

ANALISA KEKUATAN SUPER STRUKTUR BUS AKIBAT KECELAKAAN TERGULING (*ROLLOVER*) DENGAN MENGGUNAKAN UJI PENDULUM

Oleh :

Ahmad Fauzan Suryono

Staf Pengajar Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Bengkulu
Jl. W.R Supratman Kandang Limun, Bengkulu 38371 A Telp (0736) 344087, 22105 – 227

Abstract

Rollover accidents are critical issue in many countries in the world because it is one mode that often causing the number of deaths and serious injuries to passengers and crews bus. Therefore, to ensure the safety of passengers necessary to test the strength of the bus superstructure prototype before the bus have road worthy license. Testing is guided by the standards that apply to a state. One of the standards used at many countries in the word is ECE-R66 (Economic Commission for Europe-Regulation 66) which regulates the construction and design of many types of passenger vehicles. In this research, methods of testing are the pendulum test and it was simulated by Finite element software soft ware. The purposes of this study are evaluating compatibility this software, determining energy absorption capacity and the deformation that occurs in the superstructure when a loads subjected from the outside of superstructure. In the pendulum test simulation the maximum deformation value is 520 mm at time is 0.45 s, and 466 mm at time is 1.5 s. The maximum stress occurred at the joint between the roof structure with cantrail and it's value equal to 266 at simulation. Beside it, the simulation show the energy is absorbed by the superstructure at rollover test simulation equal to 66.23%. Base on simulation result, it can be concluded that the modeling vehicle is indicated safety for passenger if occur rollover accident.

Keywords : ECE-R66, residual space, rollover test, pendulum test, Finite element

PENDAHULUAN

Kecelakaan terguling pada kendaraan bus merupakan jenis kecelakaan yang sering terjadi dan memakan banyak korban jiwa. Terguling didefinisikan sebagai suatu manuver kendaraan yang berputar 90° atau lebih pada sumbu longitudinalnya sehingga mengakibatkan badan kendaraan berkontak langsung dengan permukaan tanah atau jalan [1].

Hal ini sering terjadi terutama di negara-negara yang berkembang yang banyak menggunakan bus sebagai alat transportasi massal. Berdasarkan data kecelakaan bus yang terjadi di Indonesia dari tahun 2008-2010, tercatat bahwa dari 40 kasus kecelakaan bus 20 kasusnya merupakan jenis kecelakaan terguling dengan korban jiwa meninggal mencapai 56 orang serta luka-luka sebanyak 256 orang [2]. Tingginya angka kecelakaan tersebut disebabkan oleh faktor teknis dan non teknis. Untuk Faktor teknis mencakup spesifikasi kendaraan yang tidak mengikuti

standar pengujian. Sedangkan untuk non teknis di antaranya kontur jalan yang tidak rata yang menyebabkan kendaraan tidak stabil atau faktor kesalahan sopir yang ugal-ugalan ketika mengendarai bus (*human error factor*).

Salah satu faktor teknis yang harus diperhatikan dalam perancangan bus adalah kekuatan dari superstruktur bus. Superstruktur bus harus mempunyai kemampuan yang besar dalam menyerap energi dampak apabila terjadi kecelakaan bus terguling terutama ketika struktur tersebut berkontak dengan permukaan jalan. Oleh karena itu dalam perancangan kekuatan superstruktur bus harus mengacu kepada standar-standar keselamatan yang sudah ada di berbagai negara. Untuk saat ini untuk beberapa negara regulasi tentang kekuatan superstruktur bus ini banyak mengacu kepada UN-ECE R66 (*United Nations – Economic Commission for Europe*).

