

KAJIAN KEAMANAN PENGOPERASIAN PUBLIC TRANSPORT TINJAUAN TERHADAP KEKUATAN RANGKA BODY BUS

B. M. Sudiro

Pusat Teknologi Material
BADAN PENGKAJIAN DAN PENERAPAN TEKNOLOGI
Gedung II BPPT, Lt. 22, Jl. MH.Thamrin 8, Jakarta Pusat
E-mail : bambangbms@yahoo.com

Abstract

In order to meet the safety and security of the public transportation, design specification of construction body bus or bus frame structures should have an appropriate structural strength and comply with standard design including the safety factor and selection of material besides static and dynamic testing of the part of body bus. It is also realized that a bus carrying passengers have to give secure to the passengers also driver. The fact that a technology concerning with metal works industry to fascinate the body bus industry is being used in small and medium body bus industries. Eventhough some of the body bus industries having designer background but it may still develop their design capability by using advanced technology. Materials to be used for designing parts of body bus should meet specific requirements. It could be understood that safety and security during operation is a priority matter. Lifetime of the bus parts or components may be predicted through the dynamic or fatigue test from its parts or components. Palmgren and Miner hypothesis may be used in dynamic ratio decision in connection with fatigue test application up to the fraction of the parts or components being tested.

Kata kunci : komposisi bahan baku, faktor keamanan, kapasitas, dan beban operasional.

1. PENDAHULUAN

Masalah keselamatan dan keamanan sarana transportasi umum sudah menjadi perhatian masyarakat pengguna seperti pengguna bus kota maupun bus untuk antar kota. Industri karoseri di Indonesia saat ini telah berkembang dan mampu membuat berbagai jenis alat pengangkut penumpang seperti bus kota, bus antar kota dalam berbagai ukuran berat, oleh karena itu dipandang perlu melakukan kajian lebih lanjut tentang ketentuan yang mengatur desain rangka *body bus* guna menjamin keselamatan, keamanan serta kenyamanan penumpang maupun masyarakat pengguna jalan raya lainnya. Dari hasil kajian di atas dapat diperoleh gambaran tentang standar rangka *body bus* termasuk pemakaian material, faktor keamanan maupun prosedur proses manufakturingnya.

Rangka *body bus* terkait dengan desain ruang penumpang, tempat pengemudi dan tempat barang bawaan penumpang (bagasi) dan faktor estetika juga menjadi pertimbangan desain *body bus*.

Disamping faktor keamanan yang diperhitungkan pada waktu desain rangka *body bus*, juga dipertimbangkan pula faktor ekonomis seperti perbandingan daya dan berat kendaraan serta volume dan beban (Nash, 2005).

Untuk faktor beban dapat dipertimbangkan berat rangka *body bus*, pemilihan bahan baku yang tepat dengan faktor keamanan yang diperhitungkan dalam desain rangka *body bus* tersebut, juga perhitungan berat dan kekuatan rangka penahan *body bus* (*chassis*) yang bersangkutan.

Kekuatan struktur rangka *body bus*, termasuk rangka penahannya (*chassis*) memegang peranan yang sangat vital untuk menjamin keselamatan operasional alat transportasi bus (Anglin, 2004).

Di lain pihak kekuatan struktur rangka *body bus* dipengaruhi oleh jenis material dan faktor keamanan yang digunakan. Untuk pemakaian bahan baku baja karbon rendah (*low carbon steel*) perlu pertimbangan lebih lanjut jika dibanding dengan memakai material baja paduan rendah (*high strength low alloy steel*) (Avner, 2007).

Jenis rangka penahan *body bus* (*chassis*) dapat dikategorikan sebagai *chassis* yang terpisah dari bodi busnya, *semi integrated* dan *integrated body bus*. Pada jenis *integrated body bus* yang beban seluruh bus diperhitungkan untuk kekuatan struktur rangka bodi bus. Hal dipertimbangkan mengingat jenis ini tidak terdapat rangka penahan bodi (*chassis*) secara terpisah.

