

# UJI COBA PROFIL AUS UNTUK MENGURANGI KEAUSAN FLENS RODA GERBONG KKBW KA BABARANJANG

Dahlan<sup>(1)</sup> dan Satryo Soemantri B.<sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup>Mahasiswa Magister Teknik Perkeretaapian ITB

<sup>(2)</sup>Lab. Perancangan Mesin ITB

## Ringkasan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan profil tapak roda dari profil konis 1:40 menjadi profil aus ORE S 1002 terhadap laju keausan roda gerbong KKBW KA Babaranjang. Pada awal uji coba dilakukan pengukuran ride index untuk mengetahui dampak penggantian profil tapak roda terhadap kualitas pengendaraan. Nilai ride index – horisontal maupun vertikal – gerbong uji coba ternyata lebih baik daripada nilai ride index gerbong pembanding. Laju keausan roda gerbong uji coba jauh lebih rendah dibanding laju keausan roda gerbong pembanding. Umur pakai roda gerbong pembanding sekitar 40 bulan (jarak tempuh ± 458.182 km), sedangkan umur pakai roda gerbong uji coba diperkirakan mencapai 80 bulan (jarak tempuh ± 916.364 km).

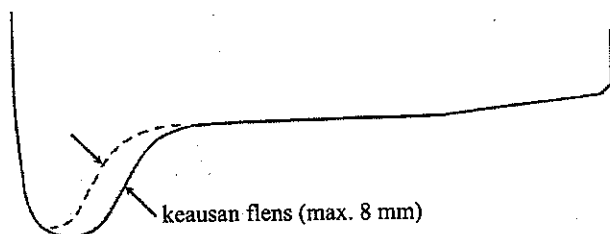
## Abstract

This research aims at finding out the impact of the change of wheel-tread profile from conical profile of 1:40 to worn profile of ORE S 1002 against the wheel wear rate of the cars. To find out the impact of the change of the wheel-tread profile on the ride quality, ride index is measured at the initial stage of the test. The result shows that the ride index value – horizontal as well as vertical – of the test car is better than that of the reference cars. The wheel wear rate of the test car with worn profile is much lower than that of the reference cars. The lifetime of the reference cars' wheels is around 40 months (± 458,182 km), while the test car with worn profile is estimated to reach 80 months (± 916,364 km).

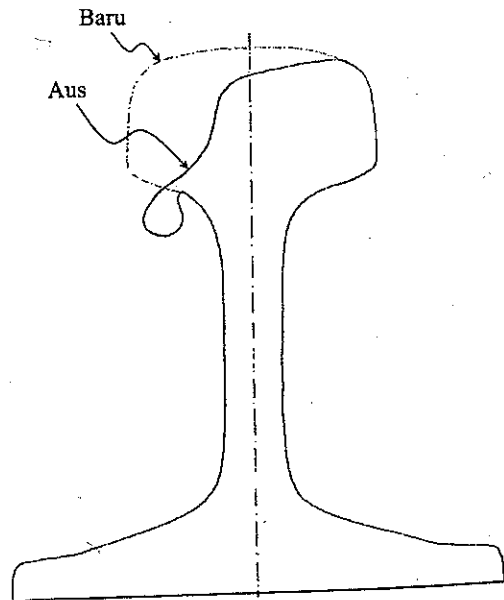
**Key words:** wheel, rail, wear, conical profile, worn profile.

## 1. PENDAHULUAN

Berdasarkan pengamatan di lapangan, keausan roda dan rel di Divisi Regional III Sumatera Selatan PT Kereta Api (Persero) masih berlangsung dengan cepat. Bagian roda yang paling cepat aus ialah flens roda KA Babaranjang (Gambar 1). Keausan rel yang sangat cepat (Gambar 2) dialami oleh rel-luar pada tikungan yang tajam (radius < 300 m), terutama rel-luar loop RCD (Rotary Car Dumper) I, stasiun pembongkaran batubara di Tarahan. Roda dan rel digolongkan cepat aus jika km pakai roda – jarak yang ditempuh mulai dipakai sampai harus diganti karena diameternya telah mencapai diameter minimum yang diperbolehkan – kurang dari 600.000 km dan gross passing tonnage rel kurang dari 216 MGT (million gross tonne) [1].



Gambar 1 Keausan flens roda



Gambar 2 Keausan rel-luar loop RCD I

Keausan roda dan rel yang berlebihan akan menurunkan keandalan (reliability) dan ketersediaan (availability) sarana dan prasarana, menambah biaya perawatan sarana dan prasarana, serta memperbesar kemungkinan

terjadinya peristiwa keluar rel (*derailment*). Karena itu, upaya pemecahan masalah tersebut perlu terus dilakukan dengan cara yang efisien dan efektif.

Penelitian ini bertujuan untuk 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. Metode penelitian yang akan dipakai ialah uji coba di lapangan.

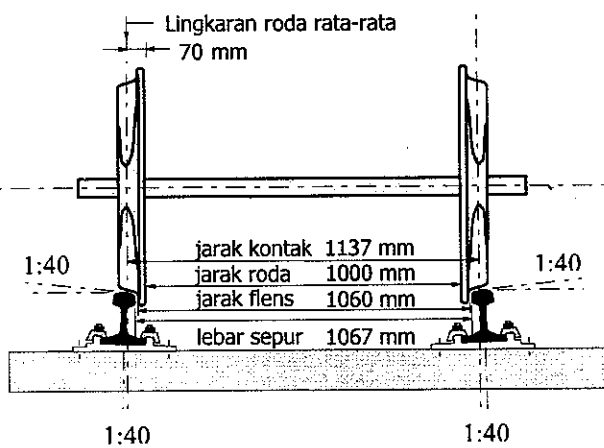
## 2. KONTAK RODA DENGAN REL

Peristiwa kontak gelinding roda baja di atas jalan rel adalah sebuah fenomena khas pada kendaraan rel dan menjadi dasar guna memahami perilaku sistem kendaraan rel, baik di jalan lurus maupun di tikungan. Seluruh gaya untuk menghentikan, memberangkatkan, menyangga, dan memandu kendaraan rel diteruskan melalui kontak roda-rel.

