

Kajian Keandalan *Axle lining* Lokal Lokomotif CC201 dan CC203

Angki A. Rachmat^{1,a}*, I Wayan Suweca^{2,b} dan Rieske Hadiani^{3,c}

¹ Jurusan Teknik Mesin – POLBAN Jl. Geger kalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung, Indonesia

² Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara ITB

³ Fakultas MIPA ITB Jl. Ganeca No. 10, Bandung, Indonesia

Email: angki@polban.ac.id, csuweca@edc.ms.itb.ac.id, hadiani@math.itb.ac.id

Abstrak

Peningkatan kandungan lokal (dalam negeri) pada berbagai produk terus dipacu dan ditingkatkan oleh Pemerintah Indonesia. Tulisan ini mengkaji keandalan *axle lining* produksi dalam negeri yang digunakan oleh PT. Kereta Api Indonesia (Persero) pada lokomotif CC201 dan CC203. *Axle lining* adalah komponen yang dipasang sebagaiudukan motor traksi pada poros roda. Metode kajian dilakukan dengan mengolah data lapangan berupa data umur-pakai dan waktu perawatan *axle lining*. Data umur-pakai didekati dengan distribusi Weibull dan eksponensial. Distribusi yang paling mendekati data lapangan atau yang memberikan koefisien korelasi mendekati satu dipilih untuk menghitung keandalan. Selanjutnya dibuat grafik karakteristik keandalan *axle lining* lokal. Hasil kajian menunjukkan bahwa keandalan *axle lining* lokal $R(t)$ terhadap waktu observasi t , mengikuti persamaan $R(t)=\exp[-(0,0016*t)^{3,367}]$. Keandalan *axle lining* lokal 90% didapatkan dengan waktu perawatan 321 hari. Strategi perawatan PT. Kereta Api Indonesia (Persero) yang ada sekarang, menetapkan pemeriksaan dan pengembalian fungsi *axle lining* pada kondisi standarnya pada perawatan P6 atau paling lambat $P6+P3$. Peningkatkan performa *axle lining* dapat dilakukan dengan peningkatan percepatan awal sampai mencapai kecepatan *hydrodynamic*, menghaluskan kekasaran permukaan menjadi $1,5\mu\text{m}$, dan pembuatan celah *axle lining* dan poros roda menjadi 0,006 in.

Kata kunci: *Axle lining*, bantalan luncur, umur-pakai, keandalan, Weibull

Latar belakang

Kereta api merupakan angkutan massal yang sangat penting untuk masyarakat Indonesia [1]. Penumpang kereta api yang diangkut per tahun rata-rata 184 juta orang-trip [2]. Operator kereta api adalah PT. Kereta Api (Persero) atau disingkat PT. KA, sekarang berganti nama lagi menjadi PT. Kereta Api Indonesia (Persero) atau PT. KAI. Untuk melayani kebutuhan angkutan masyarakat, PT. KAI menyediakan sarana 495 lokomotif, 111 KR, 456 KRL, 1576 kereta raya, 14 kereta lokal, dan 4816 gerbong [3]. Mengingat pentingnya keberadaan kereta api bagi masyarakat, maka komponen kereta api harus memiliki performa yang baik.

Axle lining adalah komponen yang dipasang sebagaiudukan motor traksi pada poros roda. Motor traksi lokomotif duduk atau dipasang pada *chasis* dan poros roda. Khusus untuk yang duduk ke poros roda ditahan oleh *axle lining*, sehingga kedudukan motor traksi tidak langsung bergesekan dengan roda. Karena roda terus berputar sesuai penggunaan lokomotif, maka *axle lining* merupakan komponen yang dikorbankan supaya motor traksi dan poros roda tidak cepat aus. *Axle*

lining termasuk jenis bantalan luncur (*journal bearing*). Lokomotif dan *axle lining* serta posisinya ditunjukkan pada Gambar 1.



