

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Industri perkeretaapian merupakan salah satu sektor transportasi yang memiliki tuntutan tinggi terhadap aspek keselamatan, keandalan, dan kontinuitas operasional. Dalam sistem perkeretaapian, setiap komponen memiliki peranan penting dalam menjaga performa kereta agar tetap beroperasi dengan aman. Salah satu komponen *vital* tersebut adalah as roda (*axle*) yang berfungsi sebagai penopang beban kereta, penghubung antar roda, serta meneruskan gaya putar selama kereta beroperasi. Kondisi tersebut menyebabkan as roda sangat rentan mengalami kerusakan akibat kelelahan material (*fatigue*), terutama dalam bentuk retakan (*crack*). Apabila retakan pada as roda tidak terdeteksi sejak dini, maka dapat menyebabkan kegagalan struktural yang berpotensi menimbulkan kecelakaan serius seperti anjlokkan kereta api (Zerbst et al., 2009). Laporan Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) menjelaskan bahwa pada kecelakaan beberapa lokomotif dan kereta mengalami kondisi anjlok pada bagian as roda dan bogie akibat benturan keras saat tabrakan terjadi. Selain menyebabkan korban jiwa, kecelakaan tersebut juga mengakibatkan kerusakan geometri rel, bantalan beton, serta gangguan operasional perjalanan kereta api selama lebih dari 24 jam. Kondisi ini menunjukkan bahwa kegagalan pada sistem roda, rel, maupun komponen pendukung lainnya dapat memberikan dampak yang sangat besar terhadap keselamatan transportasi kereta api (KNKT, 2024). UPT Balai Yasa Manggarai merupakan tempat perawatan berat untuk sarana perkeretaapian. Kereta api yang sudah beroperasi dua sampai empat tahun akan dibawa ke sini untuk dilakukan pengecekan, perawatan, hingga perbaikan. Selain itu, Balai Yasa Manggarai juga digunakan untuk pembaruan kereta-kereta lama (*retrofit*). Di antara kereta yang dimodifikasi di Balai Yasa Manggarai ini adalah kereta new generation dan kereta compartment suite (Fakhri Fadlurrohman (7 Januari 2025) "Balai Yasa Manggarai" Kompas). Salah satu penyebab utama munculnya retakan pada as roda adalah fenomena *Rolling Contact Fatigue* (RCF), yaitu kerusakan material akibat kontak berulang antara roda dan rel yang menghasilkan frekuensi gesekan tinggi secara terus-menerus. Frekuensi berulang tersebut dapat memicu

terbentuknya retakan mikro pada permukaan maupun di dalam material yang kemudian berkembang menjadi retakan yang lebih besar. Selain faktor pembebanan berulang, retakan juga dapat dipengaruhi oleh cacat material, korosi, benturan benda asing, *fretting*, serta kesalahan dalam proses manufaktur. Salah satu jenis retakan yang cukup berbahaya adalah *internal crack*, karena retakan ini terjadi di dalam material sehingga sulit dideteksi secara *visual* dan berpotensi berkembang menjadi kegagalan mendadak.

Metode Non-Destructive Testing (NDT) menjadi solusi yang banyak digunakan dalam industri perkeretaapian. Pada penelitian ini, metode yang digunakan adalah *Ultrasonic Testing* (UT). *Ultrasonic Testing* memiliki kemampuan mendeteksi retakan *internal* dengan memanfaatkan gelombang ultrasonik yang dipantulkan oleh diskontinuitas material, berdasarkan kondisi tersebut, penelitian mengenai analisis karakteristik retakan (*crack*) pada as roda kereta api menjadi penting dilakukan, khususnya pada as roda Tipe CC-1 di PT Kereta Api Indonesia (Persero) UPT Balai Yasa Manggarai. Penelitian mengenai kerusakan as roda kereta api akibat fenomena *Rolling Contact Fatigue* (RCF) telah banyak dilakukan, terutama terkait mekanisme *fatigue*, propagasi retak, serta pengaruh pembebanan siklik terhadap umur pakai komponen. Penelitian oleh Zerbst et al. (2009) lebih berfokus pada analisis kegagalan *fatigue* dan mekanisme patah pada as roda kereta api akibat tegangan siklik selama operasi. Sementara itu, penelitian (Zhao et al., 2025) menitik beratkan pada pengaruh cacat permukaan (*surface defects*) terhadap performa *fatigue* pada *railway axle* menggunakan pendekatan eksperimen material. Penelitian lain oleh (Pourheidar et al., 2021) membahas pertumbuhan retak (*crack propagation*) dan evaluasi umur sisa as roda menggunakan pendekatan *fracture mechanics*. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini memiliki kebaruan (*novelty*) dengan memfokuskan analisis pada deteksi *internal crack* pada as roda Tipe CC-1 kereta api penumpang K3 01812 di PT Kereta Api Indonesia (Persero) UPT Balai Yasa Manggarai menggunakan metode *Rolling Contact Fatigue* (RCF). Penelitian ini juga membandingkan efektivitas metode *Ultrasonic Testing* dan *Visual Inspection* dalam mendeteksi retakan internal, serta mengevaluasi tingkat keandalan komponen menggunakan pendekatan *fracture mechanics* dan distribusi *Weibull*. Dengan demikian,

