



Analisis Faktor Penyebab Keausan Flens Roda LRT Jabodebek pada Lintasan Lengkung

Akbar Zulkarnain¹, Dimas Adi Perwira¹, Dadang Sanjaya Atmaja¹, Moch. Virgie Pradana Putra¹, Dhina Setyo Oktaria²

Program Studi DIII Teknologi Mekanika Perkeretaapian, Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun, Jl. Tirta Raya, Pojok, Nambangan Lor, Kec. Manguharjo, Kota Madiun, Jawa Timur⁽¹⁾

Program Studi DIII Teknologi Elektro Perkeretaapian, Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun, Jl. Tirta Raya, Pojok, Nambangan Lor, Kec. Manguharjo, Kota Madiun, Jawa Timur⁽²⁾

DOI: 10.31004/jutin.v9i1.48584

✉ Corresponding author:
[akbar@ppi.ac.id]

Article Info	Abstrak
<i>Kata kunci:</i> <i>Lengkung;</i> <i>Flens roda;</i> <i>Keausan;</i> <i>Diagram fishbone;</i>	Flens merupakan bagian penting roda yang berfungsi mengarahkan roda saat melalui lengkung. Jika aus, flens dapat menyebabkan anjlok dan mengurangi umur pakai roda. Di LRT Jabodebek, tingkat keausan flens cukup tinggi sehingga perlu dilakukan pembubutan. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh keausan flens serta cara mengurangnya. Metode analisis menggunakan diagram fishbone untuk mengidentifikasi penyebab. Hasilnya, keausan flens disebabkan jumlah lengkung radius kurang dari 150 yang banyak dan belum sesuai PM, menurunnya kekerasan permukaan akibat pembentukan ulang profil, serta pemeriksaan perawatan yang kurang teliti. Upaya pengurangan keausan meliputi pemeriksaan ulang seluruh lengkung radius kecil, penyesuaian pelebaran dan peninggian rel, penggunaan cairan pendingin saat pembubutan, serta perawatan visual dan manual yang lebih teliti. Selain itu, penggunaan pelumas pada flens roda dan lengkung rel juga dapat meminimalkan keausan tersebut.
<i>Keywords:</i> <i>Curvature;</i> <i>Flange wheel;</i> <i>Wear;</i> <i>Fishbone diagram;</i>	Abstract <i>The flange is an essential part of the wheel that serves to guide the wheel as it passes through curves. If worn, the flange can cause derailments and reduce the wheel's service life. In LRT Jabodebek, flange wear is relatively high, requiring re-profiling (turning). This study aims to identify the effects of flange wear and explore methods to mitigate it. The analysis method uses a fishbone diagram to identify the root causes. The results show that flange wear is caused by the high number of curves with a radius less than 150 meters, which do not fully comply with existing maintenance standards. Reduced surface hardness due to repeated reprofiling and lack of thorough inspection during maintenance also contributes. Efforts to reduce wear include re-evaluating curves with small radii, adjusting rail widening and</i>

elevation, using coolant during turning, and conducting more thorough visual and manual inspections. Additionally, applying lubricant to the flange and rail curves can help minimize wear.

1. PENDAHULUAN

Transportasi kereta api perkotaan/komuter, seperti Light Rail Transit (LRT), menuntut tingkat keselamatan dan keandalan yang tinggi seiring dengan meningkatnya intensitas operasi serta kompleksitas geometrik jalur. Salah satu komponen vital yang berperan langsung terhadap keselamatan operasi adalah roda kereta, khususnya flens roda yang berfungsi menjaga arah gerak roda saat melintasi lengkung. Interaksi kontinyu antara roda dan rel, terutama pada lintasan dengan radius lengkung kecil, menimbulkan gaya gesek dan tekanan kontak yang tinggi sehingga berpotensi mempercepat terjadinya keausan flens. Keausan flens yang tidak terkendali dapat mengurangi umur pakai roda, meningkatkan frekuensi pembubutan, serta menimbulkan risiko gangguan keselamatan operasi. Kondisi ini menjadi perhatian pada sistem LRT Jabodebek yang memiliki karakteristik jalur dengan banyak lengkung radius kecil, sehingga diperlukan suatu pendekatan analisis yang sistematis untuk mengidentifikasi dan mengelompokkan faktor-faktor penyebab keausan flens roda sebagai dasar perumusan upaya pengendalian yang tepat.

