

ANALISIS KEKUATAN GANDAR PADA KERETA API PENUMPANG

Nurato, Kushardiyanto

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana
Jl. Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta 11650
Email: nuratoa@gmail.com

Abstrak -- Poros (gandar) merupakan salah satu bagian dari mesin yang cukup penting. Hampir semua mesin meneruskan tenaganya bersama-sama dengan putaran. Peranan utama dalam transmisi seperti ini dipegang oleh poros. Poros (keseluruhannya berputar) adalah untuk mendukung suatu momen putar dan mendapat tegangan puntir atau tegangan puntir dan tekuk. Tulisan ini mencoba menganalisa kekuatan poros pada kereta api penumpang. Analisa menunjukkan bahwa faktor keamanan gandar dalam keadaan statis dengan menggunakan bahan gandar baja ST 60 dengan tegangan yang didapat sebesar 48 kg/mm^2 yang dirasa cukup aman karena tegangan yang diperkenankan sebesar 60 kg/mm^2 .

Kata Kunci: Poros, kekuatan gandar, bahan baku

Abstract -- Shaft (axle) is one part of the machine that is pretty important. Almost all of this energy to forward the machine together with the round. A major role in the transmission of this kind held by the shaft. Axis is used to support a moment of play and got a voltage or the twist voltage. This paper tries to analyze the strength of the shaft at the train passengers. The analysis showed that the safety factor of static in an axle using axle steel ST 60 with voltage obtained amounted to 48 kg/mm^2 which felt pretty safe because the allowed voltage of 60 kg/mm^2 .

Keywords: Axle, axle power, raw material

PENDAHULUAN

Dengan semakin cepatnya kemajuan teknologi pada jaman yang modern ini maka teknologi di bidang perkeretaapian juga tidak ketinggalan ikut berkembang. Perkembangan ini sesuai dengan kemajuan dan tuntutan jaman. Sistem dari transportasi darat ini memegang peranan yang cukup besar mengingat daya angkut yang cukup besar, murah dan lebih cepat. Oleh sebab itu sistem transportasi dengan kereta api masih dipertahankan sampai sekarang. Termasuk pula perlunya untuk dilakukan modernisasi dan penyempurnaan dari kereta api yang telah ada (Moretto et al., 2016) (Moreno et al., 2015).

Atas berkat perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi maka transportasi kereta api ini dapat berjalan dengan lancar tanpa adanya hambatan yang berarti. Perkembangan ini mencakupi pula proses perencanaan komponen pada system kereta api. Salah satu proses perencanaan komponen pada system kereta api adalah bagian adalah gandar kereta api (Corni et al., 2015) (Qiu et al., 2016).

Tulisan ini berupaya untuk membahas bahan baku serta komposisi yang dipakai untuk pembuatan ganda serta proses pembuatan dan perawatan pada gandar. Analisa kekuatan statis dan dinamis pada gandar juga dilakukan. Proses penelitian telah dilakukan pada gandar roda yang

dipergunakan oleh perusahaan umum kereta api di Balai Yasa, Manggarai.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengertian Gandar (Poros)

Poros merupakan salah satu bagian dari mesin yang cukup penting. Hampir semua mesin meneruskan tenaganya bersama-sama dengan putaran dimana peranan utama dalam transmisi seperti ini dipegang oleh poros. Poros (keseluruhannya berputar) adalah untuk mendukung suatu momen putar dan mendapat tegangan puntir atau tegangan puntir dan tekuk.

Gandar (berputar atau diam) adalah hanya untuk menopang bagian mesin yang diam, berayun atau berputar. Tetapi gandar tidak menderita momen putar. Dengan demikian tegangan utamanya adalah tekukan (bending). Gandar pendek juga tersebut sebagai baut, yaitu bagian yang berputar dalam bantalan dari gandar (dan poros) disebut *tap*.

Macam dan Bentuk Poros

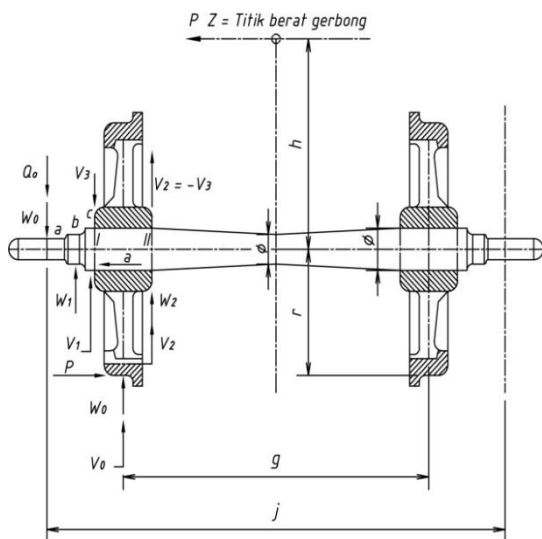
Terdapat klasifikasi poros untuk meneruskan daya menurut pembebanannya, yaitu macam poros dan bentuk poros. Macam Poros terdiri dari poros transmisi, spindle dan gandar. Poros transmisi mendapat beban puntir murni atau puntir dan lentur daya ditransmisikan melalui kopling, roda gigi, pully sabuk atau

sprocket rantai dan lain-lain. Sedangkan spindle adalah poros transmisi yang relatif pendek, seperti poros utama mesin perkakas, dimana beban utamanya berupa puntiran disebut spindle. Syarat yang harus dipenuhi poros ini adalah deformasinya harus kecil dan bentuk serta ukurannya harus teliti. Sementara gandar adalah poros yang dipasang diantara roda-roda kereta barang dimana tidak mendapat beban puntir, bahkan kadang-kadang tidak boleh berputar, disebut gandar. Gandar ini hanya mendapat beban lentur kecuali jika digerakan oleh penggerak mula dimana akan mengalami beban puntir saja.