Pada rangka penahan *body bus* yang tidak dilengkapi dengan *body mounting*, desain rangka lantai karoseri bus dilakukan di atas rangka penahan bodinya dan terdiri dari *cross member* yang diikat pada rangka penahan bodi dengan *bracket*. Pengikatan *chassis* dapat dilakukan dengan sambungan las, keling atau mur-baut. Untuk desain *chassis* yang dilengkapi dengan *body mounting*, rangka lantai yang terdiri dari *cross member* dan *longitudinal member* didesain secara terpisah di luar rangka penahan *body bus*nya dan dipasang pada *body mounting* (Anglin, 2004).

Sedang desain rangka bodi atau konstruksi rangka dinding karoseri bus dapat didesain dengan cara terpisah atau secara langsung di atas *chassis*. Rangka dinding ini terdiri dari pilar berbentuk profil persegi atau profil U dengan penguat (*reinforcement*) arah horizontal sepanjang rangka karoseri *body bus*.

Di samping batang penguat arah horizontal, didesain pula batang pengaman diagonal yang berfungsi sebagai pengaman karoseri bodi bus terhadap arah gerak bus atau jika terjadi goncangan selama operasionalnya.

Untuk rangka *body bus* yang terpisah dengan *chassis*, rangka *body bus* tersebut dibuat juga secara terpisah dengan *chassis*nya sebelum disatukan atau dipasang dengan rangka penahan bodi bus. Disamping rangka bodi bus dibuat secara terpisah dengan *chassis*nya, dapat pula dilakukan di atas *chassis*nya yaitu dengan mengikatkan rangka dinding karoseri *body bus* dengan *chassis*nya, kemudian secara bertahap dibuat rangka lantai *body bus* diikuti dengan tahapan sebagaimana pembuatan rangka karoseri *body bus* di atas.

Untuk mengetahui umur operasional rangka *body bus* dapat dipergunakan hipotesa yang dibuat oleh *Palmgren & Miner* (2004) yang menyatakan bahwa kelelahan suatu komponen disebabkan oleh tingkat tegangan yang diberikan pada sejumlah *cycle* tertentu dibagi dengan seluruh *cycle ratio* atau kumulasi dari tingkat kegagalannya. Jika pembebanan berulang ditujukan pada rangka *body bus* secara berulang sampai pada batas kerusakannya, maka jumlah *cycle ratio*-nya akan menjadi sama dengan satu sebagaimana rumusan (1).

$$D = \sum_{i=1}^k \left\{ \frac{n_1}{C_1} + \frac{n_2}{C_2} + \frac{n_3}{C_3} + \dots + \frac{n_i}{C_i} \right\} = 1.0 \quad (1)$$

D : Jumlah *cycle ratio*

n_i : Jumlah *loading cycles* pada tingkat tegangan i

C_i : Jumlah *loading cycle*

k : Jumlah tingkat tegangan

Metode analisis yang dibuat oleh *Palmgren & Miner* (2004) ini didasarkan pada teori kelelahan dengan melakukan pengujian dinamis sampai pada batas kelelahan komponen yang diuji hingga terjadi kerusakan pada sampel uji cobanya.

Apabila pada sampel uji dilakukan pembebanan dinamis hingga mencapai batas kelelahannya dan meliputi semua tingkat tegangan amplitudonya, maka jumlah kerusakan yang terjadi adalah merupakan jumlah dari perbandingan *cycle*-nya dan kegagalan akan tetap terjadi jika jumlah *cycle ratio*-nya sama dengan satu (Pawlouski, 2002).

Pemakaian bahan baku untuk rangka *body bus* dapat ditentukan berdasar pada berbagai pertimbangan seperti faktor ekonomis, di samping faktor teknis yang terkait dengan faktor keamanan dan keselamatan operasionalnya.

Disamping itu, pertimbangan ekonomis dimaksud agar harga jual satu unit bus dapat mampu bersaing dengan harga jual bus sejenis di pasar bebas, sedang faktor teknis terkait dengan proses pembuatan atau produksi satu unit bus dan juga masalah umur pemakaian serta perawatannya.

Untuk produk otomotif telah diberlakukan standar pemakaian bahan baku sebagaimana dalam ASTM A-570, ASTM A-569, DIN 1623, DIN 1541, DIN 1016, DIN St 14, DIN St.13, DIN St 34, DIN St 37, BS 1449, JIS G-3113, JIS G 3131, JIS 3141



maupun standar nasional SNI yang terkait.