Pada saat perawatan, roda biasanya selalu diperiksa apakah terdapat cacat atau tidak. Jika ditemukan cacat pada roda saat operasi, Teknisi Kereta Api (TKA) akan menginformasikan kepada petugas perawatan sarana untuk dilakukan pemeriksaan lebih lanjut. Namun, jika tanda-tanda cacat tersebut cukup parah, masinis akan melaporkan kepada OCC, dan kereta akan dibawa ke depo untuk dinyatakan Tidak Siap Operasi (TSO) serta dilakukan pemeriksaan lebih lanjut. Flens merupakan bagian roda yang sangat penting karena berfungsi mengarahkan roda saat melalui lengkung. Jika flens aus, dapat menyebabkan anjlokkan maupun mengurangi umur pakai roda. Pada LRT Jabodebek, tingkat keausan flens cukup tinggi, sehingga untuk menanggulangi hal tersebut diperlukan proses pembubutan.

Dalam penelitian ini, sebagai dasar dan acuan, digunakan tiga artikel penelitian terdahulu serta buku atau pedoman yang relevan. Pertama, penelitian oleh (Wilastari et al., 2019) tentang upaya mengatasi kerusakan pada roda bogie TB-398 di UPT Depo Kereta Besar A Semarang Poncol, yang bertujuan mencari penyebab dan cara mencegah cacat pada roda bogie TB-398. Kedua, penelitian oleh (Dahlan, 2000) mengenai uji coba profil aus untuk mengurangi keausan flens roda gerbong KKBW KA Babaranjang, yang bertujuan mengetahui pengaruh perubahan profil tapak roda dari profil konis 1:40 menjadi profil aus ORE S 1002 terhadap keausan flens roda gerbong KKBW KA Babaranjang. Ketiga, penelitian oleh (Eviyanti, 2021) membahas analisis diagram *fishbone* untuk mengevaluasi proses pembuatan peralatan aluminium studi kasus pada SP Aluminium Yogyakarta, yang bertujuan membantu SP Aluminium menganalisis penyebab banyaknya produk cacat yang dihasilkan.

Banyak faktor yang memengaruhi keausan pada flens roda. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh keausan flens roda serta cara mengurangi keausan tersebut agar umur pakai roda lebih tahan lama.

2. METODE

1. Spesifikasi LRT Jabodebek

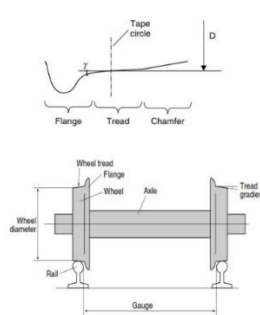
Sarana LRT Jabodebek merupakan sarana yang ditenagai dengan menggunakan motor listrik dengan sumber energi utama dari listrik aliran bawah (*third rail*) yang berguna untuk memasok aliran listrik ke sarana. Tegangan dari sarana ini menggunakan sebesar 750 VDC. Satu unit sarana ini, atau biasa disebut 1 *trainset* (TS) rangkaian terdiri dari 4 *train* dengan motor penggerak dan 2 *trailer*/ tanpa penggerak. Satu *train* berisi 4 motor penggerak, jadi keseluruhan terdapat 16 motor penggerak dalam 1 TS. Di setiap ujung kereta terdapat kabin tanpa masinis. Konfigurasi susunan sarana sama seperti gambar 1. (Pembina et al., 2024)



Gambar 1. *Trainset* LRT Jabodebek

2. Roda LRT Jabodebek

Di sarana perkeretaapian terdapat komponen-komponen yang penting. Salah satunya yaitu roda kereta. Roda kereta mempunyai peranan yang penting karena menumpu berat dari sarana itu sendiri serta menerima gaya mekanik dari motor traksi untuk menggerakkan *gear box* yang langsung menggerakkan sarana di atas rel. Pembuatan roda kereta biasanya dilakukan dengan cara *press* baja agar menghasilkan level kekerasan sesuai yang diharapkan. Berdasarkan (Menteri Perhubungan RI, 2015) jalan rel harus mempunyai nilai kekerasan lebih tinggi dibandingkan roda kereta. Apabila roda bergesekan dengan rel, maka roda akan mengalami keausan lebih cepat. Berikut merupakan bagian-bagian roda kereta api:



Gambar 2. Bagian Roda dan Flens

a. Tapak / Diameter Roda (Region A)

Tapak roda adalah bagian permukaan roda yang langsung bersinggungan dengan rel. Diameter yang dimaksud ialah diukur berdasarkan diameter pada permukaan titik kontak roda dengan rel.

b. Flens Roda (Region B)

Flens roda adalah sebuah pengait pada roda kereta api yang terletak diantara belahan roda (wheel tread). *Flens* memiliki bentuk tiga dimensi yang berbeda dan memiliki fungsi untuk menahan poros roda pada tempatnya, supaya tetap berada pada tempatnya secara aman dan mencegah keluar dari poros roda.

c. Tapak Roda Bagian Luar (Region C)

Tapak roda bagian luar akan bergesekan secara langsung dengan rel bagian luar.