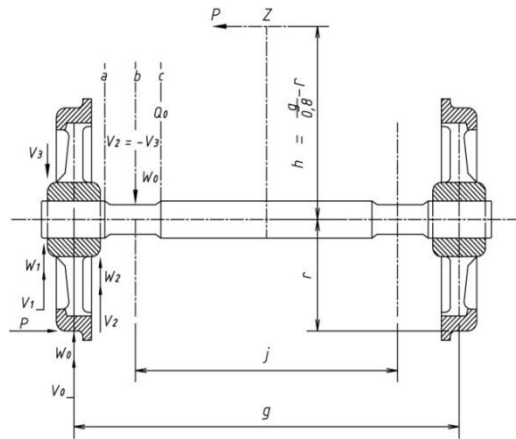
Sementara bentuk poros terdiri dari poros lurus umum, poros bengkok (poros engkol), poros utama mesin torak, poros luwes poros engsel dan poros teleskop. Biasanya poros-poros ini digunakan untuk untuk transmisi daya kecil agar terdapat kebebasan bagi perubahan arah (Kouroussis et al., 2015) (Purnama dan Ariosuko, 2014).

Tipe dan Macam Gandar

Tipe dari gandar dapat diklasifikasikan menjadi 2 bagian yaitu: tipe gandar dengan leher di luar dan tipe gandar dengan leher di dalam. Tipe gandar dengan leher di luar adalah gandar yang dipergunakan buat perkeretaapian di Indonesia. Tipe ini banyak digunakan karena rel yang ada di Indonesia menggunakan tipe sepur kecil. Sedangkan tipe gandar dengan leher di dalam adalah gandar yang digunakan untuk ukuran sepur lebar. Oleh karena ini konstruksi gandar itu dibuat dengan leher yang berada di sebelah dalam. Tipe gandar dengan leher di luar dan gandar dengan leher di dalam diperlihatkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Tipe gandar dengan leher di luar

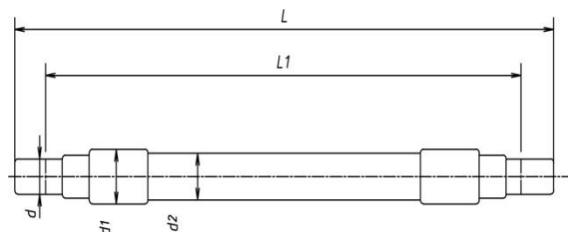


Gambar 2. Tipe gandar dengan leher di dalam

Gandar bentuknyapun bermacam-macam. Profil dari gandarnya disesuaikan dengan bentuk dari bogie yang berada di atasnya. Profil berbagai macam gandar ditunjukkan pada Tabel 1 dengan dimensi diperlihatkan pada Gambar 3.

Tabel 1. Gandar roda kereta api

Gol.	d	d1	d2	L1	L
K2	105	150	135	1520	1610
K3	95	125	115	1565	1717
K4	110	150	140	1520	1720
K5	110	150	140	1520	1770
K6	105	150	135	1520	1610
K7	110	150	150	1590	1732
Serie	90	125	115	1565	1755
KRL	120	188,5	161,5	1640	1920
KRD	-	-	-	-	-



Gambar 3. Gandar roda kereta

Bahan Baku dan Komposisi

Baja yang biasa digunakan untuk gandar adalah baja gandar (*assenstaal*) yaitu St 50 – St 60. Gandar ini dibuat sesuai dengan Japan Industri Standard (JIS) E 4504 –1954 dengan bahan gandar JIS E 5402 SFA 60 B. Japan Industri Standard (JIS) E 5402 - 1954 memiliki dua sifat, yaitu: *Chemical Composition* dan *Mechanical properties*. *Chemical Composition* berisikan tingkatan kandungan dari komposisi kimianya. Unsur kimia ini berbeda antara satu unsur kimia dengan unsur kimia lainnya. Unsur kimia yang terkandung didalam JIS E 5402 adalah Carbon (C), Silisium (Si), Mangan (Mn), Cuprum/Tembaga (Cu), Phospor (P) dan Sulfur (S). Sedangkan *Mechanical properties* atau

kelayakan mekanis berisikan *tensile strength* and *elongation* dan *hardness* yang sesuai dengan kelayakan mekanisnya.