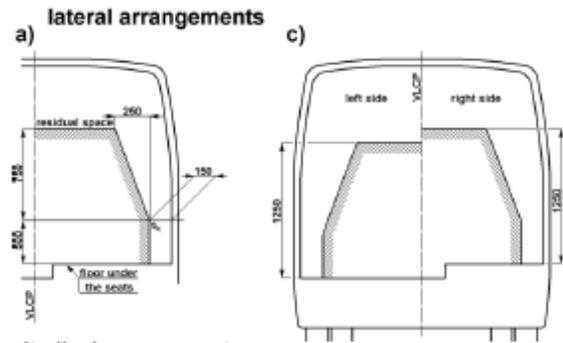
Regulasi ini tidak hanya di pakai untuk kawasan Eropa tapi di negara-negara lain banyak mengadopsinya sebagai standar pengujian kekuatan superstruktur kendaraan

bus, misalnya SANS 1563 oleh negara Afrika Selatan dan ADR 59/00 oleh pemerintah Australia [3]. Secara umum standar tersebut didasarkan kepada pentingnya menjaga keselamatan penumpang.

UN ECE-R66 “Uniform Technical Prescription Concerning The approval of Large Passenger Vehicles With Regard to The Strength of their Superstructure” adalah standar pengujian kendaraan yang berlaku negara –negara yang tergabung dalam Masyarakat Ekonomi Eropa (MEE) [4]. Standar ini mengatur tentang kekuatan superstruktur kendaraan ketika dilakukan uji guling (*rollover test*). Aturan ini hanya berlaku untuk kendaraan jenis bus berlantai satu (*single deck*) yang dibuat untuk mengangkut penumpang lebih dari 22 orang ditambah dengan sopir dan awakannya. Dalam standar ECE-R66 yang dianalisa adalah kekuatan superstrukturnya, bukan *bodywork*. Superstruktur adalah komponen-komponen dari kendaraan yang berpengaruh langsung terhadap kekuatan dan penyerapan energi ketika kecelakaan *rollover* terjadi. Sedangkan *bodywork* adalah semua struktur komplit dari kendaraan yang sudah siap jalan yang mencakup ruang penumpang, ruang sopir, bagasi dan bagian-bagian mesin lainnya [4].

Standar ECE R66 menekankan bahwa superstruktur kendaraan harus memiliki kekuatan yang cukup untuk menjamin keselamatan penumpang, sopir dan awak bus jika terjadi kecelakaan terguling. Untuk itu didefinisikan ruang aman penumpang (*residual space*) dengan persyaratan sebagai berikut :

1. Tidak ada bagian dari kendaraan yang berada di luar *residual space* pada awal pengujian (seperti pilar, *safety ring*, bagasi) tetapi menjadi masuk ke *residual space* selama atau setelah pengujian.
2. Tidak ada bagian-bagian bus yang berada di *residual space* seperti kursi penumpang yang keluar dari daerah tersebut selama pengujian berlangsung.

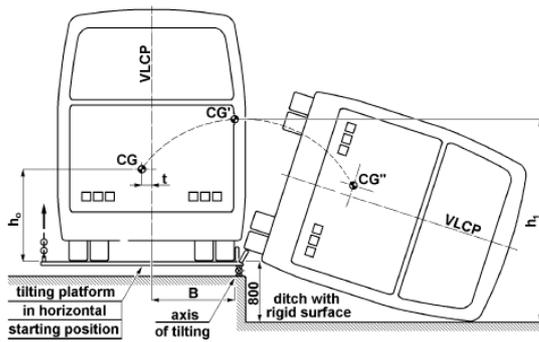


Gambar 1. Standar zona aman penumpang (*residual space*) menurut ECE R66 [4]

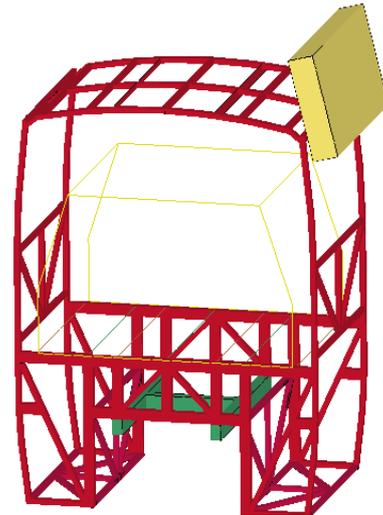
Menurut standar ECE-R66 ada beberapa metode pengujian *rollover* terhadap kekuatan superstruktur bus yaitu :

1. Pengujian dinamik dengan menggunakan badan kendaraan dalam kondisi lengkap.
2. Pengujian dinamik dengan menggunakan *body section*
3. Pengujian kuasistatik dengan menggunakan *body section*
4. Menggunakan simulasi computer dengan pembebanan dinamik.