### 2.1 Prinsip Dasar Panduan Rel Terhadap Roda

Prinsip dasar panduan rel terhadap roda adalah sebagai berikut (Gambar 3):

- Perangkat roda terdiri atas sepasang roda yang terpasang secara kaku pada sebuah gandar.
- Tapak roda berbentuk konis, sehingga sewaktu perangkat roda berjalan melalui jalan lurus timbul gerak sinusoidal. Bentuk konis mempermudah perangkat roda melewati tikungan dan mengurangi keausan.
- Flens roda mencegah terjadinya peristiwa keluar rel.

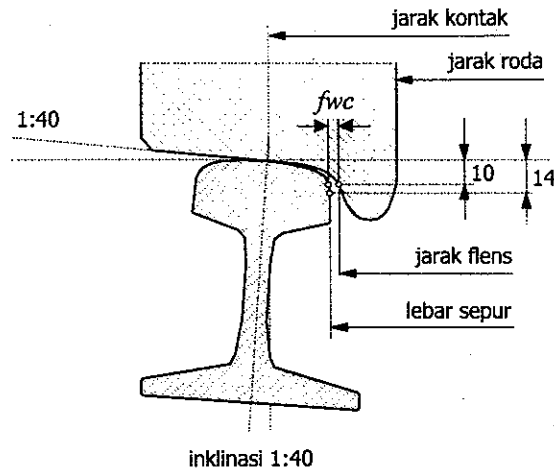


Gambar 3 Dimensi utama perangkat roda

### 2.2 Dimensi Jalan Rel dan Perangkat Roda

Istilah lebar sepur (*track gauge*) dipakai sebagai ukuran dari jarak antara sisi dalam kepala rel, diukur pada jarak 14 mm di bawah permukaan atas kepala rel (Gambar 4). Pemilihan jarak 14 mm dimaksudkan untuk menghindari pengaruh keausan tepi atau keausan lateral pada kepala rel yang berjari-jari 13 mm. Jaringan jalan rel kereta api di Indonesia saat ini seluruhnya memakai sepur sempit (*narrow gauge*), lebar sepur 1067 mm.

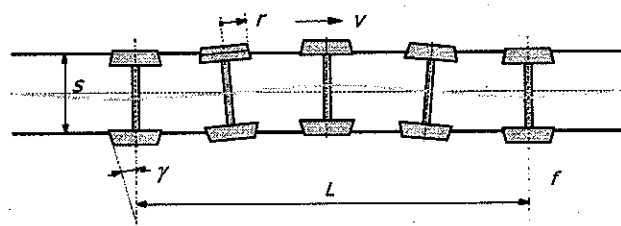
Rel dipasang miring ke dalam, sesuai dengan konisitas tapak roda, agar beban pada rel terletak di tengah-tengah kepala rel. Inklinasi rel yang banyak dipakai ialah 1:20 dan 1:40. Inklinasi jalan rel dan konisitas tapak roda kereta api Indonesia adalah 1:40.



Gambar 4 Pasangan roda dan rel

### 2.3 Gerak Sinusoidal

Sebagai konsekwensi dari bentuk konis tapak roda, pada jalan lurus perangkat roda bergerak secara sinusoidal, meliuk-liuk seperti ular (*snake motion*) sepanjang rel (Gambar 5). Adanya kelonggaran antara flens roda dengan sisi dalam kepala rel memungkinkan perangkat roda bergeser pada arah lateral.



Gambar 5 Gerak sinusoidal perangkat roda

Panjang gelombang lintasan gerak sinusoidal perangkat roda:

$$L = 2\pi \sqrt{\frac{rs}{2\gamma}} \quad (1)$$

dan frekwensi gerak sinusoidal diperoleh dari hubungan:

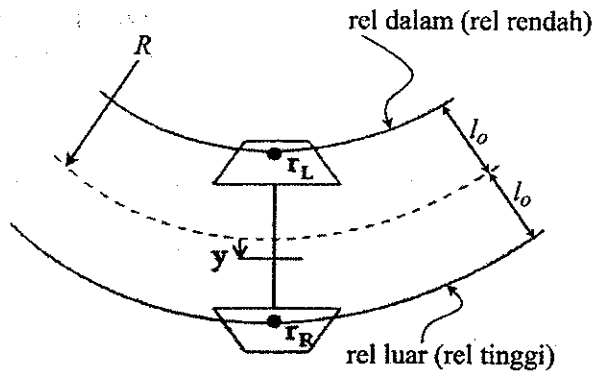
$$f = \frac{v}{L} \quad (2)$$

dengan:

- $\gamma$  = konisitas tapak roda
- $r$  = radius roda pada kedudukan tengah
- $s$  = jarak antartitik kontak roda-rel
- $v$  = kecepatan perjalanan perangkat roda

### 2.4 Lintasan Gelinding Kesetimbangan

Pada saat perangkat roda melalui tikungan, roda kiri dan roda kanan menempuh jarak yang berbeda. Lintasan rel luar lebih panjang daripada lintasan rel dalam. Perangkat roda cenderung bergeser ke arah rel luar, sehingga timbul perbedaan radius gelinding antara roda kiri dengan roda kanan. Jika perbedaan panjang lintasan akibat perbedaan radius gelinding roda persis sama dengan perbedaan panjang lintasan rel, maka perangkat roda akan menjalani tikungan dengan menggelinding sempurna. Posisi lateral perangkat roda yang terjadi dinamakan lintasan gelinding kesetimbangan (Gambar 6). Pada posisi ini berlaku hubungan:



Gambar 6 Perangkat roda menggelinding di tikungan

$$\frac{R+l_0}{r_R} = \frac{R-l_0}{r_L} \quad (3)$$

dan

$$r_R = r + \gamma y \quad ; \quad r_L = r - \gamma y \quad (4)$$

dengan:

$l_0$  = separuh jarak antartitik kontak roda-rel (=  $\frac{1}{2} s$ )

$R$  = radius tikungan

$r_R$  = radius gelinding roda kanan

$r_L$  = radius gelinding roda kiri

$\gamma$  = konisitas tapak roda

Dari persamaan (3) dan (4) diperoleh pergeseran lateral  $y$  yang dibutuhkan untuk mencapai lintasan gelinding kesetimbangan:

$$y = \frac{r l_0}{\gamma R} \quad (5)$$

Seandainya perangkat roda berpindah pada arah lateral sejauh  $y$  dari posisi tengah, maka timbul perbedaan radius gelinding antara roda kiri dengan roda kanan sebesar  $2\gamma y$ . Perbedaan radius gelinding yang diperlukan agar terjadi peristiwa menggelinding murni sewaktu perangkat roda melalui tikungan dengan radius  $R$  adalah:

$$\Delta r = \frac{2r l_0}{R} \quad (6)$$

Pergeseran lateral perangkat roda dibatasi oleh flens roda,  $y \leq \frac{1}{2} fwc$ , sehingga perbedaan radius gelinding maksimum yang dapat dihasilkan adalah:

$$\Delta r_{\max} = 2\gamma y_{\max} = \gamma fwc \quad (7)$$

### 2.5 Posisi Perangkat Roda, Gaya Pengarah, dan Sudut Serang di Tikungan

Pada jalan lurus atau tikungan dengan radius yang besar, flens roda tidak berkontak dengan sisi dalam kepala rel, kecuali bila muncul gejala *hunting*. Hal ini disebabkan oleh adanya kelonggaran flens roda-rel dan gerak sinusoidal perangkat roda.

Kontak antara flens roda dengan sisi dalam kepala rel secara kontinu terjadi sewaktu bogie kaku sedang melewati sebuah lengkungan yang tajam. Umumnya terdapat dua kondisi posisi bogie, yaitu jalan bebas dan jalan merapat/mepet. Jalan bebas terjadi bila roda depan menempel pada sisi dalam kepala rel luar, sedangkan roda belakang dapat bebas, tidak menyentuh sisi dalam kepala rel (Gambar 7). Jalan mepet terjadi bila roda depan menempel pada sisi dalam kepala rel luar dan roda belakang menyentuh sisi dalam kepala rel dalam. Jika

timbul gaya sentrifugal yang sangat besar, roda depan maupun roda belakang akan menyentuh sisi dalam kepala rel luar. Peristiwa ini disebut jalan tali busur luar.

Jalan bebas terjadi kalau syarat berikut terpenuhi (sebaliknya, jalan merapat):

$$a < \sqrt{2R(fwc + e)} \quad (8)$$

dengan:

$a$  = jarak gandar bogie (*wheelbase*)

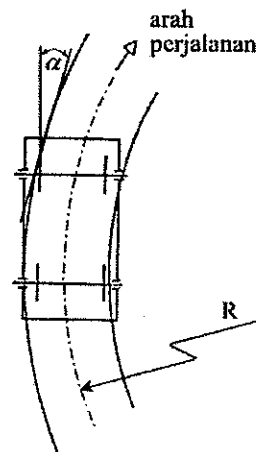
$R$  = radius tikungan

$fwc$  = kelonggaran flens roda-rel

$e$  = pelebaran sepur

Misalnya, gerbong KKBW KA Babarajang dengan:  $a = 1676$  mm,  $fwc = 8$  mm, dan  $e = 0$  (tanpa pelebaran sepur), maka radius tikungan terkecil  $R_{\min}$  yang memungkinkan berlangsungnya posisi jalan bebas adalah 176 m. Radius minimum jalan rel di *loop* RCD 1 Tarahan adalah 160 m. Karena itu, pelebaran sepur dan/atau penambahan kelonggaran flens roda-rel harus dilakukan supaya tidak terjadi posisi jalan merapat yang dapat mempercepat keausan roda dan rel.

Berlainan dengan mobil, kendaraan rel tidak dilengkapi dengan setir untuk membelok. Pada tikungan dengan radius yang besar perangkat roda membelok karena gaya *creep* yang bekerja pada tapak roda. Pada tikungan yang tajam perangkat roda dapat membelok karena "dipaksa" oleh rel. Gaya yang memaksa perangkat roda membelok dinamakan gaya pengarah (*directive force*), yaitu gaya reaksi rel pada arah horisontal atau lateral terhadap flens roda yang menekan sisi dalam kepala rel.



Gambar 7 Sudut serang dan posisi jalan bebas perangkat roda di tikungan

Pada Gambar 8, di titik A bekerja gaya normal  $N$  terhadap flens roda. Gaya pengarah  $P$  merupakan komponen horisontal dari gaya normal  $N$ :

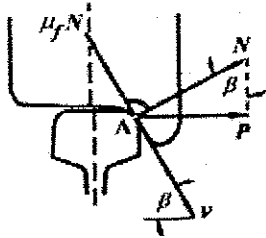
$$P = N \sin \beta \quad (9)$$

dengan  $\beta$  adalah sudut kemiringan flens roda terhadap bidang horisontal (umumnya 60% - 70%).

Gerak rotasi flens roda terhadap sumbu gandar perangkat roda menyebabkan flens roda memiliki kecepatan luncur  $v$  di titik A. Gaya normal  $N$  menimbulkan gaya gesek  $F$  pada flens roda yang arahnya berlawanan dengan arah kecepatan luncur  $v$ .

$$F = \mu_f N = \mu_f \frac{P}{\sin \beta} \quad (10)$$

dengan  $\mu_f$  adalah koefisien gesek antara flens roda dengan sisi dalam kepala rel.