Proses Pembuatan dan Perawatan serta Mesin-Mesin yang dipergunakan

Proses Pembuatan terdiri dari beberapa tahapan, yaitu penerimaan bahan, pembubutan bahan, pengamplasan dan pengecatan. Gandar didatangkan dengan cara mengimportnya langsung dari Australia. Balai Yasa Manggarai akan menerima bahan tersebut. Terdapat bahan yang secara langsung didatangkan sudah dalam berbentuk gandar terpasang yang lengkap dengan roda dan kelengkapan lainnya. Ada pula gandar yang didatangkan masih berupa bahan gandar yang berbentuk besi bulat saja. Setelah itu dilakukan proses pembubutan bahan. Bahan gandar yang masih berupa besi bulat dibubut dan disesuaikan bentuk dan profilnya sesuai dengan kebutuhan gandar yang diperlukan.

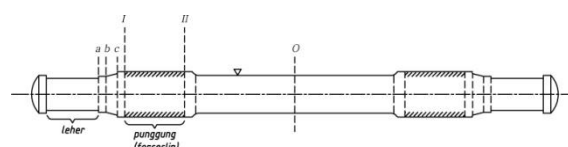
Kemudian dilakukan proses pengamplasan bahan. Pengamplasan gandar yang hampir selesai dibubut dimaksudkan untuk mendapatkan tingkat kehalusan permukaan gandar. Tingkat kehalusan permukaan gandar berbeda-beda. Tingkat kehalusan disebut dengan segitiga satu sampai segitiga tiga. Segitiga ini merupakan tingkat kehalusan yang paling tinggi karena batang gandar ini halus sekali sampai batang itu terlihat seperti kaca. Sebenarnya pengerjaan seperti ini menggunakan mesin rolling, tapi karena keterbatasan alat di Balai Yasa Manggarai pada waktu itu maka dikerjakan hanya dengan amplas saja.

Setelah proses pengamplasan bahan lalu dilakukan proses pengecatan. Pengecatan gandar dengan warna hitam dan ini dimaksudkan untuk menghindari korosi pada batang gandar juga menandakan bahwa batang gandar ini sudah siap untuk digunakan.

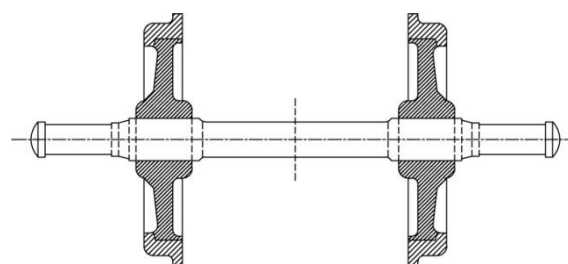
Gandar mengalami pembebanan bertukar paling berat. Perhitungan kekuatan gandar ini didasarkan atas batas kelelahan dari bahan gandar, artinya tegangan yang timbul sebagai akibat momen harus lebih kecil atau paling tinggi sama dengan tegangan yang diperkenankan. Bagian dari potongan gandar yang rawan adalah pada potongan a, b, c, I, II, dan O. Oleh karena itu maka bagian inilah perlu diadakan pengontrolan apakah tegangan yang terjadi disini betul-betul tidak melampaui batas yang diperkenankan.

Di antara potongan diatas, maka yang paling rawan adalah bagian punggung (*force fit*) yaitu antara I – II. Pada peristiwa gandar patah (terutama pada gerbong barang karena *overload*) maka kebanyakan terjadi pada bagian punggung.

Hal ini terutama sekali pada potongan II, sebab bagian *force fit* inilah yang paling menderita pada waktu pemasangan roda pada gandar yaitu ketika gandar dipress masuk kedalam liang roda (naaf). Pengepresan ini berlangsung dengan kekuatan daya dorong. Akibat dari pengepresan ini maka kekuatan gandar dibagian punggung menjadi berkurang dan oleh sebab itu tegangan yang diperkenankan pada bagian ini dibatasi palng rendah bila dibandingkan dengan bagian-bagian lainnya. Bagian potongan gandar yang rawan dan gandar dalam keadaan terpasangan dengan roda ditampilkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Bagian potongan gandar yang rawan



Gambar 5. Gandar dalam keadaan terpasangan dengan roda

Perawatan terhadap gandar ini dilakukan setiap 250.000Km ataupun setelah 2 (dua) tahun. Pengoperasian dilakukan dengan cara pengecekan, yaitu pengecekan keretakan batang gandar dan pengecekan kemiringan batang gandar. Proses pengecekan keretakan batang gandar dilakukan dengan menggunakan alat yang disebut dengan Dye Penetrant Crack. Alat ini mendeteksi batang gandar menggunakan deteksi ultrasonic dengan bantuan gelombang longitudinal. Sedangkan pengecekan kemiringan batang gandar dilakukan dengan menggunakan mesin balancing.

