



Efek Tabrakan Pada Kendaraan Bus Sebagai Dasar Pengembangan Sistem Peringatan Dini Terjadinya Kecelakaan Lalu Lintas

Muhammad Nanang Prayudyanto^{1*}, Roy Waluyo², Budi Hartono³

¹Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor
Jl. K.H. Sholeh Iskandar km. 2 Tanah Sareal Kota Bogor 16161, Indonesia

^{2,3}Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor
Jl. K.H. Sholeh Iskandar km. 2 Tanah Sareal Kota Bogor 16161, Indonesia

¹muhammadprayudyanto@gmail.com *, ²roy.waluyo@uika-bogor.ac.id , ³budiha162@gmail.com

*Corresponding author

Tanggal Diterima: , Tanggal Direvisi: , Tanggal Disetujui:

ABSTRACT

Collision Effects on Bus Vehicles as a Basis for Development of an Early Warning System for Traffic Accidents: Safety is one of the serious issues for the national transportation system, hence government launched the Decade of Road Safety Action established in 2013 by the Vice President, because in response to the high rate of road accidents. Statistical data based on the report of the Indonesian National Police, in 2010 the number of deaths due to accidents has reached 31,234 people, which means that every 1 hour there are around 3-4 people who die from road traffic accidents. The study of the effects of crash accidents on heavy vehicle transportation modes is a warning to traffic users. The bus was chosen as the mode of choice because it contains a lot of passengers, has low incline, and often experiences problems in passing bends in the horizontal alignment. The data is taken from 2 (two) sharp bends in West Java, namely Tanjakan Emen in Subang and Tapal Kuda in Cianjur. Crash effects were assessed for frontal crashes and side crashes. The crash effect was analyzed with the ANSYS 2021 R1 Academic software, by varying the bus speed. The bus body design was modeled using Solidworks software. The purpose of this study is to obtain the basic characteristics such as stress, deformation and energy summary on the bus body when a collision occurs at different speeds. The results of the analysis study show that front-to-front collisions are more dangerous and the warning system of this type of bus crashed should be eliminated.

Keywords: Safety, crash, early warning system, bus.

ABSTRAK

Masalah keselamatan transportasi merupakan persoalan besar bangsa, hingga diterbitkan Dekade Aksi Keselamatan Jalan pada tahun 2008 oleh Wakil Presiden, karena tingginya tingkat kecelakaan di jalan. Data statistik berdasarkan laporan Kepolisian Republik Indonesia, pada tahun 2010 jumlah kematian akibat kecelakaan telah mencapai 31.234 jiwa, yang artinya dalam setiap 1 jam terdapat sekitar 3-4 orang meninggal akibat kecelakaan lalu lintas jalan. Kajian efek crash kecelakaan terhadap moda transportasi kendaraan berat merupakan warning bagi pengguna lalu-lintas. Bus diambil sebagai moda pilihan karena berisi penumpang banyak, daya pacu tanjakan yang rendah, dan sering mengalami kendala dalam melewati tikungan pada alinyemen horizontal. Data diambil dari 2 (dua) tikungan tajam di Jawa Barat yaitu tanjakan Emen di Subang dan tikungan Tapal Kuda di Cianjur. Efek Crash dikaji terhadap crash depan-depan dan crash samping. Efek crash dianalisis dengan perangkat lunak ANSYS 2021 R1 Academic, dengan memvariasikan kecepatan bus. Desain bodi bus dimodelkan dengan menggunakan perangkat lunak Solidworks. Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan karakteristik mendasar seperti tegangan, deformasi dan energy summary pada bodi bus saat terjadi tabrakan pada kecepatan yang berbeda. Hasil kajian analisis bahwa tumbukan depan-depan lebih berbahaya sehingga peringatan dini terhadap tumbukan jenis ini perlu segera ditangani.

Kata Kunci: keselamatan, tumbukan, peringatan dini, bus.

I. Pendahuluan

Perencanaan geometrik jalan memiliki peran dalam terjadinya kecelakaan lalu-lintas di Indonesia (Samsudin, 2019), (Pujiastutie, 2006). Di Amerika Serikat penelitian dilakukan oleh the

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) membuktikan bahwa salah satu factor dalam perencanaan geometrik yang berpengaruh dalam kecelakaan lalu-lintas adalah faktor jarak pandang. Di Iran, Mohammed Saeed Monajjem

dari Universitas Teknologi KN Toosi membuktikan adanya 5 faktor pengaruh geometric jalan terhadap kecelakaan di jalan. (Prayudyanto, 2021), menjelaskan bahwa komponen utama perancangan geometrik jalan yang berpengaruh adalah alinyemen horizontal, alinyemen vertikal dan potongan melintang. Pada alinyemen horizontal, bagian lurus yang paling kritis adalah pada tikungan dan pada alinyemen vertikal adalah landai positif (tanjakan), landai negatif (turunan (BSN 2004). (Badrujaman, 2016) menyatakan bahwa pembangunan geometri jalan merupakan pekerjaan yang rumit sehingga perlu pertimbangan dan kajian yang mendalam merujuk pada standar peraturan perundang-undangan yang berlaku. Early warning system merupakan strategi pencegahan terjadinya kecelakaan lalu-lintas dengan memperhitungkan efek lalu-lintas, kendaraan dan manusia dalam simulasi komputer (Pambudi, 2018). Tumbukan adalah analisis matematis untuk mendukung analisis *early warning system*.

II. METODE PENELITIAN

A. Landasan Teori

Dalam pengembangan dunia otomotif, digunakan simulasi yang berhubungan dengan perhitungan matematis sehingga dapat menurunkan biaya pengujian. Di masa sekarang ini, pengujian *crashworthiness* menggunakan dua jenis pengujian, yaitu pengujian fisik (seperti uji tabrak mobil yang akan diproduksi) dan pengujian tabrak yang berbasis simulasi pada komputer. Pengujian berbasis simulasi ini akan memprediksi apa yang akan terjadi pada kendaraan saat terjadi tabrakan, sehingga tes fisik menjadi lebih efektif karena desain telah teruji secara simulasi sebelum akhirnya dilakukan uji fisik (Dhana & Ariatedja, 2020).