Roda LRT Jabodebek terbuat dari baja, dengan kandungan karbon rendah dan memiliki kekerasan permukaan sesuai dengan standar yang dirancang. Roda ini didisain untuk memungkinkan pelepasan dari poros dengan metode injeksi oli/ hidrolik. Diameter roda LRT Jabodebek sendiri yaitu 780 (*New*), 700 (*Wear out/minimum*), dengan tipe roda *solid wheel made of steel forging* dengan material ER7 as per EN 13262.

3. Kerusakan Roda

Pada sebuah roda pastinya memiliki sebuah beberapa kerusakan. Ada beberapa penyebab roda mengalami kerusakan, sehingga berpengaruh kepada kecepatan bahkan bisa menyebabkan *derailment*. Beberapa penyebab, seperti buruknya jalan rel atau *track*, kecepatan yang berlebih menyebabkan *high impact stresses*, pengereman yang berlebih, beban vertikal yang berlebih, dan kekerasan roda yang tidak memenuhi standar. Berikut ini merupakan jenis-jenis kerusakan pada roda (Zulkarnain, Ersaputra, et al., 2024):

- Roda keropos
- Skidded*
- Scaled wheels Fatigue Cracks*

4. Keausan

Menurut (Syafaat et al., 2019) keausan diartikan hilangnya atau cacatnya permukaan padatan, biasanya meliputi hilangan material yang progresif disebabkan adanya gesekan antar permukaan padatan. Setiap bagian/benda yang bergesekan dengan bagian/benda lain biasanya akan menyebabkan keausan. Keausan bukanlah sifat dasar material, namun merupakan respon material terhadap system external (kontak permukaan). Keausan ini bisa dialami oleh bahan/ material apa saja yang diakibatkan adanya mekanisme yang kompleks. Dengan melihat volume keausan, kekasaran

permukaan, dan bentuk partikel memberikan informasi penting tentang keausan. Ada beberapa jenis-jenis keausan, diantaranya yaitu:

a. *Adhesive wear*

Keausan *Adhesive* merupakan salah satu cacat yang ditimbulkan dari keterikatan dan perpindahan suatu unsur pada permukaan material yang lebih lunak kepada permukaan yang lebih keras. Keterikatan ini terjadi secara tiba-tiba dan tidak menutup kemungkinan juga terjadi karena pengaruh suhu yang rendah.

b. *Abrasive wear*

Abrasive merupakan keausan yang terjadi akibat berkurangnya material pada permukaan sebuah objek oleh material lain yang mempunyai tingkat kekerasan lebih tinggi.

c. *Surface fatigue wear*

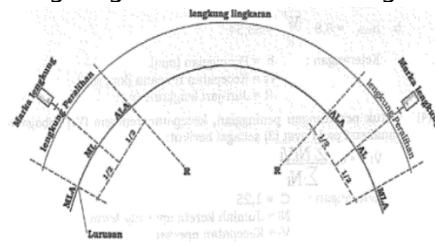
Permukaan benda juga terjadi keausan lelah yang pada dasarnya dapat terjadi baik secara *adhesive* atau secara *abrasive*. Keausan tipe ini dapat terjadi berkali-kali dan secara berkala karena hal tersebut akan berpengaruh terhadap meningkatnya tegangan geser. Tekanan yang timbul akibat dari kontak langsung antara dua buah benda mengakibatkan lubang yang telah ada akan melebar. Sedangkan tahap berikutnya yaitu lubang yang telah melebar akan disatukan menjadi alur retak.

d. *Tribo chemical wear*

Jenis ini adalah keausan secara kimiawi dimana gabungan antara proses mekanis dan *thermal* yang terjadi antara dua permukaan suatu benda beserta lingkungan sekitarnya. Contohnya adalah pada proses oksidasi yang cukup intens terjadi pada kontak luncur antar logam. Peningkatan pada suhu serta perubahan sifat mekanis pada *asperity* merupakan efek dari keausan secara kimiawi dimana hal ini dapat mengakibatkan korosi di logam.

5. Lengkung

Lengkung adalah bagian dari jalur kereta api yang berbentuk lengkungan/ setengah lingkaran dengan jari-jari tertentu. Lengkung mempunyai fungsi yaitu untuk mengarahkan kereta api untuk berbelok kekanan atau ke kiri. Lengkung sendiri terdiri dari lengkung peralihan dan lengkung penuh.