Sumber : *Indonesia Car Design*

Gambar 1. Rangka penahan *body bus*



Sumber : *Indonesia Car Design*

Gambar 2. Rangka *Body bus*

Spesifikasi produk yang dipergunakan untuk membuat karoseri bus perlu memperhatikan standar laik jalan yang ditetapkan oleh DitJen.Perhubungan Darat dan juga mengikuti spesifikasi teknis dari Agen Tunggal Pemegang Lisensi (ATPM) yang merupakan agen lisensi terhadap berbagai jenis merk kendaraan bermotor (otomotif).

Sebagai contoh pada ketentuan standar yang ditetapkan oleh DitJen.Perhubungan Darat guna pembuatan karoseri untuk salah satu jenis alat transportasi darat sebagaimana dalam Tabel 1.

Tabel 1. Ketentuan standar dimensi rangka *body bus* (Dit.Jen.Perhubungan Darat 1995)

N o.	Uraian	Ketentuan standar
1.	Panjang maksimal dari mesin depan	62% dari jarak antar roda
2.	Lebar maksimal karoseri bodi terhadap roda	+ 5 cm dari kiri dan kanan
3.	Tinggi maksimal karoseri bodi	1,4 dari lebar bodi

Guna memastikan keandalan bahan baku yang dipergunakan pada proses produksi rangka *body bus* atau karoseri bus maupun rangka penahan *body bus* (chassis), dilakukan pula uji statik serta uji dinamik juga uji kelelahan (*fatigue*) untuk mengetahui kekuatan tarik, tegangan lengkung, batas tegangan patah maupun umur pemakaian

atau operasional komponennya (Davis, 2005).

2. BAHAN DAN METODE

Sebagai bahan kajian analitis difokuskan pada pengaruh indeks kelelahan bahan baku yang digunakan atau *scatter factor* terhadap spektrum tegangan yang dapat berpengaruh terhadap batas kelelahan rangka *body bus*, dalam hal ini difokuskan pada bahan baja paduan (*high strength low alloy steel*) QSTE 380 TM dengan komposisi 0,12% C, 1,30% Mn, 0,50% Si , sedang variabel *scatter factor* 1,5 , 2,0 , 2,5 dan 3,0 dengan 5 variabel pembebanannya hingga mencapai 1000 cycle simulasi.

Batas kelelahan bahan baku, dapat diketahui melalui uji coba yang dilakukan dengan memberikan pembebanan dinamis dengan mempergunakan *fatigue and dynamic testing machines*, sedang untuk mengetahui adanya kerusakan selama dilakukan pengujian dipergunakan metode penetrasi warna, ultrasonik dan radiografi. Rumusan yang dipergunakan yaitu dengan memakai hipotesa *Palmgren & Miner* sebagaimana tersebut dalam rumusan (1) di atas.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Batas umur kelelahan yang dapat dicapai oleh rangka *body bus* yaitu dengan melihat tingkat kerusakan rangka bodi busnya atau awal terjadinya retak (retak mula) pada saat dilakukan uji dinamis tersebut (Davis, 2005). Awal terjadinya retak pada tingkat kelelahan yang terjadi dapat diasumsikan jika jumlah *cycle ratio* sama dengan satu, sedang parameter yang dapat mempengaruhi perbesaran jumlah *cycle ratio*-nya yaitu pengaruh yang disebabkan oleh pemakaian pembebanan seperti tingkat tegangan yang berbeda, sedang pengaruh jumlah perbandingan *cycle* disebabkan oleh jumlah kerusakan yang dapat diakibatkan oleh pembebanan yang terus menerus pada *cycle* yang sama (Leeming, 2006 & Nunney, 2002).

Pada kondisi rangka *body bus* belum mencapai batas retak mulanya disebut sebagai umur yang aman dari rangka *body bus* atau sebagai kondisi *safe life*. Dan jika kerusakan terjadi lebih awal maka umur yang aman pada rangka *body bus* yang didesain dibagi dengan nilai *scatter factor*-nya.

Oleh karena itu, pada analisis umur lelah untuk struktur rangka *body bus* yang aman diberikan *scatter factor* dan untuk menentukan jumlah operasional yang masih tergolong aman,

dapat di perhitungkan pula melalui analisis berikut ini.