Faktor utama dalam kecelakaan adalah kecepatan yang melebihi dari tolerable speed yang ditetapkan (Putra & Suyatno, 2011). **Tabel 1** menjelaskan besaran kecepatan rencana untuk fungsi jalan tertentu dan kondisi kontur medan.

Pada tikungan yang baik harus dilakukan perencanaan dengan mengatur terjadinya keseimbangan antara gaya sentrifugal dan gaya sentripetal. **Gambar 1** menjelaskan keseimbangan gaya-gaya pada tikungan sederhana.

1. Teori Tumbukan pada Kendaraan Akibat Geometrik Jalan

Berdasarkan sifat kelentingan atau elastisitas benda yang bertumbukan, tumbukan dapat

dibedakan menjadi tiga, yaitu tumbukan lenting sempurna, tumbukan lenting sebagian, dan tumbukan tidak lenting sama sekali. Adapun dalam penelitian ini tumbukan yang terjadi adalah tumbukan tidak lenting sama sekali. Persamaan untuk tumbukan tidak lenting sama sekali adalah sebagai berikut.

$$m_1v_1+m_2v_2=(m_1+m_2)v' \dots\dots\dots (1)$$

$$m_1v_1+0=(m_1+m_2)v' \dots\dots\dots (2)$$

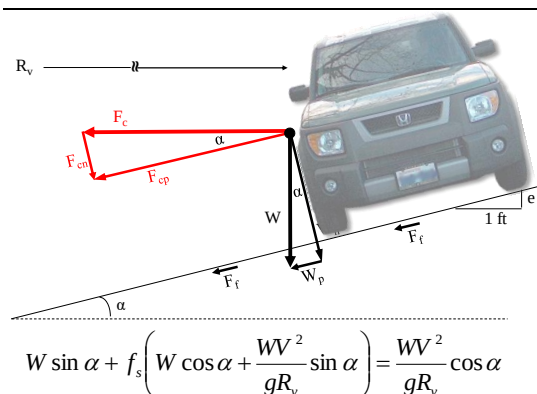
$$v_1=m_1+m_2m_1v' \dots\dots\dots (3)$$

Dimana m_1 adalah massa benda 1, m_2 merupakan massa benda 2 v_1 adalah kecepatan benda 1 v_2 adalah kecepatan benda 2 dan v' adalah kecepatan benda setelah tumbukan

Dalam pengembangan dunia otomotif, digunakan simulasi yang berhubungan dengan perhitungan matematis sehingga dapat menurunkan biaya pengujian (Indrawan, 2017). Di masa ini, pengujian *crashworthiness* menggunakan dua jenis pengujian, yaitu pengujian fisik (seperti uji tabrak mobil yang akan diproduksi) dan pengujian tabrak yang berbasis simulasi pada komputer (Dionisius, Istiyanto, Suliono, & Rohmat, 2017). Pengujian berbasis simulasi ini akan memprediksi apa yang akan terjadi pada kendaraan saat terjadi tabrakan, sehingga tes fisik menjadi lebih efektif karena desain telah teruji secara simulasi sebelum akhirnya dilakukan uji fisik (Hakim, Andias, & Sjafrizal, 2020).

Tabel 1 Kecepatan Rencana (km/jam)

Fungsi	Kecepatan Rencana (km/jam)		
	Datar	Bukit	Gunung
Arteri	70-120	60-80	40-70
Kolektor	60-90	50-60	30-50
Lokal	40-70	30-50	20-30



Gambar 1 Keseimbangan Gaya di Tikungan Sederhana

2. Deformasi

Ketika suatu benda dikenai gaya, maka gaya tersebut akan cenderung mengubah bentuk maupun ukuran dari benda tersebut. Perubahan ini disebut sebagai deformasi, meskipun perubahan tersebut sangat besar ataupun tidak begitu terlihat dengan mata. Seperti contohnya pada karet gelang yang mudah memanjang apabila ditarik, dan bangunan yang tidak mudah terdeformasi meskipun dilalui oleh orang yang berlalu lalang. Persamaan deformasi dapat diperoleh melalui hubungan antara tegangan-regangan sebagai berikut:

$$E = \sigma \varepsilon = PA \delta L \dots\dots\dots (4)$$

$$\delta = P \times LA \times E \dots\dots\dots (5)$$

dimana P adalah Beban (N), L merupakan Panjang awal (mm), E adalah Modulus elastisitas (N/m²), δ adalah Deformasi, σ adalah Tegangan (Mpa), ε merupakan Regangan

3. Energi

Hukum pertama termodinamika menyatakan bahwa energy bersifat kekal dalam sistem yang tertutup. Hukum ini dapat dinyatakan dengan persamaan dibawah ini:

$$\delta Q - \delta W = \delta U \dots\dots\dots (6)$$

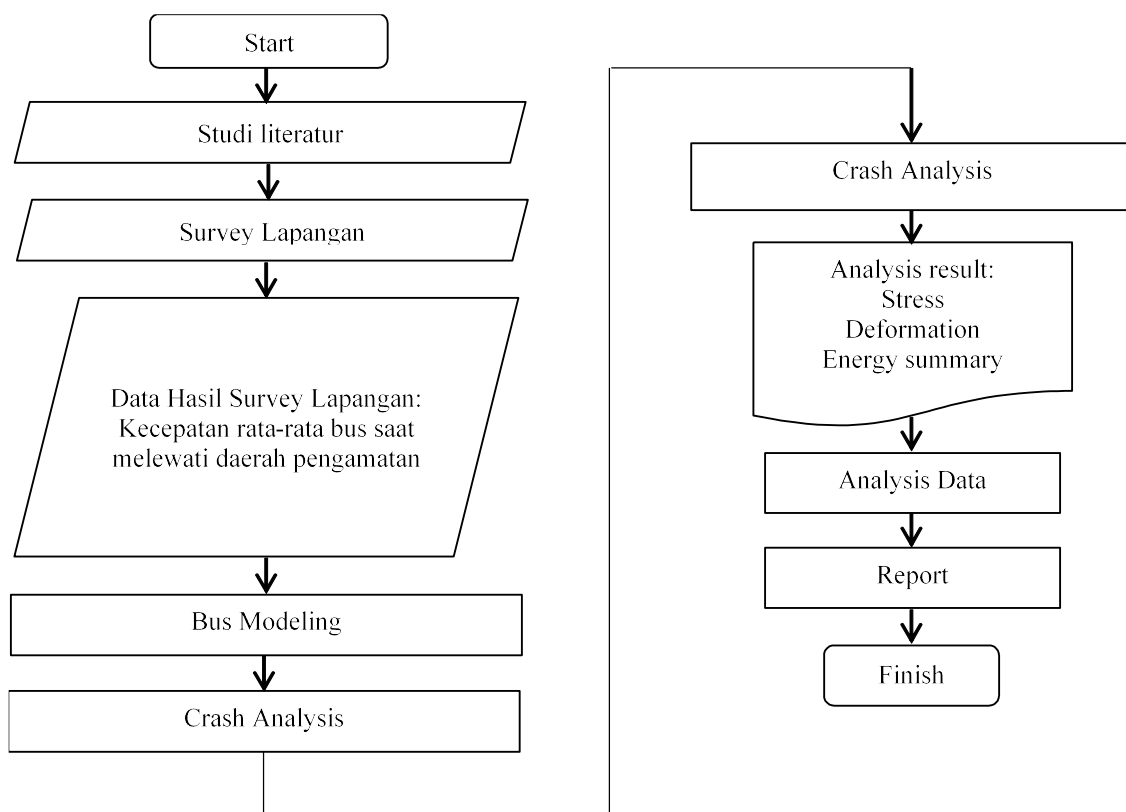
Dimana δQ adalah panas dan δW adalah usaha yang berpindah dari dalam maupun keluar sistem, sehingga merubah nilai δU atau energi dalam dari sistem tersebut. Apabila mengasumsikan benda *solid* elastis yang dikenai gaya dalam kondisi setimbang sebagai sistem tertutup, maka pada saat gaya sedikit meningkat, usaha dari luar atau $-\delta W$ yang bekerja pada benda maka akan berubah menjadi positif pada energi dalam ($+\delta U$). Ketika diasumsikan adiabatik, maka:

$$\delta W = \delta U \dots\dots\dots (7)$$

Dari persamaan tersebut menunjukkan bahwa usaha luar yang diakibatkan gaya yang bekerja, sama dengan peningkatan energi dalam dari benda. Asalkan gaya yang diterima perlahan, energi kinetik akibat laju deformasi dapat diabaikan, maka δU adalah peningkatan energi regangan elastis yang tersimpan dalam benda tersebut.

B. Diagram Alir dan Pemilihan Material Bus

Diagram Alir Penelitian seperti pada **Gambar 2**. Material penyusun body FRV merupakan aluminium alloy. Dimana dalam simulasi ini properti material dimodelkan sebagai material plastis. Pemodelan ini digunakan untuk mengetahui kurva setelah melewati yield point



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

(daerah elastis) sehingga menjadikan kurva stress strain yang terjadi akan tidak linier kembali. Pemodelan material plastis yang digunakan dalam pengujian ini menggunakan jenis pemodelan material plastis Bilinier isotropic hardening dimana parameter yield strength dan tangent modulus yang akan menjelaskan bagaimana perubahan deformasi plastis yang terjadi selama pengujian. Grafik pemodelan dapat dilihat pada Gambar 3

C. Pemodelan Simulasi

Bodi bus didesain menggunakan aplikasi Solidwork 2019. Proses desain ini memerlukan ketelitian, agar desain body FRV merepresentasikan bodi bus sesungguhnya. Proses desain dimulai dengan mengukur dimensi bus, dimensi ini dijadikan sebagai sketsa 2D yang kemudian dilanjutkan dengan mendesain 3D bodi bus yang nantinya akan digunakan sebagai model simulasi. Dalam penelitian ini ada empat jenis pemodelan simulasi, yaitu:

1) Pengujian side pole

Pada pengujian ini, desain body FRV ditabrakkan pada pole atau tiang dengan diameter 254 mm. pemodelan tiang menggunakan surface yang didekatkan pada bagian kiri body FRV sehingga didapatkan desain seperti gambar 5, dimana kecepatan pada pengujian ini adalah 32,20 km/jam atau 8,94 m/s.

2) Pengujian side pole kecepatan maksimal

Pada pengujian ini body FRV ditabrakkan dengan side pole sama seperti skema pengujian side pole, dimana pada pengujian ini dapat menggambarkan keadaan struktur body mobil ketika mobil jatuh kedalam jurang. Pada pengujian ini dicari kecepatan maksimal hingga

ditemukan kecepatan maksimal hingga body FRV mengalami deformasi maksimal yang melebihi standar pengujian IIHS.

3) Pengujian tabrak terhadap Moving Deformable Barrier

Pada pengujian ini, desain body FRV ditabrak dengan menggunakan MDB (moving deformable barrier) dengan massa sekitar 1500 kg yang terdiri dari bumper dan chasis yang dimodelkan menggunakan surface. Titik kontak antara MDB dan body mobil disesuaikan dengan standar IIHS, dimana MDB diposisikan berjarak 164,9 cm dari poros roda depan mobil. Adapun dalam pengujian ini kecepatan yang diberikan pada MDB sebesar 51 km/jam atau 14,167 m/s.