Prosedur pengujian dilakukan dengan cara kendaraan uji ditempatkan di atas landasan putar (*tilting platform*) dengan suspensi dalam kondisi terkunci. Kemudian diputar perlahan-lahan menuju posisi tidak stabilnya (*unstable equilibrium position*). Arah penggulingan kendaraan bergantung kepada posisi lateral pusat massa (*centre of gravity*) kendaraan. Prinsipnya adalah bahwa kendaraan harus diposisikan sedemikian rupa sehingga jarak lateral antara engsel (*axis of tilting*) menjadi maksimum. Kendaraan uji harus diputar tanpa terguncang dan tanpa efek dinamis hingga mencapai kondisi *unstable equilibrium*. Kecepatan putar meja putar tidak boleh melebihi 5° per detik atau 0,087 radian per detik [4].



Gambar 2. Standar pengujian guling menurut ECE R66 [4]



Gambar 3. Model *body section 2 bay*

METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini pengujian dilakukan dengan menggunakan simulasi komputer dan memanfaatkan perangkat lunak elemen hingga LS Dyna 971. Kelebihan LS Dyna 971 adalah memudahkan dalam melakukan simulasi model dalam kondisi dinamik non linear seperti tabrakan, struktur yang mengalami beban impak, rancangan peralatan pertahanan dan lain-lain [5]. Dengan penggunaan perangkat lunak ini diharapkan hasilnya tidak berbeda jauh dengan kondisi aktual di lapangan. Data dimensi kendaraan didasarkan kepada data lapangan yang berasal dari salah satu perusahaan karoseri yang terdapat di Jawa Barat. Sedangkan bagian yang dianalisis adalah *body section* bus pada bagian tengah (*middle section*) yang terdiri dari 2 bay. Dalam aplikasi perangkat lunak elemen hingga, dapat dikelompokkan ke dalam tiga tahapan yaitu: *pre-processor*, *solution process*, dan *post processor*. Pada tahap *pre processor* dilakukan pemodelan geometri, penentuan jenis material, pemberian beban, serta penentuan syarat batas.

Pada penelitian ini, bagian superstruktur bus yang diuji adalah *body section* yang terdiri dari 2 bay. Standar ECE R66 mensyaratkan bahwa pengujian kekuatan superstruktur bus adalah terdiri dari 2 bay. Bagian yang dimodelkan adalah *frame* bus, pendulum, daerah residual stress serta sasis kendaraan. Total massa kendaraan untuk 2 bay adalah 1,381 ton atau 1381 kg.

Jenis elemen yang digunakan adalah elemen shell dengan jumlah total elemennya 62555 elemen. Sedangkan Material yang digunakan untuk membuat superstruktur bus adalah baja struktur *SAPH 41* (JIS G3113) yang sering digunakan untuk material *frame* bus. Nilai-nilai harga kekuatannya adalah sebagai berikut :