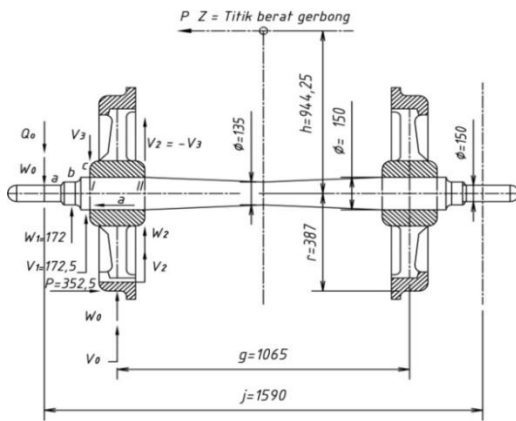
Terdapat beberapa mesin-mesin yang dipergunakan pada proses pembuatan dan perawatan gandar. Beberapa mesin tersebut adalah mesin bubut, mesin press dan mesin balancing. Mesin bubut dipergunakan untuk membentuk profil dari batang gandar. Mesin press dipergunakan untuk memasang ataupun melepaskan gandar dari rodanya. Kemampuan mesin press sampai 300 ton. Pemasangan kembali gandar terhadap rodanya, batang gandar

ini dipress sampai berkisar 70-90 ton. Sedangkan mesin balancing dipergunakan untuk mengetahui bahwa gandar itu bengkok atau tidak.

ANALISA KEKUATAN GANDAR KERETA API PENUMPANG

Distribusi Beban Statis

Untuk dapat menganalisa kekuatan gandar kereta api penumpang digunakan gandar roda type K-7 (Subyanto, 1977a) (Subyanto, 1977b). Gandar tipe tersebut diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Gandar Roda type K-7

- Z = Titik berat gerbong
- J = Jarak antara garis tengah leher (mm)
- g = Jarak antara kedua lingkaran jalan pada roda (mm)
- r = Jari-jari roda (mm)
- h = Tinggi dari titik berat gerbong dari gandar

Berat gerbong pada kondisi kosong adalah 35.000 kg, berat muatan adalah 16.000 kg, sehingga berat gerbong penuh adalah 51.000 kg

Perhitungan Beban dan Gaya-gaya

Berdasarkan data-data tersebut di atas, mada dapat dilakukan beberapa perhitungan. Perhitungan beban pada suatu gandar adalah sebagai berikut:

$$WA = \frac{51.000 - 3.600}{4} = 11.850 \text{ kg}$$

Beban dinamis pada satu leher

$$WO = \frac{1,4.WA}{2} = 8295 \text{ kg}$$

Gaya getaran Horizontal

$$P = 0,3 \cdot WA = 3555 \text{ kg}$$

Beban dari gaya P

$$QO = p \times \frac{h}{j} = 3555 \times \frac{944,25}{1590} = 2111,1 \text{ kg}$$

$$W1 = W2 = 0,5 \times 8295 = 4147,5 \text{ kg}$$

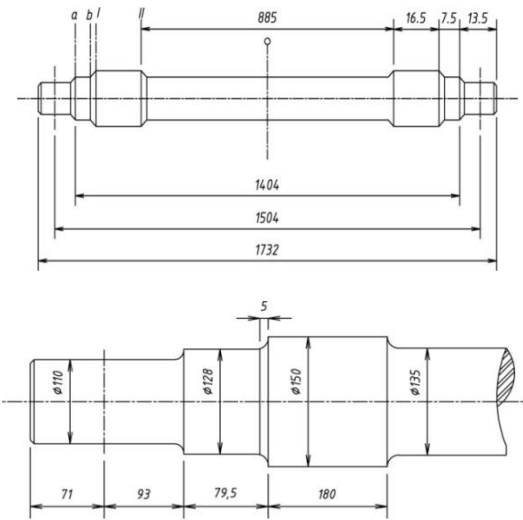
$$V1 = V2 = 0,5 \times 4443,75 = 221,87 \text{ kg}$$

$$V3 = P \times \frac{r}{1} = 3555 \times \frac{387}{180} = 7643,25 \text{ kg}$$

$$V4 = - V3 = - 7643,25 \text{ kg}$$

Perhitungan Momen

Setelah itu dilakukan perhitungan momen. Untuk melakukan perhitungan momen ini digunakan letak momen gandar, sebagaimana ditampikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Letak momen gandar

Beban momen

$$Ma = (Qo+Wo)*93 = (2111,2+8295)*93 = 967869,6 \text{ kg.mm}$$

$$Mb = (Qo+Wo)*172 = 10407,2 * 172 = 1790838,4 \text{ kg.mm}$$

$$MI = (Qo+Wo)*172,5 = 10407,2 * 17,5 = 1795242 \text{ kg.mm}$$

$$MII = (Qo+Wo)*352,5 - (V1+W1)*180 + (V3)*180 = (211,2+8295)*352,5 - (221,87+4147,5)*180 + (7643,25)*180 = 3897836,4 \text{ kg.mm}$$

$$MO = (Qo+Wo)*795 - (Vo+Wo)*532,5 + (V3)*180 = 2865329,6 \text{ kg.mm (1)}$$

Momen tahanan

$$W = 0,1 \times d^3 \cdot d/D \cdot K (0,8 - 1,0)$$

$$Wa = 0,1 \times 110^3 = 133100 \text{ mm}^3 \quad 110/128 = 0,85$$

$$Wb = 0,1 \times 128^3 = 209715 \text{ mm}^3 \quad 128/150 = 0,85$$

$$Wl = 0,1 \times 150^3 = 337500 \text{ mm}^3 \quad 150/150 = 1,0$$

$$WII = 0,1 \times 150^3 = 337500 \text{ mm}^3 \quad 150/150 = 1,0$$

$$Wo = 0,1 \times 135^3 = 246037 \text{ mm}^3 \quad 135/135 = 1,0$$

Perhitungan Tegangan

Batas-batas harga tegangan yang diperkenankan bahan St 60 dimana $\tau = 0,8 \times 60 = 48 \text{ kg/mm}^2$. Untuk bagian leher dengan pekerjaan halus sekali