Gambar 8 Gaya pengaruh pada flens roda

Ketika sebuah bogie kaku melalui sebuah tikungan, arah perjalanan perangkat roda dan garis singgung pada lengkungan jalan rel membentuk sudut sebesar  $\alpha$  (Gambar 7), yang disebut sudut serang (*angle of attack*):

$$\sin \alpha = \frac{a}{2R} \quad (11)$$

Sudut serang  $\alpha$  tidak boleh lebih dari  $2^\circ$  guna mencegah terjadinya peristiwa keluar rel.

Gaya gesek  $F$  dan sudut serang  $\alpha$  mengakibatkan keausan flens roda dan sisi dalam kepala rel. Vogel [2] merumuskan hasil kali antara gaya pengaruh  $P$  dengan sudut serang  $\alpha$  sebagai nilai karakteristik  $C_a$ :

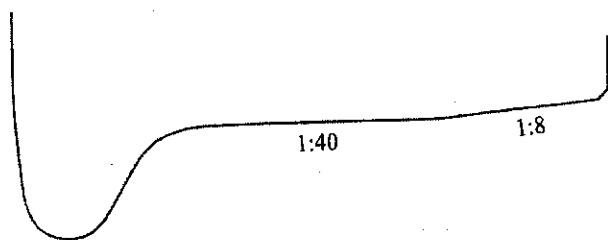
$$C_a = P\alpha \quad (12)$$

yang menyatakan tingkat keausan flens roda. Gaya pengaruh  $P$  mewakili gaya gesek  $F$  pada persamaan 10.

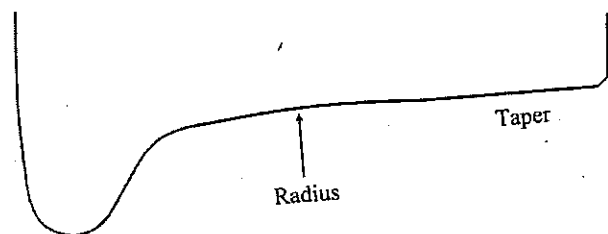
### 3. PROFIL AUS

#### 3.1 Ciri Khas

Profil tapak roda dapat dibagi menjadi dua tipe, yaitu profil konis (*conical profile*) dan profil aus (*worn profile*). Kereta api Indonesia, hingga saat ini, hanya mempergunakan profil konis 1:40 (Gambar 9). Ciri khas profil aus ialah adanya radius atau cekungan pada bagian tengahnya (Gambar 10).



Gambar 9 Kontur profil roda kereta api Indonesia



Gambar 10 Kontur dasar profil aus

Desain profil aus tergantung pada profil dan inklinasi rel. Untuk rel standar UIC, profil aus yang banyak dipakai adalah profil ORE S 1002 dan profil P8. Profil ORE S 1002 kompatibel dengan rel UIC 54 dan UIC 60  
MESIN Vol. XVII No. 1

inklinasi 1:40 [3, 4], sedangkan profil P8 kompatibel dengan rel UIC 54 dan UIC 60 inklinasi 1:20 [4].

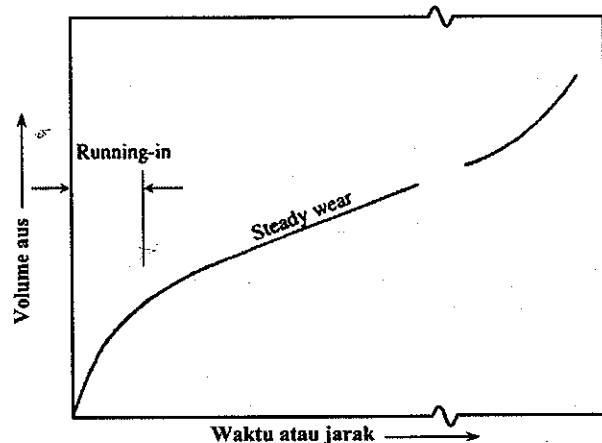
Beberapa parameter desain atau pemilihan profil tapak roda (dan kepala rel) adalah sebagai berikut [5]:

1. Laju keausan roda dan rel
2. Keamanan dari peristiwa keluar rel
3. Kualitas pengendaraan
4. Tegangan kontak roda-rel
5. Kebisingan

#### 3.2 Prinsip Dasar

Sewaktu dua buah benda berbeban berkontak dan bergerak relatif satu sama lain, pada kedua permukaan benda terjadi proses keausan. Awalnya kedua permukaan saling memperbaiki konformansi, topografi, dan kompatibilitas gesekan, yang dikenal sebagai periode *running-in* atau *breaking-in*. Pada periode ini proses keausan berlangsung dengan cepat. Setelah permukaan semakin rata dan halus, laju keausan menurun dan cenderung konstan (*steady wear*) dalam waktu yang cukup lama, seperti yang terlihat pada Gambar 11. Selanjutnya, akibat proses kelelahan, laju keausan kembali meningkat.

Fenomena tersebut dialami pula oleh tapak roda. Menurut penelitian ORE-UIC, setelah periode waktu tertentu keausan profil roda cenderung stabil pada konisitas ekuivalen antara 0,2 s/d 0,3 [3]. Kondisi *steady wear* inilah yang menjadi prinsip dasar desain profil aus.



Gambar 11 Perilaku laju keausan selama masa pakai sebuah komponen [6]. Mula-mula laju keausan cepat (periode *running-in*), kemudian menurun dan cenderung konstan (*steady wear*), lalu kembali naik akibat kelelahan.