4) Pengujian tabrak terhadap mobil bermassa sama

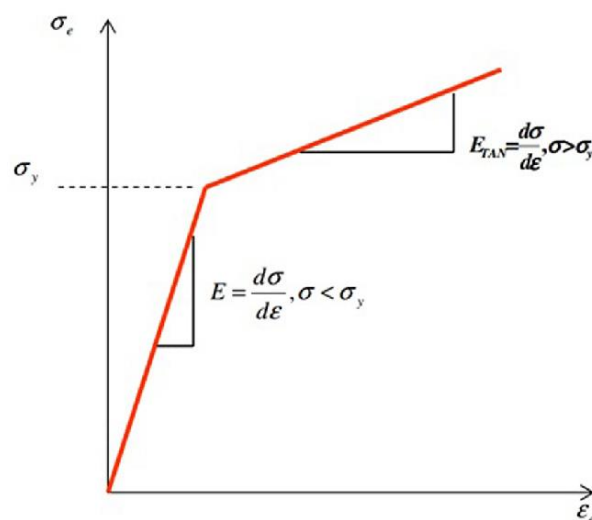
Pada pengujian ini digunakan impactor sama dengan pengujian tabrak samping dengan MDB sehingga kondisi batas yang digunakan dalam simulasi uji tabrak dengan mobil bermassa sama, sama dengan kondisi batas pengujian tabrak samping dengan MDB.

III. HASIL & PEMBAHASAN

A. Data dan Analisis

1. Data dan Analisis Volume Lalu Lintas

Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap kecepatan adalah volume kendaraan. Hasil pengukuran volume kendaraan selama 2 (dua) hari di tikungan Tapal Kuda Cianjur memiliki trend yang relatif sama. Dari grafik terlihat volume kendaraan ringan cenderung padat pada pagi dan sore hari. Sedangkan pada siang hari antara pukul 11.00 sampai 14.00 kendaraan



Gambar 3 Bilinear isotropic hardening material model (Pan, Zhao, Chang, Zhou, & Wu, 2017)

cukup sepi. Grafik hasil pengukuran volume kendaraan ringan seperti terlihat pada **Gambar 4**.

Hasil pengukuran volume kendaraan berat hari di tikungan Tapal Kuda Cianjur seperti terlihat pada **Gambar 4** Dari grafik terlihat volume kendaraan cenderung padat pukul 09.00-11.00. Sedangkan pada siang hari antara pukul 12.00 sampai 14.00 kendaraan berat relatif lebih sepi.

2. Data dan Analisis Kecepatan

Pengukuran kecepatan di Tikungan Tapal Kuda dilakukan pada tikungan sepanjang 475m. Panjang pengamatan kemudian dibagi menjadi 6 segmen pengamatan. Yaitu segmen antara 0-150m, 150-225m, 225-275m, 275-325m, 325-375 dan 275-475m. pengukuran kecepatan dilakukan pada 2 arah bus. Yaitu arah Cianjur dan Arah Jakarta. Hasil pengukuran kecepatan rata-rata tertinggi bus arah Jakarta terdapat pada segmen 0-150m. Tabel hasil pengukuran kecepatan kendaraan berat (bus) arah Jakarta seperti terlihat pada **Tabel 2**.

Hasil pengukuran kecepatan rata-rata bus arah Cianjur terjadi pada segmen yang sama yaitu pada segmen 0-150m. Tabel hasil pengukuran kecepatan kendaraan berat (bus) arah Cianjur seperti terlihat pada **Tabel 3**.

3. Data dan Analisis Tikungan

Pengukuran kecepatan di Tikungan Emen – Subang, dilakukan pada hari Minggu mulai pukul 09.30-17.00. Hasil pengamatan, kecepatan kendaraan tertinggi sebesar 40 km/jam. Hasil

pengukuran kecepatan seperti terlihat pada **Tabel 4**. Untuk menggambarkan akibat crash pada kendaraan maka dilakukan simulasi uji tabrak menggunakan software ANSYS 2021 R1 Academic. Untuk mengetahui respon kendaraan yang meliputi; Energi konetik, internal Energi, deformasi arah sumbu z, deformasi total dan tegangan. Simulasi dilakukan dengan menabrakkan bis ke tembok beton seperti terlihat pada **Gambar 5**.

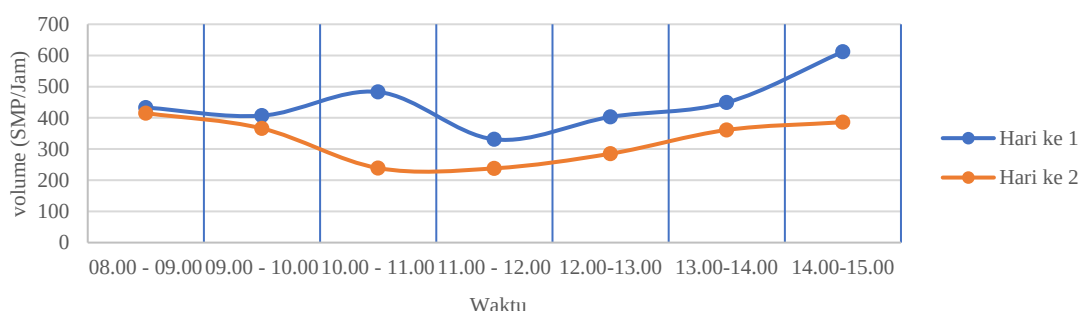
Dalam melakukan simulasi data bis yang digunakan adalah sebagai berikut:

Panjang	: 7900 mm
Lebar	: 2800 mm
Tinggi	: 3200 mm
Tebal palte bus	: 1 mm
Bahan plate bus	: alluminium alloy
Densiti	: 2770 kg/m ³
Berat	: 4620 kg