$$(\text{Potongan a}) : \tau = 0,92 \times 48 = 44,16 \text{ kg/mm}^2$$

Untuk bagian peralihan dengan pekerjaan halus

(Potongan b) : $\tau = 0,84 \times 48 = 40,32 \text{ kg/mm}^2$
 Untuk bagian tengah dengan pekerjaan kasar
 (Potongan O) : $\tau = 0,76 \times 48 = 36,48 \text{ kg/mm}^2$
 Untuk bagian punggung yang dipress (*Force Fit*)
 (Potongan I,II) : $\tau = 0,55 \times 48 = 26,4 \text{ kg/mm}^2$
 Sementara tegangan yang diperkenankan adalah:

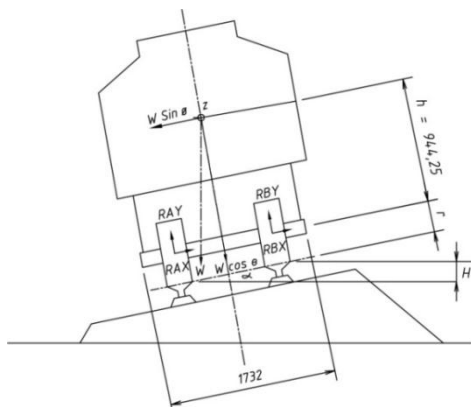
potongan a, : $\tau = 0,85 \times 44,16 = 37,53 \text{ kg/mm}^2$
 potongan b, : $\tau = 0,85 \times 40,32 = 34,27 \text{ kg/mm}^2$
 potongan I, : $\tau = 1,0 \times 26,4 = 26,4 \text{ kg/mm}^2$
 potongan II, : $\tau = 1,0 \times 26,4 = 26,4 \text{ Kg/mm}^2$
 potongan O, : $\tau = 1,0 \times 36,48 = \text{kg/mm}^2$
 Hasil perhitungan ini diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan Beban, Momen dan Tegangan

Potongan	Beban momen (M) Kg.mm ²	Momen tahanan (W) mm ³	Tegangan yang		Keamanan %
			Terjadi Kg/mm ²	Diperkenankan Kg/mm ²	
A	967869,6	133100	7,27	37,53	516
B	1790838,4	209715	8,53	24,27	284
I	1795242	337500	5,31	26,4	496
II	3897836,4	337500	11,54	26,4	228
O	2865329,6	246037,5	11,64	36,48	313

Keadaan Belok Statis

Sementara itu, untuk melakukan perhitungan belok statis digunakan kereta dalam keadaan belok statis, sebagaimana terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Kereta keadaan belok statis

Dimana:

- Z = Titik berat kereta
- W = Berat kereta
- H = Peninggian rel
- α = Sudut kemiringan ($10,8^0$)
- h = Tinggi dari berat dari gandar
- l = Panjang gandar
- r = Jari-jari roda

Karena $\sum M_a = 0$, maka:

$$R_{by} (1732) - W \sin \theta (944,25) + W \cos \theta (866) = 0$$

sehingga:

$$R_{ax} = 2133 \text{ Kg f} (20917,58 \text{ kg m/det}^2)$$

Analisa Gaya Sentrifugal

Suatu kereta api berjalan dengan kecepatan 70 km/jam, dalam keadaan jalan menikung. Dengan ini didapatkan:

$$H_{\max} = 200 \text{ mm}$$

$$\text{Lebar rel} = 1067 \text{ mm}$$

Jika diperhitungkan :

$$\sin \alpha = \frac{H_{\max}}{\text{Lebarrel}} = \frac{200}{1067} = 0,18$$

$$\alpha = 10,8^0$$

$$R_{\min} = 150 \text{ m}$$

$$V = 70 \text{ km/jam} = \frac{70 \times 1000}{3600} = 19,4 \text{ m/s}$$

$$F_s = \frac{MV^2}{R} \quad (3)$$

$$M = 11850 \text{ kg}$$

$$F_w = 11850 \text{ kg f}$$

$$F_s = 11850 \times \frac{(19,4)^2}{150} = \frac{29732,44}{9,8} = 3033,92 \text{ kg f}$$

Analisa Gaya Resultan

$$F_{\text{resultan}} = F_s + F_w$$

$$F_r = \sqrt{F_s^2 + F_w^2 - 2 \cdot F_s \cdot F_w \cdot \cos 10,8}$$

$$F = \sqrt{3033,92^2 + 11850^2 - 2 \cdot 3033,92 \cdot 11850 \cdot 0,98}$$

$$= \sqrt{9204670,6 + 1,40 \cdot 10^7 - 70465826}$$

$$= \sqrt{78738845} = 8873,49 \text{ Kg f}$$

Keadaan Belok Dinamis

Sedangkan untuk melakukan perhitungan belok dinamis digunakan kereta dalam keadaan belok dinamis, sebagaimana terlihat pada Gambar 9. Dimana:

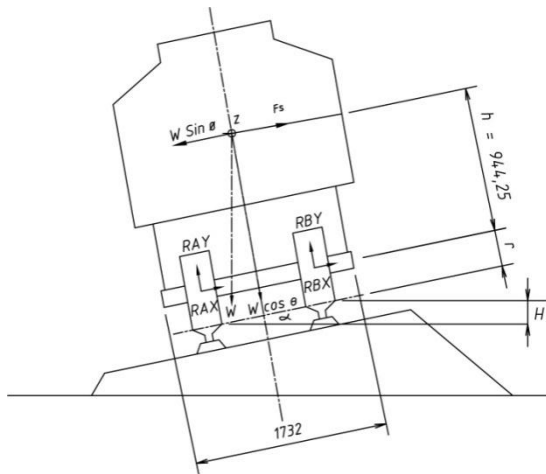
Z = Titik berat kereta
 r = Jari-jari roda

Fs = Gaya Sentrifugal

H = Peninggian rel

W = Berat kereta

α = Sudut kemiringan
 H = Tinggi titik berat dari gandar
 l = Panjang gandar



Gambar 9. Kereta keadaan belok dinamis

Juga karena $\sum MA = 0$, maka:
 $R_{by} (1732) - W \sin \alpha (944,25) - W \cos \alpha (866) + F_s (944,25) = 0$

Sehingga:

$$R_{by} = \frac{-W \sin \alpha (944,25) + W \cos \alpha (866) + F_s (944,25)}{1732}$$

dan

$$R_{by} = \frac{10907552}{1732} = 6297,66 \text{ kg f}$$

Juga:

$$\begin{aligned} +\uparrow \sum F_y &= 0 \\ R_{ay} + R_{by} - W \cos \alpha &= 0 \\ R_{ay} &= 5315,34 \text{ Kg f} (52125,68 \text{ kg m/det}^2) \\ + \sum F_x &= 0 \\ R_{ax} &= -W \sin \alpha + F_s \\ R_{ax} &= 900,92 \text{ Kg f} (88268,87 \text{ kg m/det}^2) \end{aligned}$$

Analisa Faktor Keamanan Gandar Dalam Keadaan Dinamis

Keadaan dinamis disini pada saat kereta api melakukan pengereman, sehingga didapat data:

- da = 0,11 m ra = 0,055m
- db = 0,12 m rb = 0,06 m
- dl = 0,15 m rl = 0,075 m
- dll = 0,15 m rll = 0,075 m
- d0 = 0,13 m r0 = 0,065 m

F = Gaya tekanan total blok selama pengereman 32884 kg f, dimana:

$$\tau \text{ aktual} = \frac{M_p}{W_p} \tag{1}$$

τ aktual = Tegangan puntir aktual

M_p = Momen puntir

W_p = Momen tahanan Puntir

$$W_p = \frac{\pi}{16} \cdot d^3 \text{ (m}^3\text{)} \tag{2}$$

d = diameter poros (m)

$$M_p = F \cdot r \text{ (Kg/m}^2\text{)} \tag{3}$$

F = Gaya tekanan total rem blok selama pergerakan (Kg)

r = Jari- jari poros (m)

(4)

Momen puntir

$$M_p = F \cdot r$$

$$M_{pa} = F \cdot r_a = 32884 \times 0,055 = 1808,62 \text{ Kg} \cdot \text{m}$$

$$M_{pb} = F \cdot r_b = 32884 \times 0,06 = 1973,04 \text{ Kg} \cdot \text{m}$$

$$M_{pl} = F \cdot r_l = 32884 \times 0,075 = 2466,30 \text{ Kg} \cdot \text{m}$$

$$M_{pll} = F \cdot r_{ll} = 32884 \times 0,075 = 2466,30 \text{ Kg} \cdot \text{m}$$

$$M_{po} = F \cdot r_o = 32884 \times 0,065 = 2137,64 \text{ Kg} \cdot \text{m}$$

Momen tahanan puntir

$$W_p = \frac{\pi}{16} \cdot d^3$$

$$W_{pa} = \frac{\pi}{16} \cdot 0,11^3 = 0,0002612 \text{ m}^3$$

$$W_{pb} = \frac{\pi}{16} \cdot 0,12^3 = 0,0003391 \text{ m}^3$$

$$W_{pl} = \frac{\pi}{16} \cdot 0,15^3 = 0,0006623 \text{ m}^3$$

$$W_{pll} = \frac{\pi}{16} \cdot 0,15^3 = 0,0006623 \text{ m}^3$$

$$W_{p0} = \frac{\pi}{16} \cdot 0,13^3 = 0,0004311 \text{ m}^3$$

Bila persamaan (2) dan (3) disubsitusikan pada persamaan (1) maka diperoleh:

$$\tau \text{ aktual} = \frac{M_p}{W_p} = \frac{F \cdot r}{\frac{\pi}{16} \cdot d^3} \text{ (N/m}^2\text{)}$$