penelitian ini diharapkan dapat melengkapi kekurangan penelitian sebelumnya sekaligus memberikan kontribusi terhadap sistem inspeksi dan keselamatan operasional kereta api di Indonesia.



1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang mengenai pentingnya keandalan as roda kereta api dalam menunjang keselamatan operasional serta adanya potensi kerusakan *internal crack* akibat fenomena *Rolling Contact Fatigue* (RCF), maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik dan lokasi terjadinya *internal crack* pada as roda tipe CC-1 kereta api penumpang berdasarkan hasil pemeriksaan *Ultrasonic Testing* (UT)?
2. Bagaimana pengaruh *Rolling Contact Fatigue* (RCF) terhadap terjadinya *internal crack* pada area kritis as roda?
3. Apa saja faktor yang paling dominan menyebabkan terjadinya *internal crack* pada as roda berdasarkan kondisi material, pembebanan, dan lingkungan operasi?
4. Bagaimana tingkat keandalan (*reliability*) hasil inspeksi *Ultrasonic Test* roda berdasarkan analisis distribusi *Weibull*?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini adanya batasan masalah membuat penelitian ini tidak menyimpang, sehingga penulis dapat melakukan penelitian ini menjadi terarah.

Batasan yang ditetapkan penulis, yaitu:

1. Kerusakan yang dianalisis dalam penelitian ini hanya *internal crack* (retakan internal) yang berkaitan dengan fenomena *Rolling Contact Fatigue* (RCF) pada as roda kereta api.
2. Penelitian dibatasi pada identifikasi karakteristik retakan, lokasi retakan, dan faktor-faktor yang memengaruhi terbentuknya *internal crack* pada as roda.
3. Metode pemeriksaan yang digunakan dalam penelitian ini dibatasi pada *Ultrasonic Testing* (UT) sebagai metode utama untuk mendeteksi retakan *internal* pada as roda.
4. Faktor penyebab yang dikaji meliputi pengaruh pembebanan berulang (*cyclic loading*), tegangan kontak roda dan rel, cacat material, korosi, *fretting*, serta faktor operasional yang berhubungan dengan pembentukan retakan.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai penulis dalam penelitian ini, yaitu:

1. Menganalisis karakteristik, bentuk, dan lokasi terjadinya *internal crack* pada as roda tipe CC-1 kereta api penumpang berdasarkan hasil inspeksi *Ultrasonic Testing* (UT).
2. Menganalisis pengaruh fenomena *Rolling Contact Fatigue* (RCF) terhadap terjadinya *internal crack* pada area kritis as roda kereta api.
3. Mengidentifikasi faktor-faktor dominan yang menyebabkan munculnya *internal crack* pada as roda kereta api.
4. Mengevaluasi tingkat keandalan (*reliability*) hasil inspeksi *Ultrasonic Test* (UT) berdasarkan analisis distribusi *Weibull* pada as roda kereta api.

1.5 Manfaat Penelitian

Dalam penelitian ini penulis berharap ada manfaat yang dicapai dalam penulisan ini, sebagai berikut:

1. Menambah wawasan dalam bidang *Non-Destructive Testing* (NDT) khususnya metode *Ultrasonic Test*.
2. Menambah pengalaman dalam penelitian teknik manufaktur dan perawatan.
3. Menjadi referensi akademik terkait analisis *crack* pada komponen kritis as roda kereta api.
4. Membantu meningkatkan keselamatan operasional PT Kereta Api Indonesia (Persero) UPT Balai Yasa Manggarai melalui deteksi dini kerusakan.
5. Mengurangi risiko komponen as roda dari kegagalan yang dapat menyebabkan kecelakaan.