#### 3.3 Konisitas Ekuivalen

Pada profil konis, konisitas tapak roda konstan sepanjang bidang kontak. Panjang gelombang gerak sinusoidal hanya ditentukan oleh konisitas tapak roda, tidak tergantung pada pergeseran lateral perangkat roda, asalkan flens roda tidak menyentuh sisi dalam kepala rel. Pada profil aus konisitas tapak roda tidak konstan. Panjang gelombang gerak sinusoidal tergantung pada pergeseran lateral perangkat roda  $y$ .

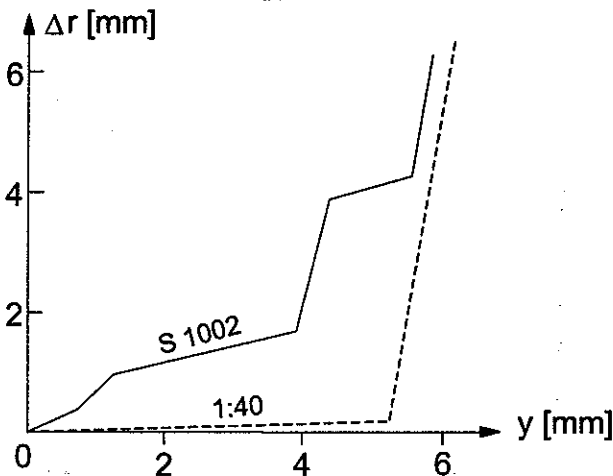
Konisitas ekuivalen atau konisitas efektif digunakan sebagai pendekatan perbandingan karakteristik profil aus

dengan profil konis. Pada konisitas ekuivalen yang sama, panjang dan amplitudo gelombang gerak sinusoidal yang dihasilkan oleh profil aus dan profil konis sama. Konisitas ekuivalen,  $\gamma_e$  didefinisikan sebagai laju perubahan perbedaan radius gelinding terhadap pergeseran lateral perangkat roda:

$$\gamma_e = \frac{\Delta r}{2y} = \tan \delta \frac{R_1'}{R_1' - R_2'} \quad (13)$$

dengan  $\delta$  adalah sudut kontak roda-rel.

Persamaan (13) juga berlaku untuk profil konis. Radius melintang tapak roda berprofil konis adalah tak terhingga,  $R_1' = \infty$ , sehingga  $\gamma_e = \tan \delta = \gamma$ .



Gambar 12 Kurva perbedaan radius gelinding pada pasangan profil aus ORE S 1002 dan profil konis 1:40 dengan rel UIC 54 inklinasi 1:40 [3, 7]

Kurva hubungan perbedaan radius gelinding  $\Delta r$  dengan pergeseran lateral perangkat roda  $y$  untuk profil aus ORE S 1002 dan profil konis 1:40 pada rel UIC 54 inklinasi 1:40 ditampilkan dalam Gambar 12. Pada pergeseran lateral yang sama, profil aus menghasilkan perbedaan radius gelinding yang jauh lebih besar daripada profil konis. Sifat ini perlu agar perangkat roda dapat menjalani tikungan dengan menggelinding sempurna (lihat 2.4).

Konisitas ekuivalen profil konis – umumnya 1:20 atau 1:40 – hanya bisa ditinggikan dengan cara memperbesar sudut kontak  $\delta$ . Sebaliknya, dengan sudut kontak yang kecil konisitas ekuivalen profil aus bisa bervariasi, tergantung pada jari-jari melintang tapak roda dan kepala rel.

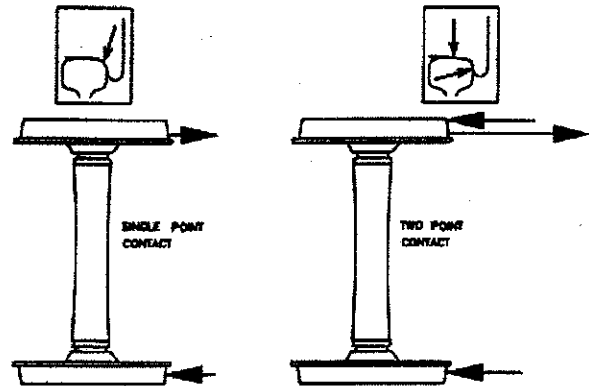
Konisitas ekuivalen harus lebih kecil dari 0,4 supaya kendaraan rel dapat berjalan dengan stabil dan lebih besar dari 0,1 supaya timbul efek pemusatan (*centering force*) yang memadai pada perangkat roda di jalan lurus [3].

### 3.4 Keuntungan Pemakaian Profil Aus

Keuntungan pemakaian profil aus dibanding profil konis antara lain:

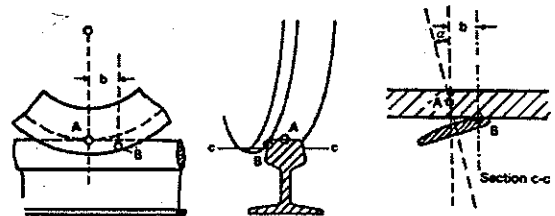
#### a. Laju Keausan Lateral Lebih Lambat

Hal ini dapat terjadi karena pada profil aus kontak roda-rel luar terjadi pada satu titik dan sudut serang perangkat roda profil aus lebih kecil daripada profil konis. Kontak dua titik (*two-point contact*), yakni kontak antara flens dan tapak roda dengan sisi dalam dan permukaan atas kepala rel luar sewaktu kendaraan rel menjalani sebuah tikungan dapat dihindari oleh profil aus (Gambar 13). Kontak roda-rel luar hanya berlangsung di satu titik (*single point contact*), yaitu antara flens roda dengan sisi dalam kepala rel luar. Kontak satu titik dapat terjadi sebab pada pergeseran lateral perangkat roda yang sama,  $\Delta r$  profil aus jauh lebih besar dibanding profil konis.