Jika bahan gandar yang digunakan adalah St 60 maka:

$$\tau = 60 \text{ Kg/mm}^2 = 60.000.000 \text{ Kg/m}^2$$

$$\tau_w = 5,866 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$$

besarnya faktor keamanan :

$$S_f = \frac{\tau_w}{\tau \text{ aktual}}$$

Sehingga dapat diperhitungkan :

$$\tau \text{ aktual} = \frac{M_p}{W_p}$$

$$\tau \text{ akt} \cdot a = \frac{M_p}{W_p} = \frac{1808,26}{0,0003391} = 6785871 \text{ N/m}^2$$

$$\tau \text{ akt} \cdot b = \frac{M_p}{W_p} = \frac{1973,04}{0,0003391} = 57020914 \text{ N/m}^2$$

$$\tau \text{ akt} \cdot l = \frac{M_p}{W_p} = \frac{2466,30}{0,0006623} = 36493644 \text{ N/m}^2$$

$$\tau \text{ akt} \cdot ll = \frac{M_p}{W_p} = \frac{2466,30}{0,0006623} = 36493644 \text{ N/m}^2$$

$$\tau \text{ akt} \cdot O = \frac{M_p}{W_p} = \frac{2137,46}{0,0004311} = 48589905 \text{ N/m}^2$$

Faktor keamanan dinamis :

$$Sf = \frac{\tau_w}{\tau_{aktual}}$$

$$Sfa = \frac{\tau_w}{\tau_{akt}} = \frac{5,866 \cdot 10^7}{67857871} = 8,64$$

$$Sfb = \frac{\tau_w}{\tau_{akt}} = \frac{5,866 \cdot 10^7}{570209114} = 10,28$$

$$Sfl = \frac{\tau_w}{\tau_{akt}} = \frac{5,866 \cdot 10^7}{36493644} = 16,07$$

$$Sfll = \frac{\tau_w}{\tau_{akt}} = \frac{5,866 \cdot 10^7}{36493644} = 16,07$$

$$SfO = \frac{\tau_w}{\tau_{akt}} = \frac{5,866 \cdot 10^7}{48589905} = 12,07$$

$$\tau_w = 5,866 \cdot 10^7 \text{ N/m}^2$$

Hasil perhitungan ini diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Beban, Momen dan Tegangan

Potongan	Momen punter Mp Kg . m	Momen tahanan punter Wp m ³	Tegangan actual τ_{akt} N . m ²	Keamanan Sf = p τ_w/τ_{akt} %
a	1808,62	0,0002612	67857871	864
b	1973,04	0,0003391	57020914	1028
I	2466,30	0,0006623	36493644	1607
II	2466,30	0,0006623	36493644	1607
O	2137,46	0,0004311	48589905	1207

Defleksi Gandar

Analisa Defleksi Gandar

Dalam perhitungan berat dari gandar diabaikan. Reaksi peletakan gaya diperlihatkan pada Gambar 10. Dimana:

$$A = \frac{\pi \cdot d}{2} \cdot 1$$

$$= \frac{3,14 \cdot 110}{2} \cdot 1,164$$

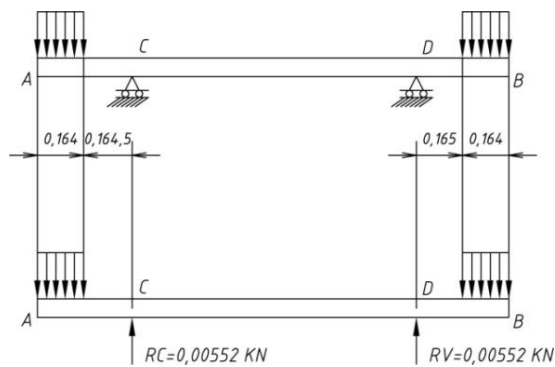
$$= 28322,8 \text{ mm}^2$$

$$= 28,3228 \text{ m}^2$$

$$p = 11850 \cdot 9,81 = 116248,5 \text{ N}$$

$$w = \frac{p}{A} = \frac{116248,5}{28,3228} = 4104,41 \text{ N/m}$$

$$= 4,10441 \text{ kN/m}$$



Gambar 10. Reaksi peletakan gaya

$$+ MD = 0$$

$$RD (1,3985) - 0,6731 (0,082) = 0$$

$$RD = 0,0552 \text{ kN}$$

$$+ MC = 0$$

$$RC = RD = 0,0552 \text{ kN}$$

A – C

$$+\downarrow \Sigma Fy = 0$$

$$4,1044 (0,164) - 0,0552 - V = 0$$

$$V = -0,618 \text{ kN}$$

$$+ \Sigma M = 0$$

$$- 0,0552 (0,164) + 4,1044 (0,164)$$

$$(0,082) + M = 0$$

$$M = 0,00905 - 0,05519$$

$$M = 0,04614 \text{ kN . m}$$

C – D

$$+\downarrow \Sigma Fy = 0$$

$$0,6731 - 0,0552 - V = 0$$

$$V = 0,6731 - 0,0552$$

$$V = 0,618 \text{ kN . m}$$

$$+ \Sigma M = 0$$

$$0,6731 (1,065) + 0,0552 (0,3335) +$$

$$M = 0$$

$$M = - 0,7168 - 0,0184 = 0,7352 \text{ kN . m}$$

D – B

$$+\downarrow \Sigma Fy = 0$$

$$0,6731 - 0,0552 - 0,0552 - V = 0$$

$$V = - 0,6731 - 0,0552 - 0,0552$$

$$V = 0,5627 \text{ kN}$$

$$+ \Sigma M = 0$$

$$0,6731 (0,164) - 0,0552 (0,082) - 0,0552$$

$$(0,3335) + 0,6731 (0,164) + M = 0$$

$$0,11038 - 0,00452 - 0,01840 + 0,11038 + M$$

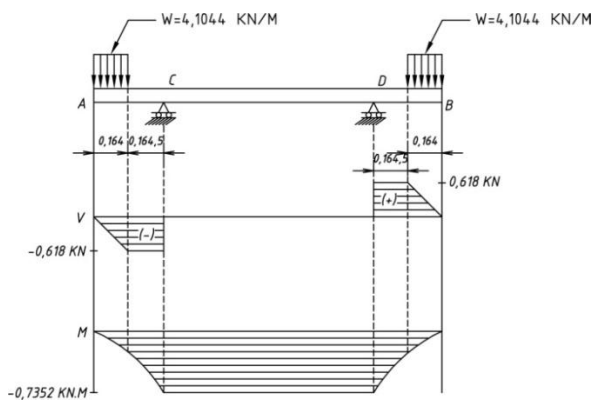
$$= 0$$

$$M = - 0,11038 + 0,00452 + 0,01840 -$$

$$0,11038 = -0,1978 \text{ kN.m (5)}$$

Beban Momomen Lentur

Sedangkan perhitungan beban momentum lentur menggunakan diagram momen lentur dan tegangan geser yang diperlihatkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Diagram momen lentur dan tegangan geser

Dimana:

$$ML = WL \cdot \tau L \text{ dan}$$

$$WL = \pi/32 \cdot d^3 = \pi/32 \cdot (0,135)^3 = 0,0002414 \text{ m}^3$$

maka, dimana tegangan lentur adalah:

$$\tau L = \frac{P \cdot L/2}{\pi/32 \cdot d^3}$$

$$\tau L = \frac{11850.1732/2}{\frac{\pi}{32} \cdot 0,00246}$$

$$= \frac{11850.1732/2}{0,0981 \cdot 0,00246}$$

$$= \frac{10262,1}{0,000241}$$

$$\tau L = 42510771 \text{ kg/m}^2$$

Sehingga:

$$ML = 0,000241 \cdot 42510771 = 10262,1 \text{ Kg} \cdot \text{m}$$

KESIMPULAN

Berdasarkan survey, pengujian dan pengukuran yang dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan. Pertama, peristiwa patah gandar terjadi hanya pada bagian punggung potongan I - II pada kereta gerbong karena *overloaded*. Hal ini disebabkan bagian *force fit*. Bagian inilah yang paling rawan pada saat pemasangan roda kedalam liang roda (naaf).

Kemudian, analisa faktor keamanan gandar dalam keadaan statis dengan menggunakan bahan gandar baja ST 60 dengan tegangan yang didapat sebesar 48 kg/mm² yang dirasa cukup aman. Hal ini karena tegangan yang diperkenankan sebesar 60 kg/mm².

Terakhir, gandar akan menjadi rawan patah apabila posisi dari batang gandar miring setelah melalui pengepresan paksa (*assembly process*) untuk dimasukkan kedalam lubang roda.

REFERENSI

Corni, I., N. Symonds, R. J. K. Wood, A. Wasenczuk, D. Vincent. Real-time on board condition monitoring of train axle bearings. *The Stephenson Conference – Research for Railways*. 2015: 1-14.

Kouroussis, G. D. P. Connolly, O. Laghrouch, M. C. Forde, P. Woodward and O. Verlinden. Robustness of railway rolling stock speed calculation using ground vibration measurements. *MATEC Web of Conference*. 2015; 20: 1-10.

Moreno, J., J. M. Riera, L de Haro, C. Rodriguez. A Survey on future railway radio communication service: challenges and opportunities. *IEEE Communication Magazines*. 2015; 53 (10): 62-68.

Moretto, S., D. K. Robinson, J. Schippl, A. Moniz. Beyond Visions: Survey to the High-speed Train Industry. *Transportation Research Procedia*. 2016; 14:1839-1846.

Purnama, A. dan Ariosuko DH. Analisis Perbandingan Sifat Fisis dan Mekanis Bantalan Peluru Baru, Telah Dipakai dan Rusak untuk Kendaraan Bermotor Roda Dua. *SINERGI*. 2014; 18 (2): 92-98.

Qiu, J., Li F. and Wang J. Damage detection for high-speed train axle based on the propagation characteristics of guided waves. *Structure Control Health Monitor*. 2016: 1-14.

Subyanto, M. *Dinamika Kendaraan Rel Bagian II*. Penerbit CV. Komala untuk PJKA. 1977.

Subyanto, M. *Dinamika Kendaraan Rel Bagian I*. Penerbit CV. Komala untuk PJKA. 1977.