a. Lokomotif tipe CC



b. Motor traksi



c. Axle lining lokomotif tipe CC

Gambar 1. Lokomotif tipe CC dan axle lining

Axle lining produk lokal merupakan komponen strategis pada kereta api. Sebuah lokomotif menggunakan axle lining produk lokal sekitar 70% dan 30% produk impor. Apabila 495 lokomotif milik PT. KAI dimana setiap lokomotif terdiri dari 12 set axle lining untuk lokomotif tipe CC dan 8 set axle lining untuk lokomotif tipe BB serta umur teknis axle lining produk impor 1,5 - 2 tahun, maka PT. KAI membutuhkan sekitar 2475 set axle lining per tahun. Penggunaan axle lining lokal dapat menghemat biaya pembelian, waktu tunggu kedatangan barang, waktu kerja tender, bahkan dapat menjadi komoditas ekspor.

Axle lining lokal mulai diproduksi dan digunakan PT. KAI sejak tahun 90-an. Setelah penggunaan beberapa tahun, axle lining lokal mengalami tingkat kerusakan yang tinggi pada tahun 1998 – 2001 [4], sehingga PT. KAI melakukan penelitian pertama kali pada tahun 2002 [5]. Beberapa penelitian lanjutan yang pernah dilakukan adalah studi performatasi axle lining [2], pengujian axle lining skala lab. [6], studi teknologi pelapisan babbitt [7], dan studi pengembangan axle lining tahan beban impact [8]. Penelitian pada lokomotif CC201 dan CC203 dilakukan untuk mencari akar permasalahan kerusakan axle lining dan peningkatan performa axle lining lokal supaya mendekati produk impor. Untuk menjamin komponen beroperasi dengan andal, maka harus dilakukan analisis keandalan (reliability) [9].

Keandalan adalah kemungkinan selamat suatu komponen atau produk menjalankan fungsi spesifik sesuai dengan kondisi dan lingkungan tertentu selama kurun waktu yang ditentukan [9]. Kemungkinan selamat axle lining dapat dihitung dari data kerusakan dan operasional axle lining. Untuk peningkatan keandalan pada axle lining dapat dilakukan dengan mengoptimalkan parameter yang berpengaruh pada axle lining, seperti; clearance atau celah.

Tujuan kajian dalam tulisan ini adalah mendapatkan karakteristik keandalan axle lining lokal berdasarkan data umur pakai dan parameter yang berpengaruh terhadap umur axle lining. Karakteristik axle lining lokal dituangkan dalam grafik pengaruh waktu perawatan terhadap keandalan axle lining.

Metode Kajian

Metode kajian dilakukan dalam 5 tahap. Tahap pertama adalah mengolah data umur pakai axle lining dengan beberapa pendekatan, yang kedua adalah menghitung dan memilih pendekatan dengan korelasi data terbaik, yang ketiga adalah menghitung dan membuat grafik karakteristik keandalan axle lining lokal. Tahap ke empat adalah perumusan dan identifikasi parameter untuk peningkatan umur axle lining, tahap terakhir adalah simulasi kombinasi parameter untuk meningkatkan umur axle lining.

Pengolahan data umur pakai axle lining dilakukan dengan 3 pendekatan. Pendekatan yang digunakan adalah Weibull 2 parameter, Weibull 3 parameter dan eksponensial. Ketiga pendekatan tersebut mengikuti persamaan 1, persamaan 2 dan persamaan 3.

$$R(t_i) = \exp[-(t_i * \lambda)^\alpha]$$

(1)

$$R(t_i) = \exp\{-[\lambda * (t_i - \tau)]^\alpha\}$$

(2)

$$R(t_i) = \exp[-(t_i * \lambda)]$$

(3)

Pendekatan terbaik dipilih berdasarkan koefisien korelasi data lapangan dan teoritik terbaik dari setiap pendekatan. Koefisien korelasi terbaik adalah koefisien korelasi yang paling mendekati nilai satu. Untuk mendapatkan koefisien korelasi setiap pendekatan, maka harus dihitung terlebih dahulu kemungkinan gagal $F(t_i)$ berdasarkan data umur pakai axle lining lokomotif CC201 dan CC203 di Dipo Lokomotif Bandung. Data berasal dari 17 lokomotif dengan kurun waktu 2 kali perawatan akhir (PA) atau semi-perawatan akhir (SPA). Persamaan dan parameter untuk mendapatkan koefisien korelasi (r_w) mengikuti persamaan 4 s.d 9.