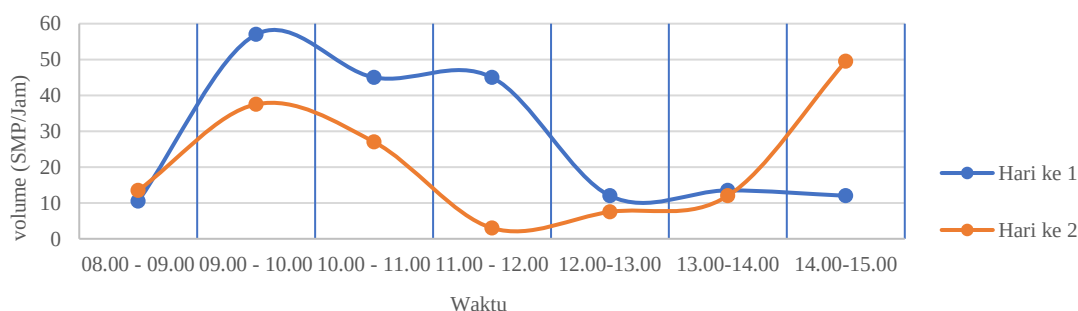
4. Hasil simulasi uji tabrak Bus

Energy kinetic yang di dihasilkan dan diserap oleh bus dijelaskan pada **Gambar 7**. Warna biru muda menggambarkan besarnya energy kinetik yang terjadi pada saat crash/tabrakan, sedangkan warna ungu menggambarkan besarnya energy yang diserap oleh body bus saat terjadinya tabrakan.

5. Deformasi / perubahan bentuk dalam arah sumbu z body bus setelah tabrakan (arah



Gambar 4 Grafik LV Volume Kendaraan Ringan di Tikungan Tapal Kuda Cianjur



Gambar 5 Grafik HV Volume Kendaraan Berat di Tikungan Tapal Kuda Cianjur

sumbu z menunjukkan arah mobil saat berjalan dan tabrakan) sebagaimana dilihat pada **Gambar 8** dan **Gambar 9**.

6. Deformasi total , deformasi yang terjadi secara 3 dimensi (dalam arah sumbu x,y dan

z) sebagaimana ditunjukkan dalam **Gambar 10** dan divisualisasikan **Gambar 11**.

7. Tegangan yang terjadi pada body bus saat terjadi tabrakan dapat dijelaskan dalam

Tabel 2 Kecepatan Kendaraan Berat (Bus) Arah Jakarta

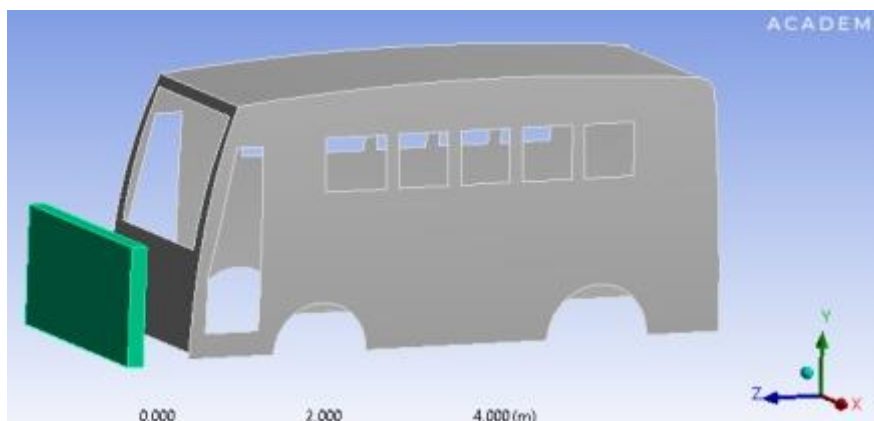
Bus	475-375			375-325			325-275			275-225			225-150			150-0			
	100			50			50			50			75			150			
	Time	ΔT	V	Time	ΔT	V	Time	ΔT	V	Time	ΔT	V	Time	ΔT	V	Time	ΔT	V	
1	19,90	19,90	5,03	27,22	7,32	6,83	33,50	6,28	7,96	42,09	8,59	5,82	52,76	10,67	7,03	69,56	16,80	8,93	
2	4,23	4,23	23,64	14,53	10,30	4,85	23,55	9,02	5,54	35,53	11,98	4,17	46,02	10,49	7,15	78,64	32,62	4,60	
3	14,97	14,97	6,68	22,30	7,33	6,82	27,08	4,78	10,46	35,03	7,95	6,29	48,91	13,88	5,40	62,98	14,07	10,66	
4	20,67	20,67	4,84	27,16	6,49	7,70	32,33	5,17	9,67	40,34	8,01	6,24	50,75	10,41	7,20	65,65	14,90	10,07	
5	9,80	9,80	10,20	17,57	7,77	6,44	23,82	6,25	8,00	34,21	10,39	4,81	46,34	12,13	6,18	57,74	11,40	13,16	
6	12,65	12,65	7,91	20,03	7,38	6,78	23,57	3,54	14,12	32,12	8,55	5,85	42,32	10,20	7,35	57,21	14,89	10,07	
7	13,32	13,32	7,51	19,14	5,82	8,59	25,29	6,15	8,13	35,59	10,30	4,85	46,41	10,82	6,93	59,68	13,27	11,30	
8	12,66	12,66	7,90	19,24	6,58	7,60	26,47	7,23	6,92	36,90	10,43	4,79	46,15	9,25	8,11	60,51	14,36	10,45	
9	11,75	11,75	8,51	16,88	5,13	9,75	22,07	5,19	9,63	30,63	8,56	5,84	44,17	13,54	5,54	59,96	15,79	9,50	
10	12,11	12,11	8,26	16,60	4,49	11,14	24,25	7,65	6,54	30,72	6,47	7,73	41,52	10,80	6,94	55,42	13,90	10,79	
11	11,03	11,03	9,07	16,71	5,68	8,80	22,21	5,50	9,09	29,50	7,29	6,86	40,23	10,73	6,99	53,64	13,41	11,19	
12	9,53	9,53	10,49	14,37	4,84	10,33	19,89	5,52	9,06	26,27	6,38	7,84	38,01	11,74	6,39	52,23	14,22	10,55	
13	9,31	9,31	10,74	17,31	8,00	6,25	24,60	7,29	6,86	33,81	9,21	5,43	49,92	16,11	4,66	63,80	13,88	10,81	
14	8,12	8,12	12,32	18,14	10,02	4,99	24,56	6,42	7,79	31,36	6,80	7,35	42,03	10,67	7,03	55,08	13,05	11,49	
15	11,75	11,75	8,51	17,80	6,05	8,26	22,10	4,30	11,63	30,26	8,16	6,13	43,97	13,71	5,47	55,40	11,43	13,12	
16	9,90	9,90	10,10	18,77	8,87	5,64	22,98	4,21	11,88	34,31	11,33	4,41	43,17	8,86	8,47	55,83	12,66	11,85	
17	6,72	6,72	14,88	13,69	6,97	7,17	19,44	5,75	8,70	26,04	6,60	7,58	45,48	19,44	3,86	50,11	4,63	32,40	
Rata - Rata			9,80	Rata - Rata			7,53	Rata - Rata			8,94	Rata - Rata			6,00	Rata - Rata			11,82

