

Simulasi Kecepatan Kereta Api Babaranjang Terhadap Rasio Gaya Lateral dan Vertikal Saat Melewati Jalur Belok

I Made Parwata dan I Putu Lokantara

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Kampus Bukit Jimbaran Bali 80364, Indonesia
E-mail: md_parwata@yahoo.co.uk

Abstrak

Perilaku KA ketika melewati belokan sangat sulit diamati. Padahal perilaku tersebut sangat bermanfaat untuk menganalisa keausan pada roda dan rel, demikian pula untuk mengetahui kestabilan laju arah KA. Pada penelitian ini, diamati kestabilan laju arah KA Babaranjang dengan menggunakan profil roda ORES 1002 dan Rel UIC 54. KA Babaranjang dibuatkan model dinamika dengan bantuan software Universal Mechanism (UM). Model yang dibuat adalah satu kendaraan rel melalui dan jalur belok. Selanjutnya, model ini disimulasikan dengan berbagai kecepatan yaitu 10, 15, 20 dan 25 km/h. Massa yang digunakan dalam simulasi adalah 52 ton. Hasil simulasi memperlihatkan rasio L/V sekitar 0,58 menurut kriteria Nadal. Nilai ini masih berada di bawah rasio L/V roda dengan sudut kontak 70° dan koefisien gesek 0,5.

Keywords: Simulasi, dinamika, KA Babaranjang, Jalur Belok

Pendahuluan

Tingginya laju keausan merupakan masalah utama yang dihadapi pada dunia perkeretaapian. Masalah ini tidak hanya terjadi di luar negeri tetapi juga terjadi di Indonesia. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa laju keausan yang terjadi pada KA Babaranjang adalah 1,73 mm per bulan (Parwata, 2012). Keausan ini tergolong tinggi. Demikian pula hasil penelitian yang dilakukan oleh Haryanto (2007) menyatakan bahwa apabila jarak tempuh kurang dari 600.000 km, roda sudah mencapai batas minimum diameter maka disebut keausan berlebih. Umur roda KKBW di Sumatera Selatan adalah sekitar 3 tahun atau ± 450.000 km sehingga dapat digolongkan mengalami keausan berlebih (*Excessive*). Hasil uji laboratorium juga memperlihatkan bahwa laju keausan KA Babaranjang adalah $22,6 \mu\text{g}/\text{m}/\text{mm}^2$ untuk rel dan $16,3 \mu\text{g}/\text{m}/\text{mm}^2$ untuk roda (Parwata, dkk., 2012). Pengujian ini menggunakan *twin disc* sebagai model roda dan rel.

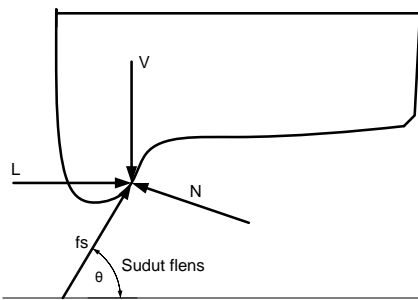
Usaha untuk mengurangi laju keausan pada roda dan rel sudah banyak dilakukan oleh peneliti. Optimasi terhadap profil roda dilakukan oleh Magel, dkk. (2005). Profil roda yang dihasilkan dapat mengurangi keausan flens sebesar 25% dari profil roda yang telah ada. Selanjutnya, Viáfara, dkk. (2005) mengembangkan material rel dengan

menggunakan baja bainitik. Jin, dkk. (2007) mendapatkan hubungan antara besarnya radius lintasan dengan laju keausan. Lu, dkk. (2006) meneliti tentang unjuk kerja lapisan PTFE (*polytetrafluoroethylene*) termasuk transfer lapisan tipis dan sifat aliran material. Penelitian ini melalui eksperimen *disc on disc* dimana disc ini dilapisi dengan PTFE. Selanjutnya, hubungan antara jumlah siklus dan koefisien gesek didapatkan. Budiwantoro, dkk. (2013) telah mendapatkan pasangan radius 22 mm dan 13 mm. Pasangan radius ini didapatkan melalui uji *twin disc*. Pada uji ini pasangan radius *disc* 22 dan 13 mm memiliki laju keausan yang sangat rendah. Uji ini merupakan pemodelan terhadap kondisi kontak flens roda dan rel. Radius flens roda adalah radius 22 mm dan radius *gage corner* rel adalah 13 mm. Selama ini pasangan radius flens roda yang digunakan adalah 20 mm dan rel 13 mm.