Gambar 13 Kontak satu titik vs. kontak dua titik

Pada kontak dua titik terdapat dua radius gelinding yang besarnya berlainan dalam satu roda (Gambar 14). Karena roda tidak dapat berputar dengan dua kecepatan keliling yang berbeda secara bersamaan, maka timbul slip antara roda dengan rel. Flens roda berperilaku seperti sebuah cakram gerinda. Akibatnya, timbul keausan lateral yang cepat, baik pada flens roda maupun sisi dalam kepala rel luar.



Gambar 14 Peristiwa roda menggerinda rel pada kontak dua titik

Sudut serang perangkat roda profil aus lebih kecil dari profil konis karena profil aus mampu menghasilkan perbedaan radius gelinding yang cukup supaya terjadi peristiwa menggelinding murni.

#### b. Tegangan Kontak Roda-Rel Lebih Kecil

Pada profil aus permukaan bidang kontak (elips) roda-rel lebih luas, sehingga tegangan kontak dan tegangan geser pada kepala rel yang terjadi lebih kecil. Hal ini akan menaikkan kapasitas beban gandar pada rel, mengurangi korugasi rel, menurunkan peluang terjadinya kelelahan, serta mengurangi kedalaman aus. Luas bidang kontak roda-rel untuk pasangan profil konis 1:40 dan rel UIC 54 = 110,316 mm<sup>2</sup>, sedangkan untuk pasangan profil aus ORE S 1002 dan rel UIC 54 = 221,436 mm<sup>2</sup>.

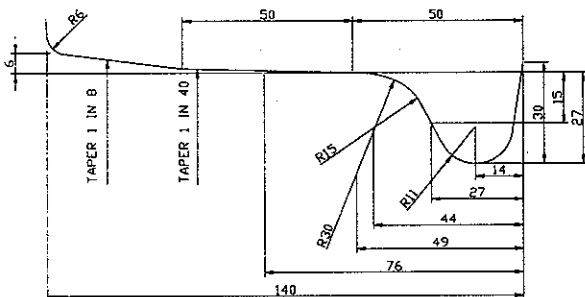
**c. Keausan Permukaan Atas Kepala Rel Lebih Merata**

Pada profil konis titik kontak pada permukaan atas rel tetap, tidak berpindah-pindah. Dampaknya, keausan kepala rel terkonsentrasi di satu titik, yakni pada puncak kepala rel. Pada profil aus titik kontak pada rel berpindah-pindah, sehingga tingkat keausan pada permukaan atas kepala rel lebih merata.

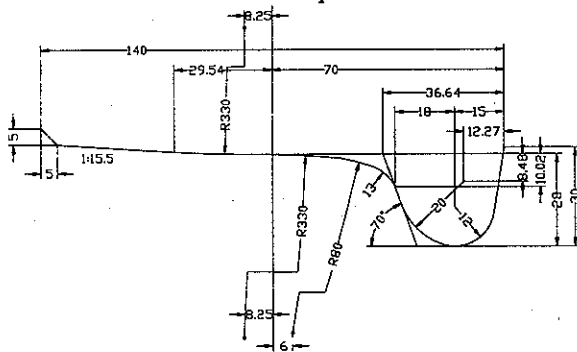
**4. UJI COBA PROFIL AUS**

**4.1 Pembuatan Mal Mesin Bubut Roda**

Perubahan profil tapak roda dari profil konis (Gambar 15) menjadi profil aus ORE S 1002 (Gambar 16) hanya memerlukan penggantian mal (*template*) mesin bubut roda.



Gambar 15 Dimensi profil konis 1:40



Gambar 16 Dimensi profil aus ORE S 1002

**4.2 Metode Pengukuran Ride Index**

Konisitas profil aus lebih besar daripada profil konis, sehingga pemakaian profil aus cenderung menurunkan kualitas pengendalian (*ride quality*). Untuk mengetahui dampak pemakaian profil aus dan pemasangan elastomer terhadap kualitas pengendalian, maka pada awal uji coba perlu dilakukan pengukuran *ride index* pada kondisi gerbong tak bermuatan dan petak jalan yang datar, lurus, serta dalam kondisi baik.

Nilai *ride index* horisontal (*lateral*) dan vertikal dihitung berdasarkan formula E. Sperling dan metode yang dikembangkan oleh J. L. Koffman. Rumus *ride index* horisontal  $R_h$  dan *ride index* vertikal  $R_v$ :

$$R_h = 0,89610 \sqrt{\frac{a_h^3}{f_h}} \quad (14)$$

$$R_v = 0,89610 \sqrt{\frac{a_v^3}{f_v}} \quad (15)$$

dengan:

$a_h$  = akselerasi getaran horisontal ( $cm/s^2$ )

$f_h$  = frekwensi getaran horisontal (Hz)

$a_v$  = akselerasi getaran vertikal ( $cm/s^2$ )

$f_v$  = frekwensi getaran vertikal (Hz)

Kualifikasi kualitas pengendalian berdasarkan nilai *ride index*:

- 1,0 – 1,5 = Istimewa (*very good*)
- 1,5 – 2,0 = Hampir istimewa (*almost very good*)
- 2,0 – 2,5 = Bagus (*good*)
- 2,5 – 3,0 = Hampir bagus (*almost good*)
- 3,0 – 3,5 = Cukup (*satisfactory*)
- 3,5 – 4,0 = Hampir cukup (*just satisfactory*)
- 4,0 – 4,5 = Dapat diterima (*tolerable*)
- 4,5 – 5,0 = Tak dapat diterima (*not tolerable*)
- 5,0 – = Berbahaya (*dangerous in service*)

Untuk gerbong barang, nilai *ride index* maksimum yang diperbolehkan adalah 4,25.