Gambar 3. Lengkung

Lengkung peralihan dimulai dari Mulai Lengkung Alih (MLA) sampai dengan Akhir Lengkung Alih (ALA). Dan untuk lengkung penuh atau lengkung lingkaran dimulai dari akhir lengkung alih sampai akhir lengkung alih di sisi lain. Lengkung yang memiliki jari-jari berubah beraturan bisa disebut lengkung peralihan. (Menteri Perhubungan Republik Indonesia, 2012)

6. Pelebaran Jalan Rel

Dalam (Menteri Perhubungan Republik Indonesia, 2012), pelebaran jalan rel digunakan supaya roda sarana bisa melalui lengkung tanpa mengalami hambatan. Pelebaran ini bisa dijalankan dengan menggeser rel dalam ke arah dalam. Pelebaran ini dimulai dan dihilangkan atau dilewati secara berangsur sepanjang lengkung peralihan. Besarnya pelebaran ini dengan jalan rel 1435mm dengan berbagai jari-jari tikungan bisa dilihat dalam tabel dibawah.

Tabel 1. pelebaran jalan rel untuk 1435

Jari-jari tikungan (m)	Pelebaran (mm)
$R > 400$	0
$350 < R \leq 400$	5
$300 < R \leq 350$	10
$250 < R \leq 300$	15

Jari-jari tikungan (m)	Pelebaran (mm)
$R \leq 250$	20

7. Peninggian Jalan Rel

Untuk mengimbangi gaya sentrifugal yang dialami sarana KA dan gaya lain yang bekerja maka lengkung elevasi didisain lebih tinggi. Peninggian rel ini bisa dicapai dengan meletakkan rel dalam pada tinggi semestinya dan rel luar lebih tinggi. Besarnya peninggian maksimal untuk lebar jalan rel 1067 mm yaitu 110 mm sedangkan untuk lebar jalan rel 1435 mm yaitu 150 mm. Sedangkan untuk rumus yang digunakan untuk peninggian rel 1435 sebagai berikut:

$$h_{\text{normal}} = 8,1x \frac{(V_{\text{rencana}})^2}{\text{jari-jari}}$$

Sedangkan untuk peninggian rel 1067 yaitu:

$$h_{\text{normal}} = 5,95x \frac{(V_{\text{rencana}})^2}{\text{jari-jari}}$$

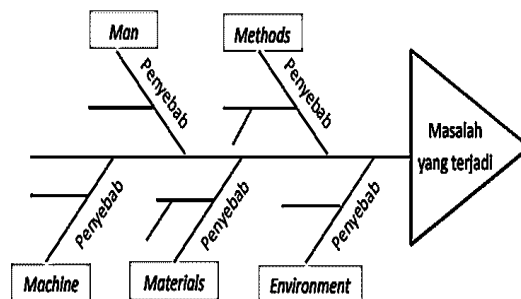
8. Gesekan dan Pelumasan

Sebuah sarana merupakan kendaraan yang bergerak di jalan rel. Ketika sarana ini beroperasi maka akan ada gesekan yang terjadi antara roda dengan rel. Lama kelamaan gesekan ini akan mengikis roda sekaligus *flens* yang mana akan membuat cacat pada roda. Salah satunya adalah keausan *flens* dan diameter roda tidak sama, yang disebabkan roda terlalu lama bergesekan dengan rel. Pelumas bertujuan untuk melapisi atau sebagai pelindung yang membagi dua permukaan yang saling berkaitan. Biasanya pelumas terbuat dari 90% minyak dasar dan 10% zat lain yang bersifat membatu (Zulkarnain, Rianta, et al., 2024)

9. Diagram Fishbone

Diagram fishbone, juga dikenal sebagai diagram Ishikawa atau cause-and-effect diagram, merupakan alat yang digunakan untuk mengelola, mengidentifikasi, dan mengelompokkan berbagai kemungkinan penyebab dari suatu masalah atau dampak tertentu. Diagram ini berbentuk seperti tulang ikan, dengan masalah utama di bagian kepala, sedangkan faktor penyebabnya menyebar ke arah tulang punggung (Sulianta, 2024). Diagram ini pertama kali diperkenalkan oleh Dr. Kaoru Ishikawa pada tahun 1960-an dan menjadi bagian penting dalam konsep Total Quality Management (TQM). *Fishbone* diagram terdapat beberapa macam penyusun utama yaitu:

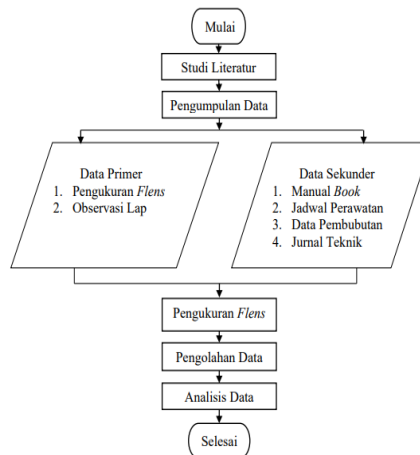
- Masalah Utama (*Effect*): Diletakkan dibagian kepala ikan.
- Tulang Utama (*Major Categories*): Tulang yang meluas dari tulang punggung utama mewakili kategori utama. Kategori ini sering diambil dari metode 6M
- Tulang-tulang kecil (*sub-categories*): digunakan untuk penyebab lebih spesifik yang terkait dengan kategori utama. Berikut adalah diagram *fishbone* yang umum digunakan sebagai berikut:



Gambar 4. *Fishbone* Diagram

10. Diagram Alir

Diagram alir pikir yang dibuat dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:



Gambar 5. Diagram Alir

11. Metode Pengumpulan Data

Pengukuran *flens* dan pengumpulan informasi serta referensi yang akan menambah pengetahuan. Dalam penelitian primer, menggunakan data observasi berupa ketinggian *flens* min 27,5, maks 36 mm, kemudian tebal *flens* 33,0 mm, dan gradien *flens* min 6,5 mm serta meliputi *checkseet* pengukuran yang telah di buat oleh peneliti. Sedangkan data sekunder ialah data yang didapat bukan secara langsung namun diperoleh dari informasi/ laporan yang sudah ada. Dalam penelitian ini peneliti menggunakan referensi menggunakan standar Peraturan Menteri (PM), *Union internationale des chemins de fer* (UIC), jurnal teknik, *Manual Instruction* (MI), data pembubutan dan *checkseet* perawatan. Setelah dilakukan pengumpulan data, langkah berikutnya yang akan dilakukan ialah pengolahan data. Data-data tersebut dikelompokkan menjadi tabel atau ditabulasi menggunakan *Microsoft Axle* untuk dikategorisasikan menjadi data primer dan data sekunder.

12. Langkah-Langkah Pengukuran Flens Roda

Pengukuran *flens* roda ini dilakukan dengan menggunakan alat ukur bernama *laser wheel profilometer*. Cara menggunakannya yaitu, operator memasang modul pemindaian laser ke roda/ *flens* yang akan diukur. Setelah menerima perintah dari HP atau PC, modul laser melakukan kontak pemindaian permukaan roda. Hasil pengukuran berupa (parameter geometris dan profil permukaan) ditampilkan pada layar HP, dan dapat disimpan dalam memori HP, dan ditransfer ke basis data PC. Tersedia juga standar untuk tinggi *flens* min 27,5, maks 36 mm, kemudian tebal *flens* 33,0 mm, dan gradien *flens* min 6,5 mm.

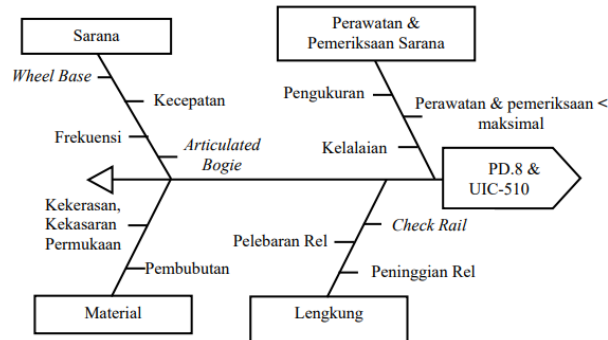
13. Metode Analisis Data

Setelah pengolahan data selanjutnya melakukan analisis data untuk mengetahui hasil penelitian yang telah dilakukan dengan menentukan kesimpulan pada proses analisis yang telah dikerjakan. Data yang sudah terkumpul kemudian akan digunakan untuk memprediksi data, yang selanjutnya menggunakan metode diagram *fishbone analysis*. Langkah-langkah membuat *fishbone* diagram sebagai berikut:

- Identifikasi masalah
- Bentuk tim
- Brainstorming* penyebab
- Buat diagram
- Analisis
- Menentukan penyebab dari masing-masing faktor penyebab masalah kemudian setelah penentuan masalah dan penyebabnya yaitu menggambar diagram *fishbone*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Menurut hasil observasi dan wawancara yang telah dilakukan oleh peneliti mengenai keausan *flens* roda terdapat unsur-unsur yang kurang optimal. Sehingga mencari penyebab dan solusi yang dihadapi dapat diidentifikasi dengan diagram *fishbone* antar lain:



Gambar 6. Diagram *Fishbone*

1. Perawatan dan Pemeriksaan Sarana

Manajemen perawatan berfungsi untuk mempelajari, mengidentifikasi, mengukur dan menganalisis serta memperbaiki fungsi operasional suatu *system* dengan mengoptimalkan umur pakai, mengurangi *probability* kerusakan dan mengurangi waktu yang rendah, sehingga akan meningkatkan ketersediaan sarana untuk operasi. Ada beberapa kelompok penyebab dalam sebuah permasalahan utama. Salah satunya perawatan dan pemeriksaan. Ini menjadi sebuah faktor penyebab dikarenakan kurang optimalnya untuk perawatan ataupun pemeriksaan. Ini dibuktikan dengan beberapa temuan tentang roda dan saat pengukuran. Di LRT Jabodebek perawatan roda khususnya *flens* kurang maksimal. Perawatan ataupun pemeriksaan ini akan dilakukan jika terdapat indikasi atau cacat roda. Sehingga perawatan ataupun pemeriksaan ini kurang efektif untuk meningkatkan umur dari roda khususnya *flens*. Oleh karena itu perawatan ataupun pemeriksaan ini bisa lebih efektif jika terjadwal untuk pengukuran *flens* dan diameter roda sekaligus pemeriksaan secara meraba atau secara visual secara detail.

