

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sepeda motor merupakan salah satu moda transportasi darat yang memiliki tingkat penggunaan paling tinggi di Indonesia. Tingginya tingkat penggunaan tersebut dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti kemudahan akses, efisiensi biaya, serta fleksibilitas dalam mobilitas sehari-hari. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2024, jumlah sepeda motor di Indonesia mencapai 139.450.013 unit dari total jumlah kendaraan bermotor 166.465.914 unit di Indonesia. Jumlah ini menunjukkan bahwa sepeda motor mendominasi populasi kendaraan bermotor di Indonesia, dengan proporsi sebesar 83,8% dari total keseluruhan kendaraan bermotor. Dominasi tersebut mengindikasikan bahwa sepeda motor memiliki peran yang sangat signifikan dalam mendukung aktivitas transportasi Masyarakat (BPS, 2024).

Tingginya jumlah populasi sepeda motor di Indonesia juga sejalan dengan meningkatnya angka kecelakaan lalu lintas. Berdasarkan data *Integrated Road Safety Management System* (IRSMS) yang dikelola oleh Korps Lalu Lintas Kepolisian Republik Indonesia (Korlantas Polri) sepanjang tahun 2024 telah terjadi 220.647 kecelakaan lalu lintas dengan didominasi kecelakaan sepeda motor dengan jumlah kecelakaan terbanyak, yaitu mencapai 76,85% atau 169.559 dari total kecelakaan lalu lintas yang terjadi (Selma & Maulana, 2024).

Menurut (Praditya, 2019) berdasarkan data dari Komisi Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) pada tahun 2019 menyatakan bahwa sekitar 80% terjadinya kecelakaan lalu lintas faktor utama penyebabnya adalah tekanan ban yang tidak sesuai standar. Tekanan ban yang tidak sesuai dapat menurunkan efektivitas pengereman sehingga kinerjanya menjadi tidak optimal, serta menyebabkan ketidakstabilan arah saat pengereman yang meningkatkan risiko kecelakaan (Halimatus Sa'diyah et al., 2020). Selain itu, tekanan ban yang rendah juga mempengaruhi interaksi antara ban dan permukaan jalan, yang berdampak pada kinerja suspensi, pengendalian, stabilitas, serta kenyamanan berkendara.

Salah satu upaya untuk meminimalkan jumlah kecelakaan yang disebabkan oleh tekanan ban yang tidak sesuai adalah dengan mengembangkan ban yang memiliki kondisi kerja yang stabil tanpa bergantung pada tekanan udara (Mulyono et al., 2018). Salah satu penerapannya adalah penggunaan ban tanpa udara atau ban *non-pneumatik* (*airless tyre/non-pneumatic tyre*). Ban *non-pneumatik* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan ban konvensional, antara lain tingkat keselamatan yang lebih tinggi, kebutuhan perawatan yang lebih rendah, serta tidak memerlukan penggantian akibat kerusakan seperti kebocoran atau pecah ban (Sandberg, 2020)

Ban *Non-Pneumatic Tire* (NPT) memiliki beberapa bagian, salah satu yang utama adalah *spoke* yaitu struktur elastis yang berfungsi sebagai penopang beban kendaraan dan pengendara. Pada ban *non-pneumatik*, fungsi penopang beban tidak lagi bergantung pada tekanan udara, melainkan digantikan oleh struktur elastis seperti *spoke* yang mengalami deformasi berulang selama proses bergulir (Prathama, 2020). Meskipun menawarkan keunggulan dari segi keandalan dan kebutuhan perawatan yang relatif rendah, struktur *spoke* pada NPT menghadapi tantangan utama berupa pembebanan siklik yang berpotensi menimbulkan kerusakan, serta peningkatan temperatur yang disebabkan oleh disipasi energi selama deformasi (Deng et al., 2023)

Menurut (Farroni et al., 2020) struktur *spoke* menghadapi tantangan utama berupa pembebanan siklik yang menyebabkan kelelahan material (*fatigue*) serta peningkatan temperatur akibat disipasi energi selama deformasi. Fenomena ini dikenal sebagai *heat build-up*, dimana energi mekanik terkonversi menjadi panas sehingga menyebabkan kenaikan temperatur secara progresif. Peningkatan temperatur tersebut dapat menurunkan kekakuan, mengubah modulus elastisitas, serta mempercepat degradasi material (Fu et al., 2022). Kenaikan temperatur pada ban NPT akibat disipasi energi (*hysteresis*) merupakan faktor kritis yang dapat menurunkan performa struktur (Sandberg, 2020). Salah satu parameter proses yang diperkirakan memengaruhi performa komposit adalah temperatur pencampuran. Variasi temperatur pencampuran dapat memengaruhi viskositas campuran *Polyurethane* sehingga berpengaruh terhadap kualitas dispersi partikel *Silica*, pembentukan struktur mikro, serta sifat mekanik komposit. Oleh karena itu,

penelitian ini menggunakan variasi temperatur pencampuran 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, dan 70°C untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap karakteristik komposit *Polyurethane-Silica*.