**4.3 Metode Pengukuran Keausan Roda**

Keausan roda dapat diukur dengan cara membandingkan perubahan kontur profil sesudah menempuh jarak tertentu dengan kontur profil standar (baru). Kontur profil roda akan digambar dengan alat penggambar profil roda.

Parameter keausan roda yang lazim diukur yakni:

- Keausan flens roda
- Keausan tapak roda
- Pertambahan tinggi flens roda

Dalam penelitian ini hanya keausan flens roda yang akan dibandingkan sebab keausan tersebut yang terjadi secara berlebihan pada KA Babaranjang.

**4.4 Karakteristik Gerbong Percobaan**

Gerbong percobaan terdiri atas: satu gerbong uji coba profil aus, serta dua gerbong biasa sebagai pembanding. Karakteristik gerbong percobaan diperlihatkan dalam Tabel 1.

Tabel 1 Karakteristik Gerbong Percobaan

No. Gerbong	Profil Tapak Roda	Jarak Roda	Kelonggaran Flens Roda-Rel	Keterangan
KKBW 1432	Konis 1:40	1000 mm	8 mm	Pembanding
KKBW 1433	Konis 1:40	990 mm	18 mm	Pembanding
KKBW 1436	Aus S 1002	992 mm	10 mm	+ Elastomer

Standar PT KA: - Jarak roda = 1000 mm  
- Kelonggaran flens-roda rel = 8 mm

Ketiga gerbong uji coba harus memenuhi persyaratan berikut supaya keausan rodanya dapat dibandingkan:

- Kekerasan rodanya sama (Kekerasan roda gerbong percobaan: kelas C AAR, 321-363 BHN)
- Mempergunakan bogi yang sejenis (Gerbong percobaan memakai bogie *three-piece* konvensional Barber S-2-B AAR)
- Jarak tempuh dan lintas operasinya sama (Gerbong percobaan dioperasikan dalam satu rangkaian)

Pengaruh elastomer terhadap keausan roda belum sempat diteliti secara khusus.

Penambahan kelonggaran flens roda-rel dari 8 mm menjadi 10 mm pada KKBW 1436 dimaksudkan untuk menghindari posisi jalan merapat di *loop* RCD I. Dari persamaan (18) dengan: jarak gandar  $a = 1676$  mm, kelonggaran flens roda-rel  $f_{wc} = 8$  mm, dan pelebaran sepur  $e = 0$ , diperoleh radius tikungan terkecil  $R_{min}$  yang memungkinkan berlangsungnya posisi jalan bebas adalah 176 m. Jika  $f_{wc} = 10$  mm dan  $e = 0$ , maka  $R_{min} = 141$  m. Radius minimum *loop* RCD I adalah 160 m, jadi perangkat roda dapat melalui *loop* RCD I dengan posisi jalan bebas, tanpa pelebaran sepur.

#### 4.5 Hasil dan Pembahasan

##### 4.5.1 Ride Index

Pengukuran *ride index* dilaksanakan pada tanggal 23 November 2000 di lintas Lahat – Muaraenim. Nilai *ride index* horisontal dan vertikal gerbong percobaan diberikan dalam Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Perhitungan Nilai *Ride Index*

No. Gerbong	Kecepatan	NILAI RIDE INDEX			
		HORIZONTAL		VERTIKAL	
		$R_h$	Kualifikasi	$R_v$	Kualifikasi
KKBW 1432	55 km/h	3,67	Hampir cukup	3,69	Hampir cukup
	70 km/h	3,61	Hampir cukup	3,93	Hampir cukup
KKBW 1433	55 km/h	3,45	Cukup	3,77	Hampir cukup
	70 km/h	3,48	Cukup	3,92	Hampir cukup
KKBW 1436	55 km/h	3,17	Cukup	3,49	Cukup
	70 km/h	3,32	Cukup	3,75	Hampir cukup

Pada Tabel 2 tampak bahwa nilai *ride index* ketiga gerbong percobaan masih lebih kecil dari nilai *ride index* maksimum yang diperbolehkan. Nilai *ride index* gerbong uji coba profil aus (KKBW 1436) ternyata lebih baik daripada nilai *ride index* kedua gerbong pembandingan.

Dengan demikian gerbong uji coba profil aus laik dioperasikan. Selanjutnya gerbong ini akan disisipkan ke dalam rangkaian KA Babarpanjang untuk mengetahui pengaruh penerapan profil aus terhadap laju keausan roda.

##### 4.5.2 Keausan Roda

Pengukuran keausan roda gerbong percobaan yang beroperasi sejak tanggal 25 November 2000 dilaksanakan pada tanggal 15 Februari 2001 (2,5 bulan, jarak tempuh ± 28.636 km) di Tarahan dan pada tanggal 2 Mei 2001 (5 bulan, jarak tempuh ± 57.273 km) di Tanjungenim Baru. Hasil pengukuran keausan roda ditampilkan dalam Tabel 3.

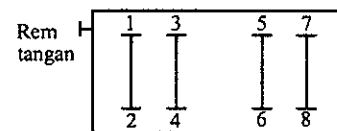
Dalam Tabel 3 tampak bahwa keausan flens roda gerbong uji coba profil aus (KKBW 1436) jauh lebih sedikit daripada keausan flens roda kedua gerbong pembandingan. Laju keausan maksimum flens roda gerbong pembandingan rata-rata 1 mm/bulan, sedangkan KKBW 1436 rata-rata 0,4 mm/bulan, sehingga umur pakai roda KKBW 1436 diperkirakan 2½ kali umur pakai roda gerbong pembandingan. KKBW 1436 baru mengalami keausan yang signifikan pada roda no. 8. Hal

ini kemungkinan akibat pembubutan awal yang kurang sempurna, sebab pada pengukuran yang kedua keausannya belum mengalami peningkatan. Penambahan  $f_{wc}$  pada KKBW 1433 tidak banyak pengaruhnya terhadap keausan flens roda; tidak terdapat perbedaan keausan yang berarti di antara kedua gerbong pembandingan.