Pengukuran ini juga merupakan kegiatan yang sangat penting untuk mengetahui ketebalan *flens* itu sendiri. Perawatan sarana juga memerlukan hasil pengukuran yang akurat. Pengukuran ini bisa juga salah dalam pembacaan ataupun penulisan ke dalam buku *checkseet*. Oleh karena itu didalam melaksanakan pengukuran sebaiknya dilakukan oleh 2 orang agar terhindar dari bahaya atau resiko kurang fokus saat pembacaan alat ukur ataupun saat pengukurannya.

2. Lengkung

Saat sebuah kereta api melakukan operasi, terdapat gesekan antara rel dengan roda KA. Gesekan ini akan terus berlanjut sehingga menyebabkan cacat atau keausan pada roda. Ada salah satu cacat yang asti ditemui dari logam yang bergesekan yaitu aus bagian *flens* serta diameter roda. Jika keausan ini sangat parah harus dilakukan pembubutan untuk mengembalikan bentuk profil. Aus tersebut bisa lebih cepat jika sering melewati sebuah lengkung. Lengkung yang mempunyai radius kecil dan peninggian atau pelebaran tidak sesuai standar akan menyebabkan peningkatak aus yang lebih parah. Aus ini akan membuat cacat di sebuah *flens*. Jika *flens* tersebut cacat bisa mengakibatkan anjlok di lengkung ataupun kecelakaan.

Lengkung LRT Jabodebek sendiri cukup banyak sehingga keausan *flens* cukup tinggi. Jalur LRT Jabodebek mempunyai 3 *line* utama yaitu *line* 1 Harjamukti-Cawang, *line* 2 Dukuh Atas-Cawang, dan *line* 3 Jatimulya-Cawang. *Line* 1 mempunyai radius lengkung < 250 ada 20 lengkung, untuk *line* 2 ada 14 lengkung dan *line* 3 ada 3 lengkung. Berikut merupakan peta dari *line* LRT Jabodebek



Gambar 7. Jalur LRT Jabodebek

Dari peta jalur LRT Jabodebek di atas terdapat lengkung yang lebih kecil yang mana akan semakin meningkatkan gesekan dan keausan roda terutama *flens* yang terkikis saat dipaksa melewati lengkung kecil. Lengkung ini memiliki radius < 150 sebanyak 15. Untuk mengurangi keausan tersebut perlunya pelumasan pada bagian lengkung ataupun *flens*. Pelumasan di *flens* ini bisa menggunakan metode fluida ataupun metode *stick*.

Dari data yang diperoleh terdapat lengkung yang kecil yang kurang optimal sehingga perlu disesuaikan dengan Peraturan Menteri No. 60 tahun 2012 yang berlaku. Saat ini di dapat nilai untuk jari-jari lengkung yaitu 87m dengan pelebaran yaitu 10mm. Sedangkan untuk nilai peninggian rel bagian dalam untuk mengimbangi gaya sentrifugal didapat dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$h_{\text{normal}} = 8,1 \times \frac{(V_{\text{rencana}})^2}{\text{jari-jari}}$$

Selain ketinggian dan pelebaran rel di lengkung terdapat juga *check rail* / rel paksa yang mana harus ada di sebuah lengkung untuk mengantisipasi kejadian yang tidak diinginkan. Kondisi saat ini rel paksa yang ada di LRT Jabodebek kurang efektif / tidak bekerja secara maksimal yaitu jarak 85mm untuk jari-jari $125 > R \geq 100$. Sedangkan menurut standar UIC Code 710 R tentang jarak antara rel dan rel paksa. Jika rel diletakkan dengan rel paksa, pada tikungan, jarak antara rel dan rel paksa tidak boleh kurang dari berikut ini.

Tabel 2. Check Rail

Jarak Check Rail LRT Jabodebek	
Jari-jari Tikungan (m)	Jarak (mm)
$175 > R \geq 150$	45
$150 > R \geq 125$	50
$125 > R \geq 100$	55

Dari tabel 2. bisa dilihat bahwa terdapat beberapa selisih angka yang cukup jauh. Yang mana untuk saat ini keseluruhan jarak di lengkung LRT Jabodebek di angka 85 mm, sedangkan menurut UIC Code 710 R mempunyai selisih angka 5 setiap penurunan jari-jari.