$$F(t_i) = F(i_{th}) = \frac{i_{th} - 0.3}{n + 0.4}$$

(4)

$$a = \frac{n * (\sum_{i=1}^n x_i * y_i) - (\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)}{n * (\sum_{i=1}^n x_i^2) - \sum_{i=1}^n x_i^2}$$

(5)

$$b = \frac{(\sum_{i=1}^n y_i)(\sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i * y_i)(\sum_{i=1}^n x_i)}{n \left((\sum_{i=1}^n x_i^2) - (\sum_{i=1}^n x_i^2) \right)} \quad (6)$$

$$a = \alpha \quad (7)$$

$$\lambda = \exp\left(\frac{b}{a}\right) \quad (8)$$

$$r_w = \sqrt{\frac{s_t - s_{rw}}{s_t}} \quad (9)$$

Grafik karakteristik *axle lining* di plot dari waktu observasi dan keandalan. Target keandalan adalah 90% seperti halnya kebanyakan komponen standar lain, contoh; keandalan standar bearing SKF dan TIMKEN adalah 90%. Selain keandalan standar, grafik karakteristik ini dapat juga digunakan untuk mengetahui keandalan yang lebih tinggi yang di atas 90% secara mudah.

Upaya peningkatan umur *axle lining* dilakukan dengan mengoptimalkan 3 parameter. Ketiga parameter tersebut adalah percepatan awal (a_{hd}), celah, dan kekasaran permukaan. Namun pada dasarnya ketiga parameter tersebut berkaitan dengan parameter kecepatan *hidrodinamic* (V_{hd}). Perubahan ketiga parameter tersebut akan merubah V_{hd} . Semakin cepat V_{hd} tercapai, maka berdasarkan persamaan *Archard's*, umur *axle lining* pun akan semakin panjang.

Umur *axle lining* merupakan pembagian *volumetric* aus Vol_{aus} lapisan *babbit axle lining* terhadap laju keausan. Salah satu kriteria gagal *axle lining* menurut hasil wawancara di Dipo Lokomotif Bandung adalah apabila seluruh lapisan *babbit* habis. Laju keausan dihitung dari persamaan *Archard's*, dimana laju keausan Ψ merupakan perkalian koefisien aus k , beban merata pada *axle lining* W dan kecepatan saat beroperasi V dibagi dengan kekerasan permukaan material H , diekspresikan pada persamaan [10]

$$Umur AL (det) = \frac{Vol_{aus} (m^3)}{\Psi (m^3/det)} \quad (10)$$

$$\Psi (m^3/detik) = \frac{k * W(N) * V(\frac{meter}{detik})}{H(\frac{N}{m^2})} \quad (11)$$

Mengingat *axle lining* tidak aus setiap digunakan, melainkan terjadi aus pada kecepatan di bawah V_{hd} , maka umur *axle lining* harus dibagi waktu aus per jarak tempuh t_{aus} . Penggunaan *axle lining* per hari juga tergantung dari jarak tempuh (rata-rata) lokomotif per hari S_{lok} , maka umur *axle lining* (hari) dapat diekspresikan dengan persamaan,

$$Umur AL = \frac{Vol_{aus}}{\Psi * t_{aus} * S_{lok}} \quad (12)$$

Waktu aus per jarak tempuh diturunkan dari pengambilan data perjalanan Bandung –Jakarta PP (disebut *lokrit*). Dari *lokrit* diambil data jarak *lokrit* S_{lokrit} , waktu aus, kecepatan dan percepatan sampai *hydrodynamic*, dan banyaknya data n_{data} . Sedangkan Jarak tempuh lok perhari diturunkan dari km lokomotif antara PA/SPA dan data waktu (hari) penggantian *axle lining* lokal t_{AL} . Sehingga apabila umur *axle lining* diturunkan dari data pengujian dan lapangan, persamaannya menjadi,