Material *Polyurethane* (PU) merupakan salah satu jenis polimer yang banyak digunakan pada industri karena memiliki kemudahan dalam manufaktur dan performa mekaniknya (Zmuda & Jackowski, 2025). *Polyurethane* memiliki beberapa kelebihan yaitu sifat elastis, kekuatan mekanik, serta memiliki ketahanan deformasi yang baik. *Polyurethane* juga memiliki sifat viskoelastik yaitu kemampuan dalam menyerap energi melalui mekanisme deformasi elastis dan viskos (Ju et al., 2012). Material *Polyurethane* memiliki sifat viskoelastik yang memberikan kemampuan redaman (*damping*) yang baik terhadap pembebanan dinamis (Samudra & Yamin, 2021). Selanjutnya, performa komposit *Polyurethane* tidak hanya dipengaruhi oleh sifat dasar material, tetapi juga oleh kualitas proses pencampuran dengan *filler*, yang berpengaruh terhadap homogenitas dispersi dan sifat mekanik komposit (Echarri-Giacchi & Martín-Martínez, 2023).

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengatasi masalah komposit *Polyurethane* tersebut salah satunya adalah dengan menambahkan *filler* khususnya *Silica* (SiO_2). Salah satu jenisnya adalah *nanoSilica* yang merupakan *filler anorganik*. Penambahan *nanoSilica* berperan sebagai reinforcing *filler* yang mampu meningkatkan stabilitas termal (*thermal stability*), modulus, serta kekuatan mekanik material (Naheed et al., 2025). Selain itu, interaksi antara matriks *Polyurethane* dan partikel *nanoSilica* dapat meningkatkan distribusi tegangan serta ketahanan terhadap deformasi.

Distribusi *Silica* di dalam matriks merupakan salah satu faktor yang berperan terhadap karakteristik komposit *Polyurethane-Silica*. Distribusi *filler* yang lebih homogen dapat meningkatkan interaksi antara *filler* dan matriks serta mendukung transfer tegangan ketika material menerima pembebanan. Sebaliknya, distribusi *filler* yang tidak homogen dapat menyebabkan terbentuknya aglomerasi yang berpotensi menjadi daerah konsentrasi tegangan dan memengaruhi sifat mekanik material. Penelitian (Gajdošová et al., 2023) menunjukkan bahwa distribusi

nanoSilica dan interaksi antara *filler* dengan matriks *Polyurethane* berkaitan dengan karakteristik mekanik dan perilaku deformasi komposit.

Proses pencampuran menjadi salah satu tahapan penting dalam memperoleh distribusi *Silica* yang baik di dalam matriks *Polyurethane*. Perbedaan kondisi dan prosedur pencampuran dapat menghasilkan tingkat dispersi *filler* yang berbeda. Penelitian (Echarri-Giacchi & Martín-Martínez, 2023) menunjukkan bahwa prosedur *physical mixing* dengan kondisi pengadukan yang berbeda memberikan pengaruh terhadap tingkat dispersi *nanoSilica* di dalam matriks *Polyurethane*. Pencampuran dengan kondisi pengadukan yang lebih tinggi menghasilkan dispersi *nanoSilica* yang lebih homogen dan turut memengaruhi karakteristik struktur serta sifat material.

Selain prosedur pencampuran, temperatur pencampuran merupakan salah satu parameter proses yang perlu diperhatikan dalam fabrikasi komposit *Polyurethane-Silica*. Perubahan temperatur selama pencampuran dapat mengubah kondisi alir dan viskositas sistem, sehingga berpotensi memengaruhi proses penyebaran partikel *Silica* di dalam matriks. Penelitian (Torró-Palau et al., 2001) menunjukkan bahwa keberadaan dan karakteristik *Silica* berhubungan dengan perilaku viskositas dan reologi sistem *Polyurethane-Silica*. Karakteristik reologi tersebut menjadi salah satu aspek yang perlu diperhatikan dalam proses pencampuran karena kondisi alir material menentukan kemudahan proses pencampuran dan distribusi *filler* di dalam matriks.