Indeks kelelahan bahan atau *scatter factor* untuk rangka *body bus*nya dapat ditentukan beberapa variabel dan rangka *body bus* tersebut dalam hal ini dibuat dari baja paduan *QSTE 380 TM* dimana tegangan maksimum sebesar 550 N/mm² dan tegangan minimumnya sebesar 430 N/mm², sedang tegangan rata-rata sebesar 490 N/mm² (Tabel 2).

Tabel 2. Hasil uji dinamis dengan 5 variabel pembebanan

Cycle pembebanan (n)	Tegangan maksimum (N/mm ²)	Tegangan minimum (N/mm ²)	Tegangan rata-rata (N/mm ²)	n/C
150	550	430	490.0	0.15
140	520	400	460.0	0.14
130	490	370	430,0	0.13
120	460	340	400.0	0.12
110	430	310	370.0	0.11

Sumber : Hasil simulasi uji coba di laboratorium mekanik Bandung

Pada simulasi 1000 cycle diperoleh harga n/C rata-rata sebesar 0,13, sedang jika tanpa diberikan *scatter factor* akan diperoleh umur rangka *body bus* tersebut sebesar 1000 : 0,13 = 7692,30 operasi pemakaiannya, dan jika diberikan *scatter factor* 1,5 , 2,0, 2,5 dan 3.0 maka umur rangka *body bus* yang aman masing-masing 5128,20 , 3846,15 , 3076,92 dan 2564,10 operasional pemakaiannya.

Simulasi menggambarkan perkiraan umur operasional dari komponen rangka *body bus* yang akan dipergunakan pada saat sarana transportasi bus kota atau bus antar kota tersebut dioperasikan sebagai sarana transportasi umum (Keeman, 2001). Dan dari hasil pengujian dengan variabel *scatter factor* dan simulasi 1000 cycle dimaksudkan adalah untuk mengetahui sejauh mana pengaruhnya terhadap umur pemakaian operasional rangka *body bus*nya agar diperoleh batasan yang aman (*safe life*) juga batasan umur untuk rangka *body bus* yang masih layak digunakan dalam operasionalnya (*fail safe*). Dengan 4 variabel pengambilan *scatter factor* untuk 5 variabel pembebanan diperoleh umur operasional rangka *body bus* sebagaimana dalam Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan umur operasional dengan variabel *scatter factor*

Scatter factor	Umur operasional	Batas pemakaian
1,5	5128,20	512.820
2,0	3846,15	384.615
2,5	3076,92	307.692
3,0	2564,10	256.410

Sumber : Hasil simulasi uji coba laboratorium mekanik Bandung

Material yang dipergunakan untuk rangka *body bus* dibuat dari baja karbon yang memiliki kandungan 0,12% C dengan kandungan mangan sampai dengan 1,30% Mn dan silicon 0,5% Si, sedang kandungan sulfur tidak lebih dari 0,020% S, dan phosphor tidak lebih dari 0.025% P. Dari hasil perhitungan umur operasional terhadap beberapa variabel *scatter factor* yang diambil dapat dilihat bahwa semakin besar *scatter factor* yang diambil maka umur pemakaian rangka *body bus* yang aman semakin kecil, hal ini berarti bahwa pihak operator atau pengelola bus perlu mempertimbangkan untuk peremajaan armada busnya, agar dapat mengoperasikan armada busnya yang mampu menjamin keselamatan dan keamanan pengguna bus maupun pemakai jalan lainnya. Mengingat rangka *body bus* nantinya tertutup oleh plat dan juga interior sehingga menyulitkan untuk dilakukan pemeriksaan rutin untuk mengetahui sejauhmana rangka *body bus* tersebut masih berfungsi dengan semestinya yang menjamin keamanan dan keselamatan operasional bus. Oleh karena itu material untuk rangka *body bus* perlu dipilih dari baja struktur yang memiliki kekuatan dan tahan korosi serta mudah dikerjakan dengan mesin las (*weldability*) (Degarmo,2003) . Untuk memperoleh kekuatan dan sifat material yang lebih baik seperti ketahanannya terhadap *atmospheric corrosion* dan *weldability*, pada baja paduan rendah (*high strength low alloy steel*) diberikan bahan paduan lain seperti *chromium*, *nickel*, *molybdenum*, *copper*, *vanadium*, *titanium*, *zirconium* dengan kandungan mangan sampai dengan 2,0% Mn. Spesifikasi material dari bahan *high strength low alloy steel* yang biasa dipergunakan untuk bahan baku rangka *body bus* sebagaimana dalam Tabel 4 (Smith & William, 2006).