Penelitian ini merupakan kelanjutan dari penelitian untuk mendapatkan profil roda yang optimum. Profil ini diharapkan dapat mengurangi laju keausan. Untuk menguji unjuk kerja radius flens yang baru perlu diawali dengan pengujian terhadap unjuk kerja radius flens profil roda yang dipakai saat ini. Unjuk kerja yang dimaksudkan adalah kestabilan laju kendaraan rel ketika melewati jalur belok. Hal ini ditunjukkan dengan perbandingan antara gaya lateral dan gaya vertikal sesuai dengan kriteria Nadal. Kriteria Nadal mengindikasikan apakah roda akan keluar dari rel atau tidak Iwnicki (2006).

Kriteria Nadal

Fenomena keluarnya roda dari rel (*derailment*) telah diamati lebih dari 100 tahun. Ada tujuh kriteria keamanan keluarnya flens roda dari rel (Iwnicki, 2006). Sebagian besar dari kriteria tersebut menyertakan perbandingan gaya lateral (L) dan gaya vertikal (V) dari masing-masing roda. Namun pada penelitian ini hanya diuji berdasarkan kriteria Nadal. Nadal menyatakan pembatasan perbandingan L/V yang diharapkan dapat meminimalkan *derailment*. Nadal mengasumsikan roda mengalami dua titik kontak dimana kontak pada flens mendahului daripada kontak pada *tread* roda. Nadal menyimpulkan bahwa kontak roda pada flens cenderung bergerak ke bawah (arah rel) akibat berputarnya roda pada *tread* roda. Teori selanjutnya menyatakan roda keluar rel terjadi bila gerakan ke bawah berhenti dengan terpenuhinya gaya gesekan pada titik kontak. Keseimbangan antara gaya-gaya pada roda dan rel pada kontak flens diperlihatkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Gaya pada titik kontak roda dan rel (Iwnicki, 2006)

$$N = V \cos \theta + L \sin \theta = V \left(\cos \theta + \frac{L}{V} \sin \theta \right) \quad (1)$$

$$\begin{cases} f_s = V \sin \theta - L \cos \theta = V \left(\sin \theta - \frac{L}{V} \cos \theta \right) & \text{Bila } (V \sin \theta - L \cos \theta) < \mu N \\ f_s = \mu N & \text{Bila } (V \sin \theta - L \cos \theta) \geq \mu N \end{cases} \quad (2)$$

$$\frac{L}{V} = \frac{\tan \theta - f_s/N}{1 + f_s/N \tan \theta} \quad (3)$$

Kriteria batas Nadal dikenal dengan persamaan

$$\frac{L}{V} = \frac{\tan \theta - \mu}{1 + \mu \tan \theta} \quad (4)$$

Persamaan ini memperlihatkan hubungan antara sudut kontak dengan pembatasan perbandingan L/V masing-masing roda. Untuk sudut kontak 70° dan koefisien 0.5 memberikan rasio L/V sebesar 0,9 (Iwnicki, 2006). Sehingga agar tidak terjadi *derailment* maka rasio L/V harus dibawah 0,9.

Pemodelan

Pemodelan KA Babaranjang diwakili oleh satu buah kendaraan rel. Kendaraan rel ini terdiri dari

satu gerobak dan dua buah bogie (Gambar 2). Komponen utama bogie disusun oleh dua buah *wheelset*, satu *bolster*, dua *side frame* dan empat *wedge* (Gambar 3). Masing-masing komponen ini dianggap sebagai sebuah massa dan dihubungkan dengan sistem pegas damper tanpa massa.