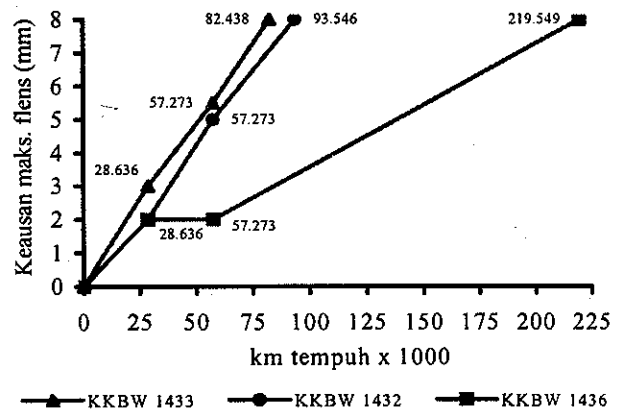
Tabel 3 Hasil Pengukuran Keausan Flens Roda

No. Gerbong	Jarak Tempuh	Keausan Flens Roda (mm)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	Maks.	
KKBW 1432	28.636 km	1,0	1,0	0	1,5	1,0	1,5	0	2,0	2,0	
	57.273 km	1,5	1,5	2,0	4,5	2,0	2,5	2,0	5,0	5,0	
KKBW 1433	28.636 km	0	2,0	3,0	1,0	0	1,0	3,0	1,5	3,0	
	57.273 km	0	4,0	5,5	3,0	0	1,0	4,0	2,5	5,5	
KKBW 1436	28.636 km	0	0	0	0,5	0	0	0	2,0	2,0	
	57.273 km	0	0	1,0	0,5	0	0	0	2,0	2,0	

Susunan roda:



Grafik keausan maksimum flens roda gerbong percobaan ditampilkan pada Gambar 17. Jarak tempuh pada keausan 8 mm diperoleh dengan metode regresi linier. Untuk WPG (Waktu Peredaran Gerbong, yakni total waktu edar rangkaian KA sejak dimuati sampai kembali lagi dimuati) 2,2 hari, jarak tempuh gerbong percobaan per bulan =  $30/2,2 \times 2 \times 420$  km = 11.455 km. Periode pembubutan ulang/reprofil roda gerbong pembandingan kira-kira 8 bulan; sementara KKBW 1436 lebih dari 19 bulan.



Gambar 17 Grafik keausan maksimum flens roda gerbong percobaan (km tempuh pada keausan flens 8 mm diperoleh dengan metode regresi linier).

Jika keausan flens roda sudah mencapai 8 mm, roda perlu dibubut, hingga profilnya kembali seperti profil standar. Bila diameter roda telah melampaui diameter minimum yang diizinkan, roda tidak dapat lagi dibubut ulang, tetapi harus diganti dengan roda baru. Diameter roda baru gerbong KKBW KA Babarpanjang adalah 850 s/d 860 mm, sedangkan diameter minimum yang diizinkan adalah 730 mm. Pengurangan diameter roda setiap reprofil kira-kira 25 mm, sehingga diameter minimum roda tercapai sesudah 4 kali reprofil.

Jika periode reprofil roda gerbong pembanding dan KKBW 1436 masing-masing 8 dan 16 bulan, maka umur pakai roda gerbong pembanding sekitar 40 bulan ( $\pm 458.182$  km), sedangkan KKBW 1436 sekitar 80 bulan ( $\pm 916.364$  km). Dengan demikian, km pakai roda gerbong profil aus telah melampaui batasan roda cepat aus (600.000 km).

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil uji coba yang telah dilakukan oleh penulis bersama tim PT Kereta Api dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Perubahan profil tapak roda dari profil konis 1:40 menjadi profil aus ORE S 1002, serta pemasangan elastomer di antara *frame adapter* dan rangka samping bogie dapat memperpanjang umur pakai roda gerbong KKBW KA Babaranjang, dari 40 bulan (jarak tempuh  $\pm 458.182$  km) menjadi 80 bulan (jarak tempuh  $\pm 916.364$  km).
2. Dari peningkatan umur pakai roda tersebut akan dapat diperoleh penghematan.

### 5.2 Saran

1. Gerbong percobaan sebaiknya dipantau secara berkala agar umur pakai roda dapat dipastikan.
2. Uji coba profil aus dan elastomer pada gerbong yang berlainan perlu dilakukan supaya pengaruhnya terhadap laju keausan roda dan kualitas pengendalian secara tersendiri dapat diketahui. Seandainya elastomer tidak dibutuhkan – karena tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap keausan roda dan nilai *ride index* gerbong profil aus masih dalam batas aman – maka penghematan yang diperoleh akan lebih tinggi.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

1. *Laporan Tim Pemecahan Masalah Roda Cepat Aus di Sumatera Selatan*, Perusahaan Umum Kereta Api, Bandung, 1993.
2. Fastenrath, Fritz (ed.), *Railroad Track: Theory and Practice*, Frederick Ungar Publishing, New York, 1981.
3. Esveld, Coenraad, *Modern Railway Track*, MRT-Production, Duisburg, 1989.
4. Economic and Social Commission for Asia and The Pacific (ESCAP), Bangkok, Thailand, *Training Course On Excessive Rail/Wheel Wear And Derailments For Indian Railways, 7 – 21 January 1989, Pune, India*, United Nations, New York, 1989.
5. Grassie, S. L. (ed.), *Mechanics and Fatigue in Wheel/Rail Contact*, Elsevier, Amsterdam, 1991.
6. Williams, J. A., *Engineering Tribology*, Oxford University Press, Oxford, 1996.
7. Esveld, Coenraad, *Railway Infrastructure*, Program Magister Teknik Perkeretaapian Institut Teknologi Bandung, Bandung, 2000.