Tabel 3 Kecepatan Kendaraan Berat (Bus) Arah Cianjur

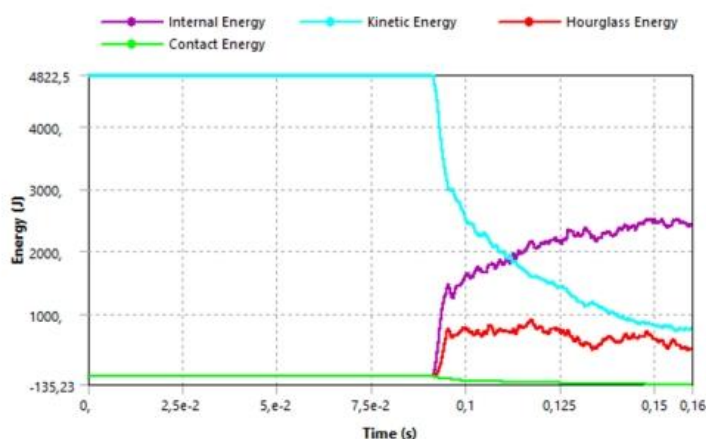
Bus	0-150			150-225			225-275			275-325			325-375			375-475			
	150			75			50			50			50			100			
	Time	ΔT	V	Time	ΔT	V	Time	ΔT	V	Time	ΔT	V	Time	ΔT	V	Time	ΔT	V	
1	9,9	9,9	15,1	20,2	10,3	7,3	26,0	5,8	8,6	30,9	4,8	10,3	36,5	5,7	8,8	41,9	5,4	18,5	
2	7,1	7,1	21,0	15,2	8,1	9,3	22,2	7,0	7,2	26,7	4,5	11,1	30,5	3,8	13,3	38,8	8,3	12,0	
3	7,6	7,6	19,8	14,3	6,8	11,1	18,9	4,5	11,0	23,5	4,6	10,9	27,3	3,8	13,1	34,6	7,3	13,8	
4	8,2	8,2	18,2	16,6	8,3	9,0	21,2	4,7	10,8	26,3	5,1	9,8	31,0	4,7	10,6	40,5	9,4	10,6	
5	9,7	9,7	15,5	20,9	11,3	6,7	26,6	5,6	8,9	32,2	5,7	8,8	37,8	5,6	9,0	44,3	6,5	15,4	
6	9,0	9,0	16,7	18,7	9,7	7,7	24,4	5,7	8,8	28,0	3,7	13,7	33,5	5,4	9,2	43,9	10,5	9,6	
7	10,1	10,1	14,9	21,2	11,1	6,7	26,1	4,9	10,1	29,3	3,2	15,8	35,0	5,7	8,7	42,7	7,7	12,9	
8	8,1	8,1	18,5	18,7	10,6	7,1	23,8	5,1	9,8	27,3	3,5	14,4	33,0	5,7	8,8	38,3	5,4	18,6	
9	12,5	12,5	12,0	22,2	9,7	7,7	27,2	5,0	10,1	32,4	5,2	9,6	36,6	4,2	11,9	46,9	10,3	9,7	
10	11,0	11,0	13,6	21,0	10,0	7,5	25,3	4,3	11,8	29,4	4,1	12,2	34,4	5,1	9,8	41,3	6,9	14,5	
11	12,8	12,8	11,7	23,9	11,1	6,8	28,8	4,9	10,2	36,8	8,0	6,2	41,3	4,5	11,1	46,0	4,7	21,2	
12	9,4	9,4	16,0	17,4	8,0	9,3	20,9	3,5	14,4	26,5	5,6	8,9	30,9	4,5	11,2	38,1	7,2	13,9	
Rata - Rata			16,097	Rata - Rata			8,020	Rata - Rata			10,137	Rata - Rata			10,972	Rata - Rata			14,212

Tabel 4 Kecepatan Kendaraan Berat ketika Masuk Tikungan di Emen (Subang)

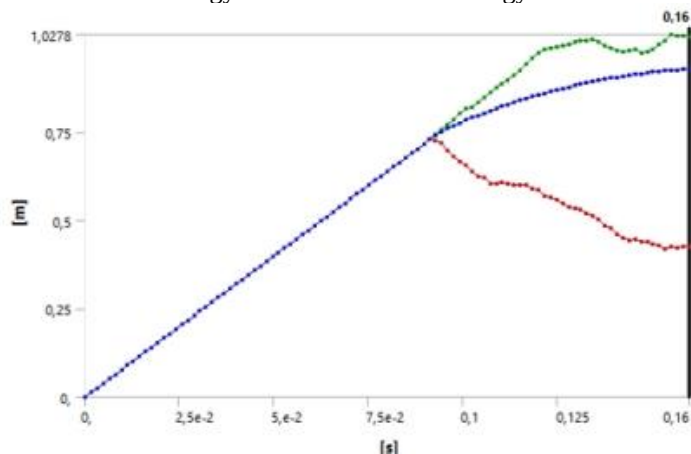
No	Jenis Kendaraan	Waktu (WIB)	Kecepatan (Km/H)	No	Jenis Kendaraan	Waktu (WIB)	Kecepatan (Km/H)
1	Bus	09:30	32	11	Bus	16:04	28
2	Bus	10:30	40	12	Truk	16:06	30
3	Bus	13:30	18	13	Bus	16:12	31
4	Bus	14:50	29	14	Bus	16:25	33
5	Bus	14:54	35	15	Bus	16:26	31
6	Bus	15:23	33	16	Bus	16:30	21
7	Bus	15:40	22	17	Bus	16:32	31
8	Truk	15:44	31	18	Bus	16:36	29
9	Bus	15:47	20	19	Bus	16:39	31
10	Bus	15:49	21	20	Bus	16:48	29