Gambar 2. Gerobak KA Babaranjang (INKA, 2012)



Gambar 3. Three piece bogie

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan bantuan software Universal Mechanism (UM). Model kendaraan diperlihatkan pada Gambar 4 dan model bogie diperlihatkan pada

Gambar 5



Gambar 4. Model kendaraan rel pada UM



Gambar 5. Model bogie pada UM

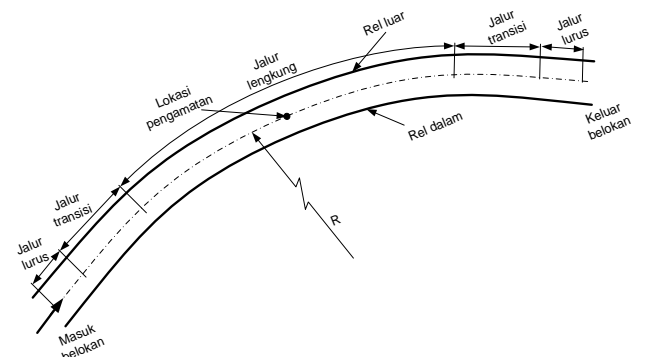
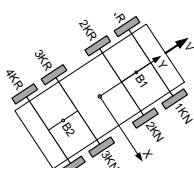
Gambar skematik kendaraan dan jalur KA diperlihatkan pada Gambar 6. Penomoran dimulai dari roda depan sebelah kiri kemudian diikuti roda sebelah kanan pada *wheelset* yang sama, yaitu roda 1KR, roda 1KN dst., yang mana berarti roda dari *wheelset* 1 sebelah kiri dan roda dari *wheelset* 1 sebelah kanan. Bogie diberikan nomor B1 untuk bogie depan dan B2 untuk bogie belakang. Tipe profil roda yang digunakan adalah ORES 1002 dan profil rel adalah UIC 54.

Kendaraan rel memasuki jalur belok ke arah kanan. Kendaraan memasuki jalur belok terlebih dahulu melewati jalur lurus, jalur transisi, dan jalur lengkung, kemudian keluar jalur belok melalui jalur transisi dan jalur lurus. Kendaraan melewati jalur lurus sepanjang 10 m, kemudian memasuki jalur transisi sepanjang 30 m, dan jalur lengkung sepanjang 250 m. Radius kelengkungan adalah 200 m dan *super elevation* antara rel luar dan dalam adalah 0,01 m seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6.

Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah kecepatan kendaraan. Kecepatan kendaraan divariasikan mulai dari kecepatan 10, 15, 20, dan 25 km/h, sedangkan massa kendaraan digunakan 52 ton.

Hasil-Hasil Penelitian

Hasil eksekusi program model dinamika kendaraan rel dan jalur belok ditunjukkan pada Gambar 7, 8, 9, 10. Perbandingan gaya lateral dan gaya vertikal ditunjukkan oleh sumbu vertikal sedangkan waktu ditunjukkan oleh sumbu horizontal. Masing-masing garis merupakan unjuk kerja dari tiap-tiap roda. Pada penelitian ini garis-garis tersebut dibedakan dengan perbedaan warna garis.