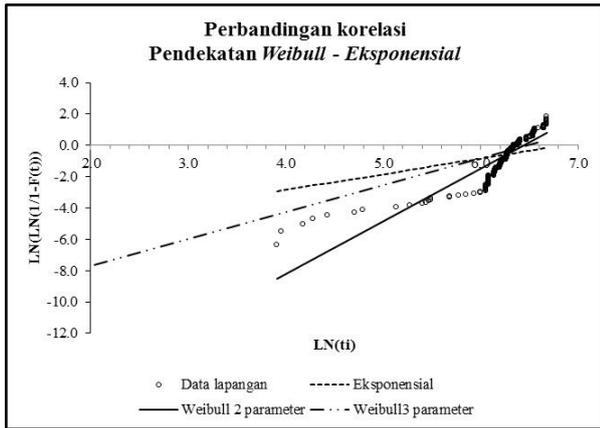
$$UmurAL = \frac{3,6^2 * H * a_{hd} * Vol_{aus} * S_{lokrit} * t_{AL}}{n_{data} * k * W * V_{hd}^2 * 325000} \quad (13)$$

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengolahan data umur pakai *axle lining* lokal menunjukkan pendekatan distribusi Weibull 2 parameter yang paling baik. Distribusi Weibull 2 parameter menghasilkan nilai koefisien korelasi 0,88 atau hampir 90%. Nilai ini yang paling mendekati 1. Hasil lengkap mengenai perhitungan parameter dan nilai koefisien korelasi dari 3 pendekatan ditunjukkan pada Tabel 1 dengan sebaran data dan hasil pendekatan dari tiga distribusi seperti pada diagram pada Gambar 2.

Tabel 1 Hasil perhitungan parameter distribusi

Parameter	Pendekatan		
	Weibull 2	Weibull 3	Exponential
α	3.367	2.132	1
λ	0.0016	0.0016	0.0011
τ	n/a	49	n/a
r	0.88	0.8	0.63

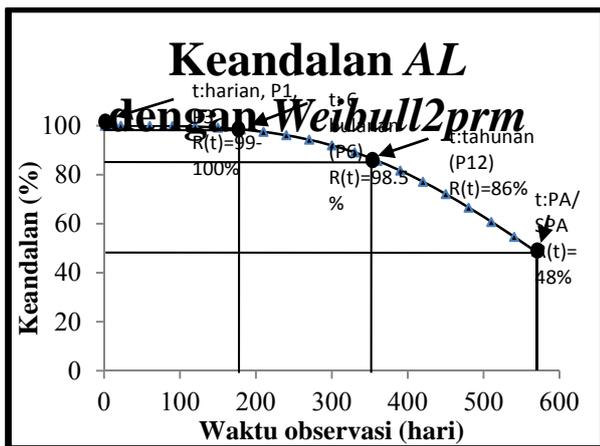


Gambar 2 Plot korelasi data lapangan dan pendekatan

Persamaan untuk menghitung keandalan diambil dari persamaan dasar distribusi Weibull 2 parameter. Jika hasil perhitungan parameter α dan λ Weibull 2 parameter dimasukkan ke persamaan dasarnya, maka persamaan keandalan *axle lining* lokal $R(t_i)$ dengan waktu observasi t_i menghasilkan persamaan,

$$R(t_i) = \exp[-(t_i * 0.0016)^{3.367}]$$

Dari persamaan di atas, dibuat grafik karakteristik keandalan *axle lining* lokal. Dari data diketahui waktu rata-rata pelaksanaan antar PA atau SPA adalah 569 hari, maka data perawatan atau observasi harian sampai PA/SPA yang di plot dalam grafik adalah mulai dari 1 sampai 569. Grafik karakteristik dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Grafik karakteristik keandalan *axle lining* lokal

Dari grafik karakteristik atau persamaan keandalan *axle lining*, diketahui untuk keandalan 90% harus dilakukan waktu observasi 321 hari. Hal ini berarti paling lambat pada 321 hari harus dilakukan pengecekan dan pengembalian fungsi *axle lining* sampai kondisi awal atau yang

dijinkan. Jika melihat dari manajemen perawatan yang diterapkan di PT. KAI, maka pengecekan dan pengembalian fungsi *axle lining* lokal dapat dilakukan pada P6 atau paling lambat pada P6+P3.