Gambar 6 Arah pergerakan bus saat tabrakan searah sumbu z



Gambar 7 Energy kinetik dan internal energy akibat tabrakan

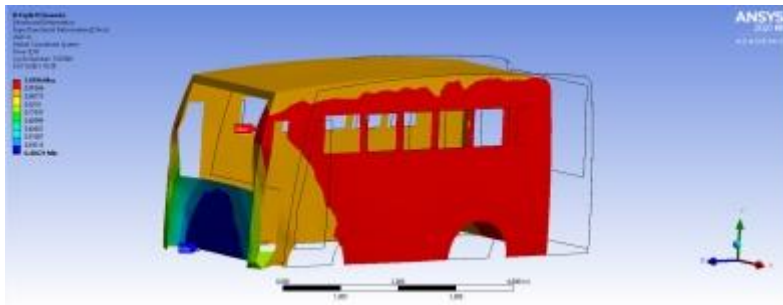


Gambar 8 Deformasi body bus dalam arah sumbu z (Keterangan gambar: warna hijau deformasi arah sumbu y, merah arah sumbu x dan biru sumbu z)

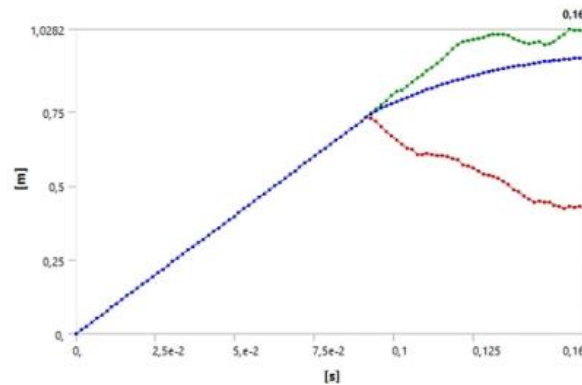
- gambar tegangan-regangan dalam **Gambar 12** dan divisualisasikan dalam **Gambar 13**.
8. Simulasi perhitungan tumbukan diukur dalam parameter deformasi sumbu, deformasi total, tegangan, energy kinetic, internal energy dan kecepatan bus disajikan dalam Variasi kecepatan simulasi sebesar 40, 60 dan 90 km/jam di pilih berdasarkan pertimbangan data kecepatan kendaraan hasil survey di lapangan yaitu sebesar 40

km/jam. Simulasi uji tabrak bus menghasilkan data antara lain; deformasi sumbu z (arah laju kendaraan), deformasi total, tegangan, energi kinetic dan internal energi.

Hasil simulasi menunjukkan Deformasi sumbu z berbanding lurus dengan kecepatan kendaraan saat terjadi crash. Semakin tinggi kecepatan, maka nilai deformasi arah sumbu z semakin besar. Nilai deformasi maksimum dihasilkan



Gambar 9 Bentuk deformasi bus dalam arah sumbu z



Gambar 10 Deformasi total



Gambar 11 Bentuk deformasi total body bus

pada kecepatan 90 km/jam yaitu sebesar 3,06m dan deformasi minimum dihasilkan pada kecepatan 40 km/jam sebesar 0,42 m

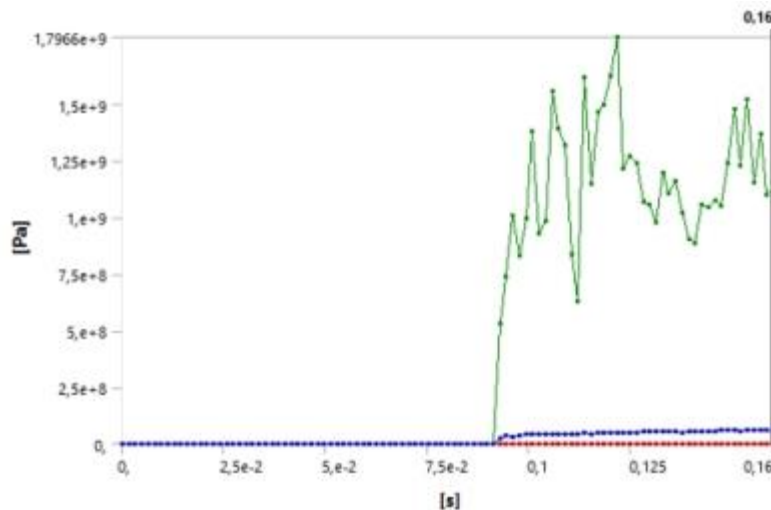
Deformasi dalam arah sumbu z yang merupakan arah laju kendaraan dan deformasi total yang merupakan deformasi dalam arah tiga dimensi (x,y,z) mempunyai nilai yang hampir sama. Hal menunjukkan deformasi selalu didominasi oleh arah laju kendaraan.