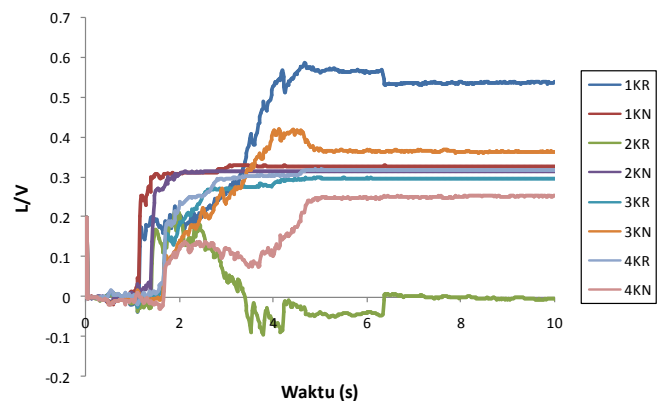


Gambar 6. Skematik kendaraan dan lintasan belok

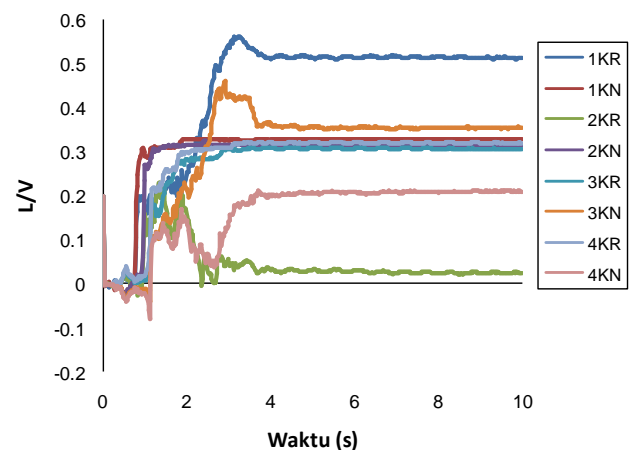
Pada kecepatan 10 m/s, rasio L/V yang paling tinggi adalah 0,58. Rasio ini dicapai oleh roda 1KR dan yang paling rendah adalah 2KR (Gambar 7).

Pada kecepatan 15 m/s, rasio L/V paling tinggi adalah 0,56. Rasio ini dicapai oleh roda 1KR. Rasio L/V untuk roda 1KR mengalami penurunan karena adanya perpindahan beban ke roda yang lain. Roda yang paling rendah rasio L/V adalah 4KN. Sedangkan roda 2KR mengalami peningkatan rasio L/V.

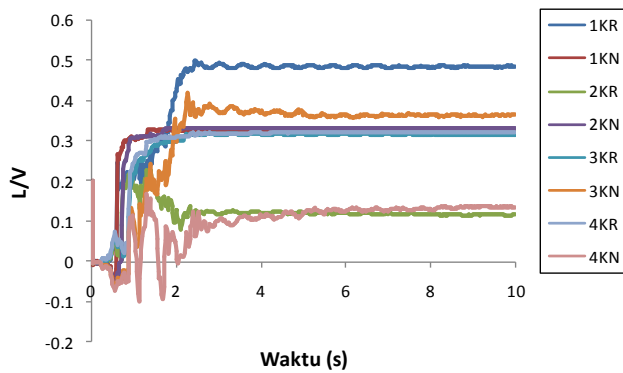
Demikian pula pada kecepatan 20 dan 25 m/s terlihat fenomena yang serupa dimana roda 1KR memiliki rasio L/V paling tinggi dan yang paling rendah adalah 4KN. Roda yang mengalami peningkatan rasio L/V adalah roda 2KR namun masih dibawah kriteria kritis *derailment*



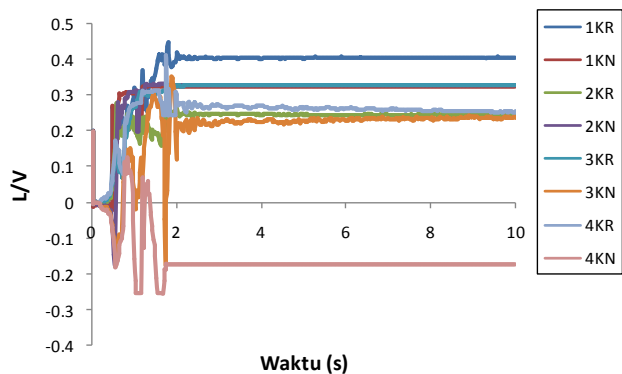
Gambar 7. Perbandingan L/V pada kecepatan 10 km/h



Gambar 8. Perbandingan L/V pada kecepatan 15 km/h



Gambar 9. Perbandingan L/V pada kecepatan 20 km/h



Gambar 10. Perbandingan L/V pada kecepatan 25 km/h

Pembahasan

Apabila dibandingkan keempat buah grafik diatas maka rasio L/V yang paling tinggi adalah 0,58 yang dicapai oleh roda 1KR. Sedangkan yang paling rendah adalah roda 4KN. Tetapi, yang perlu diamati lebih cermat adalah roda 2KR dimana roda ini mengalami peningkatan yang cukup tinggi seiring meningkatnya kecepatan.

Pencapaian rasio L/V sebesar 0,58 menunjukkan bahwa kecepatan antara 10 km/h sampai 25 km/h masih berada dibawah rasio maksimum yang diperbolehkan agar tidak terjadi *derailment*. Tetapi simulasi yang dilakukan pada penelitian ini menganggap bahwa jalur rel rata, tidak ada turunan maupun tanjakan, tidak ada percepatan maupun perlambatan akibat pengereman.

