memiliki koefisien gesek yang baik untuk traksi (Keane, 2025).

Melihat pentingnya peran *spoke* dan alur tapak terhadap performa ban, maka diperlukan kombinasi yang baik antara kedua hal tersebut untuk menciptakan ban tanpa udara yang dapat bekerja secara optimal. Optimasi dari kombinasi tersebut bertujuan untuk menghasilkan ban non-pneumatik dengan *rolling resistance* yang

rendah, tetapi memiliki kekakuan yang tinggi untuk menghasilkan stabilitas dan efisiensi (Hamed et al., 2015).

Optimasi tersebut dapat dilakukan melalui analisis numerik menggunakan *software* metode elemen hingga (*Finite element methods*). Metode elemen hingga dipilih mempertimbangkan waktu dan biaya pengujian yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan eksperimen langsung di laboratorium (Abidin et al., 2015). Adapun *software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah Autodesk Inventor 2025 yang populer dan banyak digunakan di industri untuk membuat desain mekanik dalam bentuk 3 dimensi serta Ansys yang juga populer digunakan untuk melakukan analisis numerik (Imam Akbar et al., 2024; Taufiqurrahman et al., 2023).

Meskipun penelitian dalam bidang ban non-pneumatik sudah cukup banyak dilakukan, tetapi masih terdapat beberapa hambatan untuk diterapkan di sepeda motor. Pertama, penelitian ban non-pneumatik lebih banyak dilakukan untuk mobil seperti yang dilakukan oleh (Shuai et al., 2024), (Mohan et al., 2017), dan (Kim et al., 2024) meneliti mengenai karakteristik ban non-pneumatik untuk mobil berdasarkan model *spoke* yang berbeda. Ketiga penelitian tersebut menunjukkan bahwa karakteristik desain spoke seperti v-shaped, honeycomb, dan TPMS-based memiliki respon positif untuk diaplikasikan pada kendaraan.

Kedua, penelitian mengenai struktur *spoke* tipe RPAS yang dilakukan oleh (Kim et al., 2024) perlu dioptimalkan untuk digunakan pada ban non-pneumatik sepeda motor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa struktur RPAS memiliki *poisson ratio* negatif dan kekakuan adaptif yang meningkat seiring deformasi, dengan sudut rotasi optimal di 10° dan 20° , serta menunjukkan stabilitas yang lebih baik dibandingkan model *honeycomb*, hasil simulasi valid berdasarkan eksperimen.

Ketiga, penelitian memisahkan struktur ban dengan alur tapak ban seperti yang dilakukan oleh (Shuai et al., 2024) dan (Chaiworapuek et al., 2024) padahal keduanya berperan penting terhadap *rolling resistance* yang akan memengaruhi stabilitas dan efisiensi. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa baik struktur internal ban maupun alur tapak memiliki peran krusial terhadap deformasi, distribusi tekanan, dan gaya *hydroplaning*, namun keduanya masih diteliti secara

terpisah sehingga belum menghasilkan pendekatan terpadu untuk mengoptimalkan *rolling resistance* dan stabilitas kendaraan.

Berdasarkan hal-hal yang telah diuraikan di atas, dapat dilihat pentingnya pengembangan ban non-pneumatik untuk menekan angka kecelakaan sepeda motor di Indonesia. Oleh karena itu, penelitian ini berjudul “Pengaruh Variasi Sudut Rotasi, *Volume Fraction*, dan Alur Tapak Ban Non-Pneumatik Sepeda Motor Terhadap Deformasi dan *Rolling Resistance*”.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan sebelumnya, terdapat beberapa hal yang dapat diidentifikasi, yaitu:

1. Tingginya angka kecelakaan sepeda motor di Indonesia.
2. Minimnya penelitian mengenai ban non-pneumatik untuk sepeda motor.
3. Pengaruh struktur *spoke* model RPAS ban non-pneumatik dan alur tapak ban terhadap deformasi dan *rolling resistance* belum dianalisis secara bersamaan.

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah ditetapkan, diperlukan batasan masalah agar penelitian menjadi terfokus kepada masalah yang perlu diselesaikan. Adapun batasan masalah tersebut adalah:

1. Desain ban non-pneumatik dibatasi berukuran 130/70 R13 yang digunakan pada ban belakang sepeda motor Yamaha N-max.
2. Sudut rotasi *spoke* yang digunakan dalam penelitian adalah 5°, 10°, 15°, 20°.
3. *Volume fraction spoke* yang digunakan dalam penelitian adalah -1,20, -1,25, -1,30, dan -1,35.
4. Alur tapak yang digunakan adalah jenis *lug* sederhana, *lug* kompleks, *rib* sederhana, dan *rib* kompleks dengan model yang dijual di pasaran untuk motor N-max.
5. Beban yang digunakan untuk simulasi didapat dari massa-isi kendaraan ditambah massa dua orang yang menaiki motor tersebut.
6. Desain ban non-pneumatik menggunakan *software* Autodesk Inventor 2025 berlisensi *student*.

7. Simulasi menggunakan *software* Ansys 2025 R1 berlisensi *student* untuk respons struktur dan *rolling resistance*.

1.4. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah yang telah diuraikan, maka dapat ditentukan rumusan masalah dari penelitian ini. Rumusan masalah tersebut adalah:

1. Bagaimana pengaruh sudut rotasi, *volume fraction*, dan alur tapak ban terhadap deformasi dan *rolling resistance* ban non-pneumatik sepeda motor?
2. Faktor apa di antara ketiga variabel tersebut yang lebih memengaruhi deformasi dan *rolling resistance* ban non-pneumatik sepeda motor?

1.5. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah sebelumnya, adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh sudut rotasi, *volume fraction*, dan alur tapak ban terhadap deformasi dan *rolling resistance* ban non-pneumatik sepeda motor.
2. Menganalisis faktor yang memiliki pengaruh paling besar terhadap deformasi dan *rolling resistance*.

1.6. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menjadi referensi awal pengembangan ban non-pneumatik pada sepeda motor.
2. Memberikan informasi terkait karakteristik sudut rotasi dan *volume fraction* struktur *spoke* model RPAS berdasarkan deformasinya.
3. Memberikan informasi mengenai faktor terbesar yang berpengaruh terhadap deformasi dan *rolling resistance* ban non-pneumatik.
4. Mengeksplorasi metode elemen hingga dalam aplikasi masalah teknik sebagai metode analisis alternatif dari metode empiris dan analitis.