Sama halnya dengan deformasi arah sumbu z, deformasi total berbanding lurus dengan kecepatan kendaraan saat terjadi crash. Semakin tinggi kecepatan, maka nilai deformasi total semakin besar. Nilai deformasi maksimum dihasilkan pada kecepatan 90 km/jam yaitu sebesar 3,05 m dan deformasi minimum

dihasilkan pada kecepatan 30 km/jam sebesar 0,42 m

Tegangan yang terjadi berbanding lurus dengan kecepatan saat terjadi crash. Semakin tinggi kecepatan bus maka semakin tinggi tegangan pada bodi bus terutama pada bagian bus yang kontak langsung dengan objek tumbukan. Nilai tegangan tertinggi dihasilkan pada kecepatan 90 km/jam yaitu sebesar $5,42 \times 10^9$ Pa. nilai tegangan terkecil terdapat pada kecepatan 30 km/ jam yaitu sebesar $1,9 \times 10^6$ Pa

Energi kinetik yang dihasilkan berbanding lurus dengan kecepatan kendaraan. Semakin tinggi kecepatan kendaraan saat crash maka nilai energi kinetik yang dihasilkan semakin besar. Nilai energi kinetic maksimum dihasilkan pada kecepatan 90 km/jam yaitu sebesar 43005,7



Gambar 12 Tegangan body bus



Gambar 13 Distribusi tegangan pada body bus saat tabrakan

Tabel 5 Rekapitulasi hasil simulasi (deformasi total, deformasi arah sumbu z dan tegangan body bus saat tabrakan)

Diskripsi / Nilai	Deformasi sumbu Z (m)	Deformasi total (m)	Tegangan (Pa)	Energi kinetik (Joule)	Internal energi (Joule)	Kecepatan bus (km/h)
maksimum	1,01	1,02	$1,1 \times 10^9$			
minimum	0,42	0,42	$1,9 \times 10^6$	4822,5	2500	40
Rata-rata	0,93	0,93	$5,75 \times 10^7$			
maksimum	2,07	2,07	$3,11 \times 10^9$			
minimum	0,36	0,43	$7,2 \times 10^6$	24414	9000	60
Rata-rata	1,83	1,85	$1,58 \times 10^8$			
maksimum	3,06	3,05	$5,42 \times 10^9$			
minimum	0,35	0,36	$9,47 \times 10^6$	43005,7	16500	90
Rata-rata	2,73	2,72	$2,3 \times 10^8$			

Joule. nilai energi kinetik terkecil terdapat pada kecepatan 40 km/ jam yaitu sebesar 4822,5 Joule.

Internal energi yang menggambarkan kemampuan bodi kendaraan menyerap energi tabrakan, hasil simulasi menunjukkan kemampuan menyerap energi bervariasi dari

47% sampai 63%. Berdasarkan data tersebut semakin tinggi kecepatan semakin kecil energi kinetik yang dapat diserap oleh kendaraan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan kecepatan rata-rata bus di lokasi survey yaitu tanjakan Emen-subang dan Tapal Kuda Cianjur kecepatan

maksimum bus adalah 40 km/jam. Nilai deformasi arah sumbu z maksimum dihasilkan pada kecepatan 90 km/jam yaitu sebesar 3,06 m dan deformasi minimum dihasilkan pada kecepatan 40 km/jam sebesar 0,42 m. Nilai deformasi total maksimum dihasilkan pada kecepatan 90 km/jam yaitu sebesar 3,05 m dan deformasi minimum dihasilkan pada kecepatan 30 km/jam sebesar 0,42 m. Nilai tegangan tertinggi dihasilkan pada kecepatan 90 km/jam yaitu sebesar $5,42 \times 10^9$ Pa. nilai tegangan terkecil terdapat pada kecepatan 30 km/ jam yaitu sebesar $1,9 \times 10^6$ Pa

Daftar Pustaka

- Badrujaman, A. (2016). *Perencanaan Geometri Jalan dan Anggaran Biaya Ruas Jalan Cempaka-Wanaraja Kecamatan Kota Garut*. Jurnal Konstruksi, 14(1), 25-34.
- Dhana, R., & Ariatedja, J. (2020). *Analisis Kekuatan Body Terhadap Impact Pada Mobil Flood Rescue Vehicle Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga*. Jurnal Teknik ITS, 9(2), E311-316.
- Dionisius, F., Istiyanto, J., Suliono, & Rohmat, Y. N. (2017). *Pengembangan Pengujian Crashworthiness dengan Simulasi Numerik Menggunakan Model Impact Transferability*. JTT (Jurnal Teknologi Terapan), 3(1), 12-17.
- Hakim, B., Andias, & Sjafrizal, T. (2020). *Optimasi Struktur Bionic-spider Web Pada Thin-walled Menggunakan Metode Taguchi Untuk Meningkatkan Crashworthiness*, 7.
- Indrawan, A. (2017). *Simulasi Desain Velg pada Pengujian Dynamic Cornering Fatigue Berdasarkan SAE J 328 dengan Metode Static Structural Analysis*. PhD Thesis. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- M, P., & Suyatno. (2011). *Kinerja dan Rancangan Simpang Bersinyal Tol Krpyak Dengan Simpang Bersinyal Pasar Jarakah Semarang*. (Doctoral Dissertation, Fakultas Teknik UNDIP).
- Pambudi, P. (2018). *Penerapan Sistem Dinamik dalam Sistem Transportasi Cerdas Untuk Mengurangi Kemacetan, Polusi dan Meningkatkan Keselamatan Berlalu Lintas (Study Kasus Dinas Pehubungan Kota Surabaya)*. (Doctoral Dissertatation, Institut Teknologi Sepuluh November).
- Prayudyanto, M. (2021). *Sustainability Index Assessment Of Urban Transport Services In Developing Cities*. ASTONJADRO, 10(1), 150-161.
- Pujiastutie, E. (2006). *Pengaruh Geometrik Jalan Terhadap Kecelakaan Lalu Lintas di Jalan Tol (Studi Kasus Tol Semarang dan Tol Cikampek)*. (Doctoral dissertation, program Pascasarjana Universitas Diponegoro).
- Samsudin, I. (2019). *Analisa Faktor Penyebab Kecelakaan Pada Ruas Jalan Ir. H. Alala Kota Kendari Ditinjau dari Prasarana dan Geometrik Jalan*. Jurnal Penelitian Transportasi Darat, 21(1), 59-66.