Pengaruh kecepatan kendaraan terhadap rasio L/V adalah kecepatan meningkat maka waktu yang diperlukan untuk mencapai rasio maksimum L/V semakin kecil. Hasil ini terjadi pada saat awal memasuki jalur transisi. Fenomena yang sama juga terlihat pada penelitian yang dilakukan oleh Ghazavi dan Taki (2008). Pada penelitian tersebut rasio L/V tiap-tiap *wheelset* digunakan sebagai kriteria *derailment*. Ghazavi dan Taki (2008) melakukan simulasi dengan menggunakan software MATLAB dan ADAMS/Rail.

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari pembahasan hasil-hasil penelitian diatas adalah rasio L/V yang paling tinggi untuk simulasi kecepatan antara 10 km/h sampai 25 km/h adalah 0,58. Berdasarkan kriteria Nadal rasio ini masih di bawah 0,9 dengan menganggap jalur dalam keadaan rata, tidak ada turunan maupun tanjakan, dan tidak ada percepatan maupun perlambatan akibat pengereman.

Penelitian selanjutnya

Untuk mengurangi resiko terjadinya *derailment*, perlu dilakukan simulasi dengan menggunakan kecepatan yang lebih tinggi. Selanjutnya, dilakukan pengujian terhadap unjuk kerja profil roda yang baru.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Direktorat Jenderal DIKTI atas pembiayaan penelitian ini melalui Hibah Unggulan Perguruan Tinggi dengan No. Kontrak 175A.5/UN14.2/PNL.01.03.00/2013. Terima kasih juga disampaikan kepada PT. INKA atas pemberian ijin pemakaian *software Universal Mechanism*.

Daftar Pustaka

- Budiwantoro, B., I. M. Parwata, W. Puja dan S. Soemantri (2013). "Optimum Lateral Railway Wheel Flange Radius With Minimum Wear Rate: Twin Disc Simulation." *Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering* 7(4): 496-506.
- Ghazavi, M. R. dan M. Taki (2008). "Dynamic simulations of the freight three-piece bogie motion in curve." *Vehicle System Dynamics* 46(10): 955-973.
- Haryanto, D. (2007), Optimasi Bentuk Profil Roda Gerbong KKBW di Divisi Regional III Sumatera Selatan PT. Kereta Api (Persero) Untuk Mengurangi Tingkat Keausan Flens Roda Akibat Kontak Roda Dan Rel, Teknik Mesin, ITB, Thesis Program Magister.
- INKA (2012). "Produk Kereta Api." Retrieved 27 Februari, 2012, from http://www.inka.co.id/?page_id=1586.
- Iwnicki, S. (2006). *Handbook of Railway Vehicle Dynamics*. London, CRC Press.
- Jin, X., Z. Wen, X. Xiao dan Z. Zhou (2007). "A numerical method for prediction of curved rail wear." *Springer Science+Business Media B.V.* 18: 531-557.
- Lu, X., K. C. Wong, P. C. Wong, K. A. R. Mitchell, J. Cotter dan D. T. Eadie (2006). "Surface characterization of polytetrafluoroethylene (PTFE) transfer films during

rolling-sliding tribology tests using X-ray photoelectron spectroscopy." Wear **261**: 1155–1162.

Magel, E., J. Kalousek dan R. Caldwell (2005). "A numerical simulation of wheel wear." Wear **258**(7–8): 1245-1254.

Parwata, I. M. (2012), Keausan Berlebih Pada Roda Kereta Api Saat Melewati Belokan, Teknik Mesin, ITB, Disertasi.

Parwata, I. M., B. Budiwantoro, S. S. Brodjonegoro dan I. G. W. Pujana (2012). Keausan Excessive Roda Rel Kereta Api Babaranjang Jalur Tajungenim ke Tarahan. Seminar Nasional Energi Terbarukan dan Produksi Bersih, Universitas Lampung.

Viáfara, C. C., M. I. Castro, J. M. Vélez dan A. Toro (2005). "Unlubricated sliding wear of pearlitic and bainitic steels." Wear **259**(1–6): 405-411.