Tabel 1 : Sifat material yang digunakan

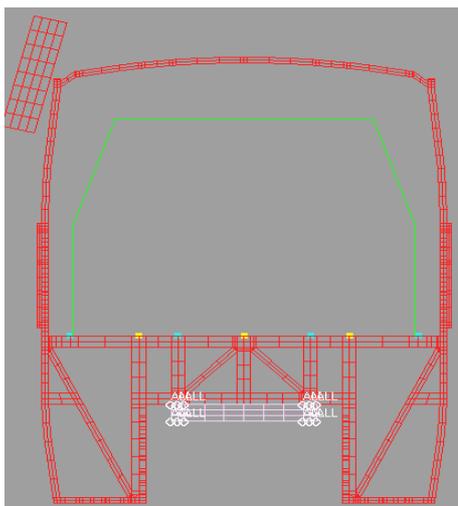
<i>Yield stress</i>	255 MPa
<i>Yield strain</i>	0,125%
<i>Ultimate stress</i>	402 MPa
<i>Poison ratio</i>	0,3
<i>Ultimate strain</i>	20%
<i>Modulus Young</i>	200 GPa
<i>Tangent Modulus</i>	740 MPa

Pada perangkat lunak elemen hingga, jenis material yang dipilih adalah sesuai dengan tabel berikut :

Tabel 2.2 Jenis material yang digunakan [6]

Komponen Kendaraan	Jenis Material LS Dyna	
Rangka kendaraan (frame)	<i>MAT_TYPE_024, Piecewise Linear Plasticity</i>	
Zona aman (residual space)	<i>MAT_TYPE_09, Nul_Material</i>	
Lantai	<i>MAT_TYPE_20, Material</i>	<i>Rigid</i>
Pendulum	<i>MAT_TYPE_20, Material</i>	<i>Rigid</i>

Sedangkan untuk syarat batasnya maka pada sasis bus dianggap sebagai tumpuan jepit sehingga diasumsikan superstruktur bus tertahan oleh sasis ketika diberikan beban impact.



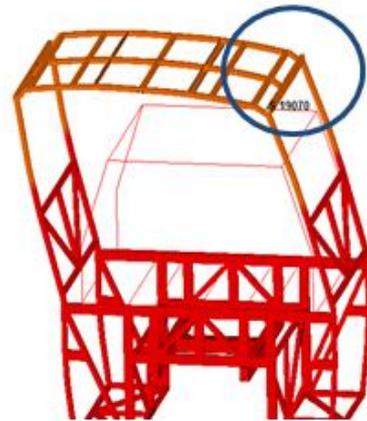
Gambar 4. Penempatan syarat batas tumpuan

Kecepatan pendulum adalah 3,3 m/s dan *control termination*nya adalah 1,5 detik atau diasumsikan setelah 1,5 detik deformasi maksimum sudah tercapai dan superstruktur telah menyerap hampir semua energi impact dari pendulum.

HASIL DAN PEMBAHASAN

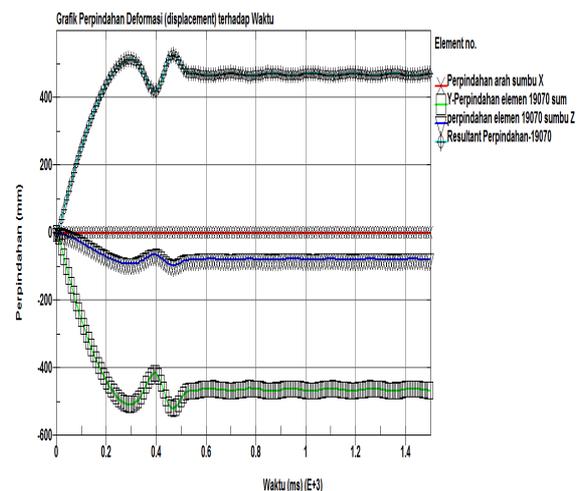
Akibat adanya beban impact dari pendulum menyebabkan terjadinya deformasi pada

superstruktur bus. Hasil simulasi dapat diperlihatkan pada gambar berikut ini :



Gambar 5. Displacement yang terjadi pada superstruktur bus.