Dengan demikian, perubahan temperatur pencampuran dapat menghasilkan kondisi pencampuran yang berbeda dan berpotensi memengaruhi kualitas dispersi *Silica* serta interaksi antara *filler* dan matriks. Perubahan tersebut selanjutnya dapat memengaruhi respons mekanik komposit ketika menerima pembebanan. Hubungan antara distribusi *Silica*, interaksi *filler-matrix*, dan sifat mekanik telah ditunjukkan pada penelitian (Gajdošová et al., 2023), sedangkan pengaruh kondisi pencampuran terhadap dispersi *nanoSilica* ditunjukkan oleh (Echarri-Giacchi & Martín-Martínez, 2023). Oleh karena itu, temperatur pencampuran dapat dipandang sebagai salah satu parameter proses yang berpotensi memengaruhi sifat mekanik

komposit *Polyurethane–Silica* melalui perubahan kondisi pencampuran dan distribusi *filler*.

Berdasarkan penelitian terdahulu tersebut, kajian mengenai komposit *Polyurethane–Silica* tidak hanya berkaitan dengan jenis dan kandungan *filler*, tetapi juga dengan kondisi proses yang digunakan dalam pembentukan komposit. Penelitian mengenai prosedur pencampuran menunjukkan bahwa perubahan kondisi pencampuran dapat memengaruhi dispersi *nanoSilica* dalam matriks *Polyurethane*, sedangkan karakteristik sistem *Polyurethane–Silica* berkaitan dengan perilaku reologi dan sifat mekanik material. (Echarri-Giacchi & Martín-Martínez, 2023). Hal tersebut menunjukkan bahwa variasi temperatur pencampuran perlu dikaji secara eksperimental untuk mengetahui pengaruhnya terhadap karakteristik mekanik komposit *Polyurethane–Silica*.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini difokuskan pada analisis pengaruh variasi temperatur pencampuran terhadap sifat mekanik elastomer *Polyurethane* dengan *filler Silica* 2%. Variasi temperatur pencampuran yang digunakan dalam penelitian ini adalah 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, dan 70°C. Rentang temperatur tersebut digunakan untuk memperoleh beberapa kondisi pencampuran yang berbeda sehingga perubahan karakteristik mekanik komposit akibat variasi temperatur dapat diamati secara eksperimental. Pemilihan interval temperatur sebesar 10°C juga memungkinkan pengamatan terhadap kecenderungan perubahan sifat mekanik pada setiap kenaikan temperatur pencampuran. Melalui pengujian tarik (ASTM D412) dan pengujian tekan (ASTM D575), penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman mengenai pengaruh temperatur pencampuran terhadap sifat mekanik komposit *Polyurethane–Silica* serta menentukan temperatur pencampuran yang menghasilkan performa material terbaik sebagai kandidat material *spoke* ban non-pneumatik sepeda motor.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, berikut adalah beberapa identifikasi masalah pada penelitian kali ini adalah

1. Tingginya tingkat penggunaan sepeda motor menuntut adanya optimasi pada aspek keselamatan saat berkendara, khususnya pada komponen ban

yang memiliki peran krusial dalam menjaga stabilitas serta kendali kendaraan selama beroperasi.

2. Ban pneumatik memiliki kelemahan utama yaitu ketergantungan terhadap tekanan udara yang fluktuatif. Sehingga berpotensi mengalami kondisi tekanan yang tidak stabil atau tidak sesuai. Selain itu, adanya risiko kebocoran maupun pecah ban dapat menurunkan kinerja secara signifikan yang pada akhirnya dapat menjadi faktor utama terjadinya kecelakaan.
3. Ban *non-pneumatik* (*airless/NPT*) berpotensi menjadi solusi untuk meminimalkan masalah pada ban, namun struktur penopang beban seperti *spoke* bekerja dengan deformasi berulang struktur *spoke* sehingga menghadapi tantangan histeresis viskoelastik yang memicu akumulasi panas internal (*heat build-up*) selama operasional.
4. Struktur *Spoke* pada Ban *non-pneumatik* dapat mengalami kenaikan temperatur akibat disipasi energi selama pembebanan siklik sehingga dapat terjadinya efek pelunakan (*softening*) pada material. Fenomena ini, ditambah dengan pengaruh temperatur lingkungan, diduga menjadi faktor krusial yang secara signifikan mengubah karakteristik mekanik material *spoke* selama operasional.
5. *Polyurethane* dipilih sebagai material elastomer untuk struktur *spoke* ban *non-pneumatic* pada sepeda motor. Namun sifat mekaniknya masih perlu ditingkatkan agar mampu memenuhi kebutuhan performa pada struktur *spoke* ban non-pneumatik sepeda motor.
6. *Silica* digunakan sebagai material *filler* pada *Polyurethane* dikarenakan dapat meningkatkan stabilitas termal (*thermal stability*), modulus, serta kekuatan mekanik material.
7. Terbatasnya data kuantitatif yang menguji secara terpadu pengaruh variasi temperatur pencampuran terhadap sifat mekanik material *Polyurethane* dengan filler *Silica* untuk aplikasi *spoke* ban *non-pneumatik* sepeda motor.