3. Material

Bahan *flens* atau roda LRT Jabodebek sendiri menggunakan beberapa bahan atau material untuk mencapai sifat mekanik tertentu. Bahan atau material tersebut sesuai dengan EN 13262 *grade* ER7 dan untuk *type solid wheel made of steel forging*.

Tabel 3. Komposisi Bahan

Steel grade	Maximum content in % a										
	C	Si	Mn	P b	S b c	Cr	Cu	Mb	Ni	\\tab V	Cr + Mo + Ni
ER6	0.48	0.40	0.75	0.020	0.015	0.30	0.30	0.08	0.30	0.06	0.50
ER7	0.52	0.40	0.80	0.020	0.015	0.30	0.30	0.08	0.30	0.06	0.50
ER8	0.56	0.40	0.80	0.020	0.015	0.30	0.30	0.08	0.30	0.06	0.50
ERS8	0.57	1.10	1.10	0.020	0.015	0.30	0.30	0.08	0.30	0.06	0.60
ER9	0.60	0.40	0.80	0.020	0.015	0.30	0.30	0.08	0.30	0.06	0.50

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa keseluruhan roda tidak sepenuhnya memakai besi, namun juga terdapat bahan campuran seperti timbal, krom, nikel, dan lain sebagainya.

Penambahan paduan ini untuk membentuk sifat mekanik seperti keuletan, kekakuan, kekuatan, dan kekerasan. Pastinya roda atau *flens* ini tingkat kekerasan lebih rendah dari rel, untuk menghindari keausan berlebih pada rel. Untuk menciptakan kekerasan permukaan diperlukan perlakuan khusus untuk logam, mulai dari pemanasan sampai pendinginan. Sehingga tercipta kekerasan permukaan yang diinginkan. Dengan adanya cacat atau keausan di *flens* roda maka roda akan dibubut untuk menormalkan bentuk profil roda. Pembubutan yang terus menerus akan mengurangi tingkat kekerasan permukaan. Sehingga roda khususnya *flens* akan cepat aus. Untuk mencegah hal tersebut perlunya dilakukan evaluasi dengan memberi cairan pendingin saat pembubutan. Sehingga akan menciptakan proses perlakuan logam yang seimbang. Mengingat saat proses penyayatan pembubutan itu akan menghasilkan panas, maka untuk mengurangi panas yang berlebih dan meningkatkan kekerasan permukaan serta kekasaran permukaan perlunya dipasang cairan pendingin.

4. Sarana

Bogie di sarana LRT Jabodebek sendiri menggunakan jenis *bolster bogie*. *Bogie* jenis ini memiliki fungsi untuk mengurangi guncangan. Namun untuk jenis *bogie* yang digunakan di LRT Jabodebek ini juga merupakan jenis *nonarticulated*. Menurut Sharma et al. (2018) *bogie* dengan *articulated* menunjukkan kelancaran, stabilitas kereta dan tikungan serta kecepatan tinggi dengan gerakan yaw yang lebih baik. Namun jenis *bogie* ini masih banyak pengujian dan perawatan dan komponen yang rumit. Serta menerima beban gandar lebih besar karena menopang 2 kereta akhirnya dan awal secara bersamaan. Sedangkan untuk tingkat *wheel base* LRT Jabodebek sendiri menggunakan 2050 mm dengan roda diameter baru 780 mm. Mengingat itu sudah termasuk kecil dalam ukuran diameter roda. Jarak *wheel base* yang lebih kecil, berfungsi untuk manuver yang lebih baik pada kecepatan tinggi. Sehingga akan mempercepat saat melewati lengkung.

5. Pembahasan

Keausan *flens* roda ini menjadi masalah yang serius dihadapi di LRT Jabodebek. Mengingat *flens* adalah bagian paling vital dalam sarana saat melewati lengkung supaya tidak anjlok. Selain menjadi komponen vital dalam melewati lengkung, *flens* juga akan menentukan umur dari pada roda. Karena *flens* dan roda sarana merupakan satu kesatuan yang utuh dan tidak bisa dipisahkan. Penyebab keausan *flens* ini cukup tinggi karena banyaknya listis yang menggunakan lengkung. Ini di buktikan dengan tingkat keausan yang cukup parah di bagian *flens* itu sendiri, dan di beberapa titik juga ada serpihan logam atau gram-gram yang terjatuh.