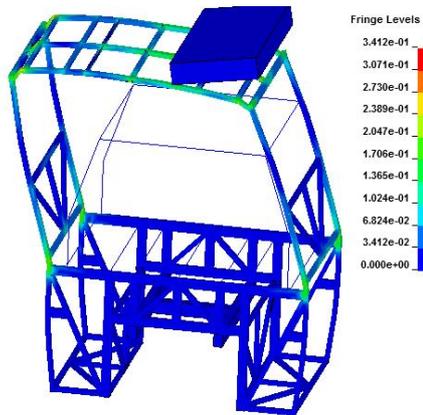
Pada gambar terlihat bahwa perpindahan (*displacement*) yang paling besar terjadi di daerah cantrail yang mengalami beban impact atau pada elemen 19070. Perpindahan maksimum pada nodal 1970 terjadi pada saat $t = 0,45$ detik yaitu sebesar 520,46 mm arah sumbu y sedangkan pada saat $t = 1,5$ detik perpindahan arah sumbu y = 466 mm. Untuk nilai resultan perpindahan superstruktur tidak terlalu berbeda dengan nilai arah $-y$ karena perpindahan arah sumbu z dan x relatif kecil.



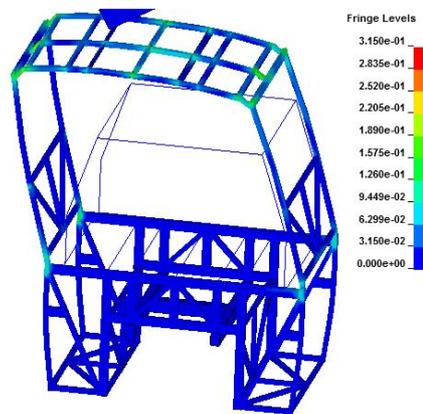
Gambar 6. Grafik hasil simulasi perpindahan terhadap waktu.

Berdasarkan hasil simulasi terlihat bahwa perpindahan superstruktur akibat pembebanan impact masih dikategorikan aman menurut standar ECE R66 karena superstrukturnya belum menyentuh daerah aman penumpang

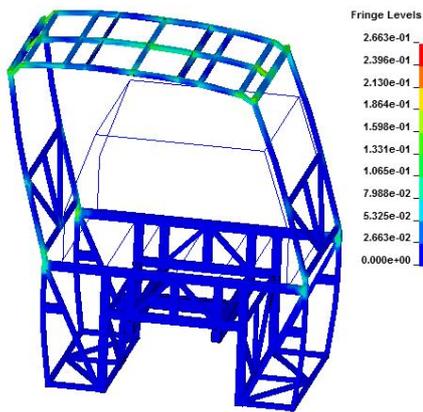
(*residual stress*). Besar tegangan yang timbul akibat pembebanan dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 7. Distribusi tegangan pada saat $t = 0,5$ detik



Gambar 8. Distribusi tegangan pada saat $t = 1,0$ detik

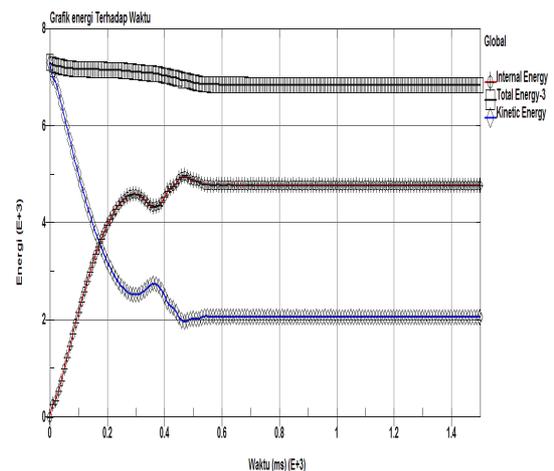


Gambar 9. Distribusi tegangan pada saat $t = 1,5$ detik.