1.3 Batasan Penelitian

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

1. Material yang digunakan adalah komposit elastomer *Polyurethane* (PU) dengan penambahan *filler Silica* (PU-SiO₂) pada konsentrasi konstan sebesar 2 wt.% berat (*weight percentage*). Penelitian tidak meninjau variasi jenis atau persentase *filler*.
2. Pengujian menggunakan spesimen uji standar tidak mencakup pembuatan prototipe ban *non-pneumatic* dalam ukuran sebenarnya (*full-scale*) atau struktur spoke secara langsung.
3. Variasi temperatur pencampuran pada penelitian ini adalah 30°C, 40°C, 50°C, 60°C dan 70°C. Temperatur tersebut diterapkan pada proses pencampuran material sebelum proses pencetakan spesimen, sedangkan pengujian dilakukan pada kondisi lingkungan yang sama.
4. Pengujian sifat mekanik dibatasi pada uji tarik (ASTM D412) untuk memperoleh data kekuatan tarik dan elastisitas, serta uji tekan (ASTM D575) untuk menganalisis perilaku kompresi material *spoke*.
5. Parameter proses lainnya, seperti komposisi material, rasio pencampuran Part A : Part B, kecepatan dan waktu pengadukan, proses *vacuum*, proses *Curing*, serta kondisi pengujian dijaga tetap sehingga pengaruh yang diamati berasal dari variasi temperatur pencampuran.
6. Penelitian ini tidak melakukan analisis terhadap ketahanan lelah (*fatigue life*), *rolling resistance*, kebisingan (*noise*), maupun aspek performa kendaraan secara langsung.

1.4 Perumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur pencampuran 30°C, 40°C, 50°C, 60°C dan 70°C terhadap sifat mekanik komposit *Polyurethane-Silica* 2

wt.% berdasarkan hasil pengujian tarik ASTM D412 dan pengujian tekan ASTM D575?

2. Bagaimana karakteristik sifat mekanik komposit *Polyurethane-Silica* (PU-SiO₂) dengan kandungan filler 2 wt.% pada setiap variasi temperatur pencampuran berdasarkan parameter hasil pengujian tarik dan pengujian tekan?
3. Bagaimana pengaruh temperatur pencampuran terhadap hasil sifat mekanik yang paling optimal untuk diaplikasikan sebagai struktur ban *non-pneumatic*?