Dengan adanya serpihan gram tersebut bahwa disitu terjadi tekanan pada *flens* dan rel. Sehingga mengakibatkan *flens* tersebut aus, *flens* tersebut bisa aus juga dikarenakan tingkat kekerasan antara rel dengan roda berbeda. Itu normal karena memang roda memiliki tingkat kekerasan dibawah rel. Selain itu material yang digunakan berbeda dengan rel. Kemudian lebar *check rail* yang kurang sesuai dengan standar UIC, sehingga fungsinya kurang optimal. Selain itu faktor ukuran *wheel base* dan tipe *bogie* juga berpengaruh. Ditambah frekuensi pengoprasian yang tinggi dan peningkatan kecepatan akan berdampak pada keausannya.

Untuk menanggulangi profil yang cacat maka *flens* roda akan dibubut. Pembubutan ini akan membentuk ulang profil roda seperti baru lagi. Jika pembubutan sering dilakukan akan mengakibatkan kekerasan permukaan perlahan hilang. Hilangnya kekerasan permukaan ini akan mempercepat keausan yang lebih lagi jika sarana melewati lengkung dan untuk mengurangi hal tersebut maka perlu adanya pendinginan setelah dibubut. Sebelumnya pembubutan ini dilakukan secara kering tanpa pendingin. Selain itu perlunya dilakukan pelumasan pada *flens* roda dan rel untuk mengurangi kekasaran permukaan di lengkung

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data, keausan *flens* roda LRT Jabodebek menyebabkan umur roda berkurang karena beberapa faktor, yaitu banyaknya lengkung radius < 150 yang belum sesuai standar, lebar rel paksa kurang optimal, dan alat ukur kurang akurat. Keausan ini dapat dikurangi dengan pelumasan pada *flens* roda dan lengkung rel, penyesuaian lengkung sesuai standar, serta perbaikan ukuran rel paksa sesuai UIC. Selain itu, alat ukur perlu dikalibrasi sebelum digunakan dan pemeriksaan

data sebelumnya dilakukan untuk memastikan hasil pengukuran tepat. Upaya ini bertujuan menjaga umur roda agar lebih awet.

5. REFERENSI

- Dahlan. (2000). Uji Coba Profil Rel Aus Untuk Mengurangi Keausan Flens Roda Gerbong KKBW KA Babaranjang. In *Institut Teknologi Bandung: Vol. XXVI* (Issue I, pp. 1–8).
- Eviyanti, N. (2021). Analysis of Fishbone Diagram To Evaluate the Manufacture of Aluminum Equipment: Case Study At Yogyakarta Aluminum Sp. *JAAKFE UNTAN (Jurnal Audit Dan Akuntansi Fakultas Ekonomi Universitas Tanjungpura)*, 10(1), 10.
- Menteri Perhubungan Republik Indonesia. (2012). Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 60 Tahun 2012 tentang Persyaratan Teknis Jalur Kereta Api. *Kementrian Perhubungan Republik Indonesia*, 2011, 1–57. https://peraturan.bpk.go.id/Download/138947/pm_no._60_tahun_2012.pdf
- Menteri Perhubungan RI. (2015). *Standar Spesifikasi Teknis Kereta Kecepatan Normal Dengan Penggerak Sendiri*. 2015, 1–32.
- Pembina, Y., Negeri, U., & Cibubur, S. M. P. L. (2024). *Peran transportasi kereta lrt untuk masyarakat jakarta*.
- Sulianta, F. (2024). *Diagram Fishbone untuk Berbagai Kebutuhan*. November, 1–11. <https://www.researchgate.net/publication/385503999>
- Syafaat, I., Jamari, Widyanto, S. A., & Ismail, R. (2019). Pemodelan Keausan Kontak Sliding Antara Slinder Dengan Bidang Datar. *Junal.Unimus. Ac.Id*, 024, 278–283.
- Wilastari, S., Ibnu Mazid, M., Widodo, H., Studi Teknik, P., Bumi Akpelni, P., Bumi Akpelni Jl Pawiyatan Luhur No, P. I., & Dhuwur, B. (2019). Upaya Mengatasi Kerusakan Pada Roda Bogie Tb-398 Di Upt Depo Kereta Besar a Semarang Poncol. *Journal AKPELNI: Prosiding Seminar Nasional*, 1(1), 237–242. <https://e-journal.akpelni.ac.id/index.php/prosiding-nsmis/article/view/254>
- Zulkarnain, A., Ersaputra, A. Y., Atmaja, D. S., Rifai, A. F., & Pradana, A. (2024). The Effect of Traffic on Wheel Flange Wear of LRT Jabodebek. *Journal of Railway Transportation and Technology*, 3(2), 15–23. <https://doi.org/10.37367/jrtt.v3i2.50>
- Zulkarnain, A., Rianta, W., & Fauzi Pradana, A. (2024). A Comparative Study of Mobilith SHC 100 and Gulf Crown EP 2 Greases on the Train Wheel Bearings. *Sainstech Nusantara*, 1(1), 13–20. <https://doi.org/10.71225/jstn.v1i1.41>