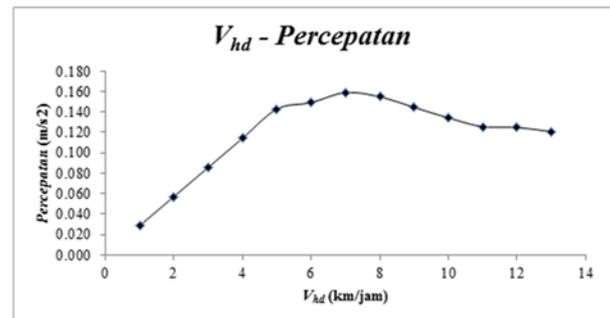
Data untuk perancangan ulang dapat diambil dari spesifikasi *axle lining*. Berikut data yang terkait *axle lining* [5]

Diameter <i>axle lining</i> , D	: 7,28 in
Panjang efektif <i>axle lining</i> , L	: 4,5 in
Celah <i>axle lining</i> -poros, C	: 0,007 in
Diameter roda (baru), d_R	: 914 mm
Berat maksimum lokomotif, G_L	: 84000kg
Berat motor traksi, W_{TM}	: 1928 kg
Jumlah motor traksi, n_{TM}	: 6
Berat perangkat roda, W_{PR}	: 1332 kg
Jumlah perangkat roda, n_{PR}	: 6

Data kondisi operasi:

Beban <i>axle lining</i> [11]	: 2307 lbf
Kecepatan kereta maksimum [2]	: 100 km/jam
Pelumas [11]	: turalik 52
Temperatur masuk [2]	: 77 °F
Kekasaran permukaan poros (R_{rms}) [5]	: 1,95 \square m
Kekasaran permukaan <i>axle lining</i> impor (R_{rms}) [5]	: 1,471 \square m
Kekasaran permukaan <i>axle lining</i> lokal (R_{rms}) [5]	: 5,252 \square m
Kekerasan permukaan babbitt [5]	: 5,97 HB
Ketebalan lapisan babbitt	: 1614 \square m
<i>axle lining</i> lokal [5]	

Hubungan percepatan dan kecepatan *hydrodynamic* didapatkan dari data pengujian lokrit. Data yang pernah diukur dengan alat ukur yang ada yaitu ketika lokomotif mulai bergerak sampai kecepatan 13km/jam. Hubungan antara percepatan dan kecepatan *hydrodynamic* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 Grafik V_{hd} dan percepatan lokomotif

Dengan memasukan data dan variasi celah dan kekasaran permukaan *axle lining*, kemudian disubstitusikan pada persamaan 13, maka didapatkan umur *axle lining* seperti pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil perhitungan umur dengan berbagai variasi

Variasi	Alternatif	Parameter		Putaran poros roda, N (rpm)	V_{hd} (km/jam)	Umur (hari)
		Kekasaran, R_{rms} (mm)	clearance, C(in)			
clearance	1	5.252	0.005	23	4	320
	2	5.252	0.006	25	4	320
	aktual	5.252	0.007	27	5	257
	3	5.252	0.008	30	5	257
	4	5.252	0.009	31	5	257
Kekasaran permukaan	5	5.252	0.01	33	6	186
	6	1.5	0.007	9	2	640
	7	2	0.007	10	2	640
	8	3	0.007	14	2	640
	9	4	0.007	20	3	429
Kombinasi	aktual	5.252	0.007	27	5	257
	10	6	0.007	32	6	186
	11	1.5	0.006	8	1	1302
	12	2	0.006	9	2	640
	13	3	0.006	13	2	640
	14	4	0.006	18	3	429
15	6	0.006	29	5	257	