Dari gambar di atas terlihat bahwa tegangan maksimum terjadi pada saat $t = 0,5$ detik yaitu sebesar 341,2 MPa. Sedangkan pada saat $t = 1,5$ detik atau saat dianggap tidak ada lagi

proses penyerapan energi oleh superstruktur, tegangan yang terjadi adalah sebesar 266,3 MPa. Kalau dibandingkan dengan data sifat material superstruktur bus maka tegangan yang terjadi telah melewati tegangan yield material yaitu 255 MPa. Kondisi tersebut memperlihatkan bahwa pembebanan pada superstruktur telah menyebabkan terjadinya deformasi plastis pada material. Walaupun telah terjadi deformasi plastis tapi bus masih dikategorikan aman karena belum melewati tegangan puncak (*ultimate stress*) dari material. Tegangan puncak material adalah sebesar 402 MPa.

Besarnya energi yang diberikan oleh pendulum kepada superstruktur bus adalah 7519,8 joule yang berasal dari massa pendulum sebesar 1381 kg dengan kecepatannya sebesar 3,3 m/s. Hampir semua energi kinetik yang diberikan pendulum diserap oleh superstruktur. Hal tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 10. Grafik penyerapan energi terhadap waktu.

Dari grafik energi di atas terlihat bahwa energi kinetik pendulum mengalami penurunan dan pada saat $t = 0,5$ detik sudah stabil di sekitar 2000 Joule. Sedangkan energi dalam (*internal energy*) pada superstruktur mengalami kenaikan setelah mendapat beban impact dari pendulum. Energi dalam ini merupakan energi kinetik pendulum yang diserap oleh superstruktur bus. Dari grafik juga terlihat bahwa tidak semua energi impact di serap oleh bus. Berdasarkan data, bahwa energi impact pendulum yang diserap superstruktur dalam bentuk energi dalam adalah 4980 J atau sekitar 66,23 %. Sebagian energi yang tidak diserap

oleh superstruktur karena pendulum masih bergerak setelah tidak lagi berkontak dengan superstruktur bus. Ketika pendulum belum menyentuh rangka kendaraan, energi dalam (*internal energy*) masih nol karena belum terjadi deformasi pada struktur tersebut. Setelah mendapat beban impak dari luar mulai terjadi energi dalam pada struktur tersebut karena adanya energi regangan plastis dan elastis. Dari grafik juga terlihat bahwa nilai energi total adalah hampir konstan ketika $t = 0,6$ detik karena merupakan penjumlahan dari energi kinetik dari pendulum dengan energi yang diserap oleh superstruktur. Ini merupakan salah satu indikasi bahwa simulasi yang dilakukan telah benar.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Deformasi (*displacement*) yang terjadi pada superstruktur bus akibat pemberian beban impak belum melewati daerah aman penumpang atau *residual space*.
2. Tegangan maksimal yang terjadi adalah 266,3 MPa pada daerah di sepanjang *cantrail*, yang sudah melewati tegangan *yield material* (255 MPa) tetapi belum melewati tegangan *ultimate material* sebesar 402 MPa.
3. Berdasarkan standar ECE R66 maka struktur dinyatakan aman bagi penumpang apabila terjadi kecelakaan terguling.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Gillespie, T.D. (1994) : *Fundamentals of Vehicle Dynamics*, Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Inc.
- [2]. Nurhadi, I., Zain, R., Mihradi, S., dan Oo, Kyaw Soo. (2011) : *Computer Modeling of Energy Absorbing Capability of Bus Superstructure for Rollover Safety*, Kones, Krakow, Poland.
- [3]. Liang, C.C. dan G.N. Le. (2010) : Analysis of Bus Rollover Protection Under legislated Standards using LS-Dyna Software Simulation Techniques. *International Journal of Automotive Technology*, 11(4): p. 11,
- [4]. UNECE-R66. (2006) : *Uniform Technical Prescriptions Concerning The Approval of Large Passenger Vehicles With Regard to The Strength of their Superstructure*, , United Nations Economic Commission for Europe.
- [5]. Azhari Sastranegara, D.E. (2009) : *Sekilas Contoh Penerapan Teknologi Simulasi di Dunia Militer*; [diakses 20 mei 2012], www.tandef.net.
- [6]. *Livermore Software Technology Cooperation* (2011)