Tabel 4. Spesifikasi material baja struktur paduan rendah (Smith & William, 2006)

Standard material	C (%)	Mn (%)	Si (%)	S (%)	P (%)	Tensile strength (N/mm ²)	Yield strength (N/mm ²)
QSTE340T	0,1	1,3	0,50	0,020	0,02	510	315
M	2	0	0,50	0,020	5	550	355
QSTE380T	0,1	1,5	0,50	0,015	0,02	620	420
M	2	0	0,50	0,015	5	670	460
QSTE420T	0,1	1,6	0,50	0,040	0,02	540	235
M	2	0	0,55	0,035	5	580	275
QSTE460T	0,1	1,6	0,60	0,035	0,02	630	355
M	2	0			5		
DIN st 37	0,1	1,4			0,04		
DIN st 44	7	0			5		
DIN st 52	0,1	1,5			0,04		
	8	0			0		
	0,2	1,6			0,03		
	0	0			5		

High strength low alloy steel yang memiliki kandungan 0,05 s/d 0,25 % C , dengan bahan paduan *manganese* sampai dengan 2,0% Mn, bahan paduan *chromium, nickel, molybdenum, copper, vanadium, titanium, dan zirconium*, dimana *yield strength*nya lebih besar dari 275 Mpa atau sama dengan 40 ksi, mempunyai sifat mekanik yang baik , mudah dikerjakan dengan pengelasan serta ketahanan terhadap korosi udara yang lebih baik dibanding baja karbon biasa (Smith & William, 2006). *High strength low alloy steel* dapat dikelompokkan menjadi *weathering steel* dimana kandungan Cu dan P kecil dan memiliki sifat tahan korosi, *micro alloyed ferrite-pearlite steel* yang memiliki kandungan 0,1% C dan bahan paduan vanadium serta titanium (Smith & William, 2006).

4. KESIMPULAN

- Material yang dipergunakan untuk rangka *body bus* perlu didesain dengan memakai bahan baku yang memiliki spesifikasi tertentu, yaitu yang tahan terhadap korosi dan memiliki kekuatan yang tinggi, mengingat sering mengalami kelembaban yang tinggi serta sulit untuk dilakukan pemeriksaan rutin karena rangka *body bus* tertutup oleh plat *body bus* maupun interior kendaraan.
- Pemilihan material untuk rangka *body bus* akan berbeda dengan material yang dipergunakan untuk rangka penopang *body bus* (*chassis*), hal ini mengingat material *chassis* dipilih dari baja paduan yang memiliki sifat ketahanannya terhadap korosi maupun kekuatan yang

- lebih tinggi dari pada rangka *body bus*nya.
- Material yang cocok digunakan terbuat dari baja karbon yang memiliki kandungan 0,12% C, 1,30% Mn, 0,50% Si dengan *tensile strength* 510 N/mm² dan *yield strength* 315 N/mm²
- Untuk menghindari terjadinya korosi pada rangka *body bus*, dapat dilakukan dengan pemakaian *coating* atau pengecatan sebelum tertutup oleh interior secara keseluruhan *body bus*nya.
- Penggunaan material yang tepat untuk rangka *body bus*, dapat memperpanjang umur operasional pemakaian bus dan juga mengurangi biaya perbaikannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anglin, 2004, *Automotive Mechanic*, Mc.Graw Hill nt, Singapore.
- Davis, 2005, *Testing and Inspection of Engineering Materials*, Mc.Graw Hill Book Co, NY
- Degarmo, 2003, E.Paul, *Materials and Process in Manufacturing*, American Published Book
- Leeming, 2006, *Heavy Vehicle Technology*, Hutchingson
- Nash, 2005, *Automotive Technology*, Mc.Graw Hill Co, Canada
- Nunney, 2002, *Light and Heavy Vehicle Technology*, Butterworth Keinemann Ltd
- Palmgren & Miner, 2004, *Residual Stress and Fatigue Life Analysis* , Prentice-Hall, London
- Pawlouski, 2002, *Vehicle Body Engineering*, Business Book Limited, London
- Smith & William, 2006, *Foundations of Materials Science and Engineering*, Mc.Graw Hill Co.