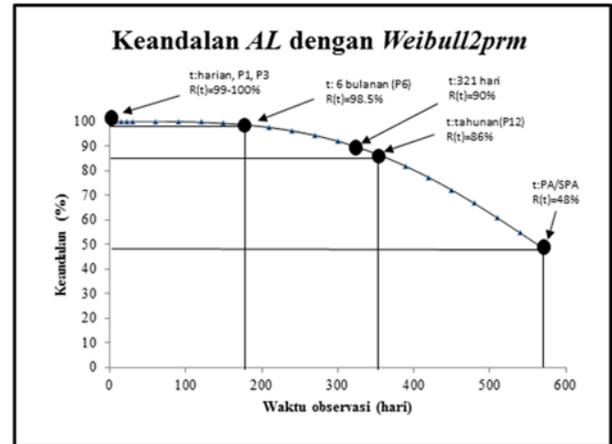
Dari Tabel 2 terlihat bahwa pengaruh celah lebih signifikan dibandingkan kekasaran permukaan. Jika kondisi aktual *axle lining* lokal hanya berumur 257 hari, maka untuk meningkatkannya dapat dilakukan dengan mengubah celah dan atau kekasaran permukaan. Umur terbaik sampai 1302 hari dapat dicapai apabila celah dibuat menjadi 0.006in dan kekasaran permukaan 1.5 μ m.

Kesimpulan

Keandalan *axle lining* lokomotif CC201 dan CC203 lokal mengikuti persamaan;

$$R(t) = \exp[-(t * 0,0016)^{3,367}]$$

Karakteristik keandalan *axle lining* lokal ditunjukkan pada grafik berikut,



Axle lining Lokomotif CC201 dan CC203 mencapai daerah pelumasan *hydrodynamic* pada kecepatan (V_{hd}) 5 km/jam dan percepatan (a_{hd}) 0.143 m/s².

Parameter yang berpengaruh pada umur *axle lining* adalah V_{hd} , a_{hd} , celah, kekasaran permukaan, beban W , kekerasan permukaan *babbit* H , *volumetric* aus v_{aus} , koefisien aus k , waktu penggantian *axle lining* t_p , jarak lokrit S . ekspresikan parameter terhadap umur pakai *axle lining* mengikuti persamaan;

$$Umur AL = \frac{3,6^2 * H * a_{hd} * v_{aus} * S * t_p}{13 * k * W * V_{hd}^2 * 325000}$$

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada PT. Kereta Api Indonesia (Persero) yang telah memfasilitasi pengambilan data mengenai *axle lining* dan Institut Teknologi Bandung yang meminjamkan berbagai fasilitas selama penelitian.

Referensi

- [1] A.A. Rachmat, Analisis keandalan pada *axle lining* lokomotif CC201 dan CC203, Tesis Magister ITB 2010, Bandung, 2010.
- [2] R. Firmansyah, Perhitungan dan analisis performansi *journal bearing* pada lokomotif CC201 dan CC203 terhadap beban impak menggunakan metode Raimondi dan Boyd dengan pemograman komputer Visual basic, Tugas akhir sarjana ITB 2004, Bandung, 2004.
- [3] PT. Kereta Api (Persero), www.kereta-api.co.id/sumberdaya/sarana/, 2010.
- [4] I.G.N.W. Puja, Penelitian, pengembangan dan pengujian prototipe *axle lining* untuk lokomotif, *International conference*, Bali, 2006.
- [5] PT. Kereta Api (Persero), Modul P2S kerusakan *axle lining*, Bandung, 2002.
- [6] M. Saptadi, Studi pengujian *axle lining* skala Laboratorium, Tugas akhir sarjana ITB 2004, Bandung, 2004.
- [7] Sutantyo, Studi teknologi pelapisan babbit pada paduan tembaga, Tugas akhir sarjana ITB 2005, Bandung, 2005.
- [8] R. Surachman, Penelitian dan pengembangan *journal bearing* tahan beban impak: aplikasi pada *axle lining* lokomotif, Penelitian Hibah Bersaing 2004-2005, Bandung, 2005.
- [9] S.S. Rao, Reliability-based design, McGraw-Hill, Inc., America, 1992.
- [10] Ludema, K. C. Friction, wear, lubrication. CRC Press, 1996.
- [11] Budiwantoro, B. Aplikasi metode Raimondi dan Boyd pada perbandingan analisis performansi *journal bearing* lokomotif yang mengalami beban impak, 2006