1.5 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

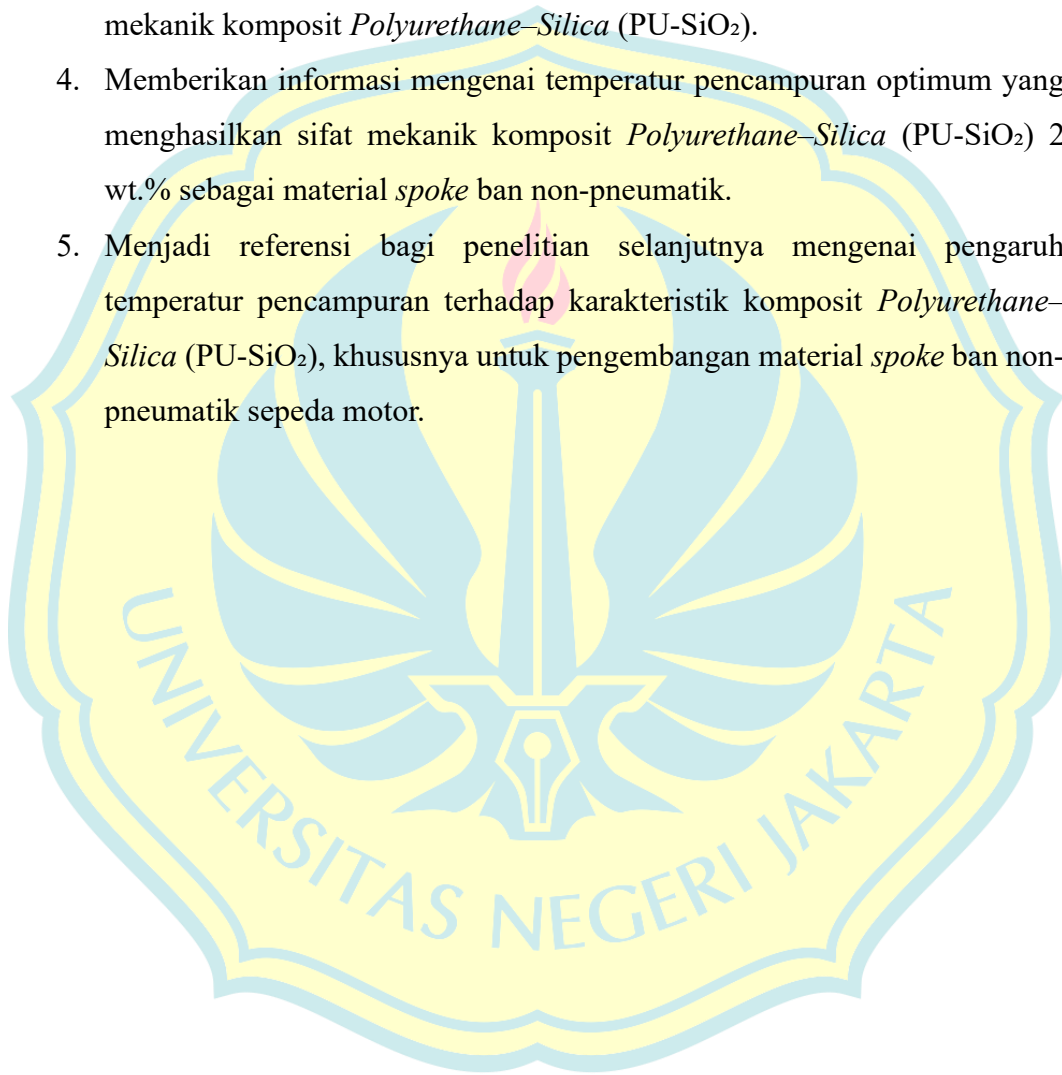
1. Menganalisis pengaruh variasi temperatur pencampuran 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, dan 70°C terhadap sifat mekanik komposit *Polyurethane-Silica* (PU-SiO₂) 2 wt.% melalui pengujian tarik berdasarkan ASTM D412 dan pengujian tekan berdasarkan ASTM D575.
2. Menganalisis karakteristik sifat mekanik komposit *Polyurethane-Silica* (PU-SiO₂) dengan kandungan filler 2 wt.% pada setiap variasi temperatur pencampuran berdasarkan parameter hasil pengujian tarik dan pengujian tekan.
3. Menganalisis potensi komposit *Polyurethane-Silica* (PU-SiO₂) dengan kandungan filler 2 wt.% sebagai kandidat material spoke ban non-pneumatik sepeda motor berdasarkan hasil pengujian sifat mekanik

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini Adalah:

1. Memberikan informasi mengenai pengaruh variasi temperatur pencampuran 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, dan 70°C terhadap sifat mekanik komposit *Polyurethane-Silica* (PU-SiO₂) 2 wt.% melalui pengujian tarik (ASTM D412) dan pengujian tekan (ASTM D575).

2. Memberikan informasi mengenai karakteristik mekanik komposit *Polyurethane–Silica* (PU-SiO₂) pada setiap variasi temperatur pencampuran berdasarkan parameter hasil pengujian tarik dan pengujian tekan.
3. Menjadi sumber informasi mengenai pengaruh temperatur pencampuran sebagai salah satu parameter proses fabrikasi terhadap karakteristik mekanik komposit *Polyurethane–Silica* (PU-SiO₂).
4. Memberikan informasi mengenai temperatur pencampuran optimum yang menghasilkan sifat mekanik komposit *Polyurethane–Silica* (PU-SiO₂) 2 wt.% sebagai material *spoke* ban non-pneumatik.
5. Menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya mengenai pengaruh temperatur pencampuran terhadap karakteristik komposit *Polyurethane–Silica* (PU-SiO₂), khususnya untuk pengembangan material *spoke* ban non-pneumatik sepeda motor.



Intelligentia - Dignitas