

## ANALISIS TEGANGAN TARIK MAKSIMUM PADA KEKUATAN *WELDING JOINT* TERHADAP KONSTRUKSI UJI GULING BUS

Maharsi Anung Kesawasidhi<sup>1</sup>, Ojo Kurdi<sup>2</sup>, Ismoyo Haryanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: maxaxrsi8990@gmail.com

### Abstrak

Uji guling bus merupakan salah satu pengujian aspek keselamatan pada sebuah kendaraan. Uji guling dilakukan untuk memastikan bahwa ruang aman penumpang terpenuhi sehingga saat terjadi kecelakaan atau benturan ruang aman penumpang tetap utuh. Uji guling yang dilakukan telah diatur dalam *European safety commission* yang disebut dengan UN-ECE. R66. Penelitian tentang uji guling sudah banyak dilakukan. Dalam uji guling bus terdapat beberapa aspek pengujian, salah satunya adalah uji tarik. Pengujian yang dilakukan pada rangka bus terletak pada 3 titik stress yaitu rangka lantai, rangka dinding, dan rangka atap bus. Pada percobaannya, benda diberikan suatu gaya terhadap arah sumbu tertentu dengan kurun waktu yang telah ditentukan hingga benda atau objek mengalami deformasi hingga terjadi patahan. Didapatkan nilai tegangan maksimum pada titik stress diperuntukkan sebagai data kelayakan uji guling bus untuk beroperasi. Pengujian dilakukan secara eksperimental dan secara simulasi dengan menggunakan metode elemen hingga. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, didapatkan bahwa tegangan tertinggi dari pengujian pada ketiga titik yang telah ditentukan terjadi pada rangka lantai bus dengan nilai 533,3 MPa lalu tegangan terendah terletak pada rangka atap bus dengan nilai 447,3 MPa. Sedangkan untuk besaran gaya yang diberikan pada ketiga titik pengujian memiliki nilai yang beragam, gaya terbesar yang dikeluarkan untuk memperoleh deformasi terdapat pada rangka lantai bus dengan nilai 3.682,92 N dan gaya terkecil dikeluarkan terdapat pada rangka atap bus dengan nilai 911,18 N.

**Kata kunci:** altair hypermesh; uji guling; uji tarik; tegangan

### Abstract

*The bus rollover test is one of the safety aspects of a vehicle. The rollover test is carried out to ensure that the passenger safe space is fulfilled so that in the event of an accident or collision the passenger safe space remains intact. The rollover test carried out has been regulated in the European safety commission called UN-ECE. R66. A lot of research on rolling test has been done. In the bus rollover test, there are several aspects of testing, one of which is the tensile test. The tests carried out on the bus frame are located at 3 stress points, namely the floor frame, wall frame, and bus roof frame. In the experiment, the object is given a force in the direction of a certain axis with a predetermined period of time until the object or object is deformed until a fracture occurs. The maximum stress value obtained at the stress point is used as data for the feasibility of the bus roll test to operate. Tests were carried out experimentally and by simulation using the finite element method. Based on the results of the research that has been carried out, it was found that the highest stress from the test at the three predetermined points occurred on the bus floor frame with a value of 533.3 MPa then the lowest stress was located on the bus roof frame with a value of 447.3 MPa. Meanwhile, the magnitude of the force given at the three test points has various values, the largest force that is issued to obtain the deformation is on the bus floor frame with a value of 3,682.92 N and the smallest force issued is on the bus roof frame with a value of 911,18 N.*

**Keywords:** altair hypermesh; rollover test; tensile test; tension

### 1. Pendahuluan

Bus merupakan salah satu transportasi favorit yang digunakan oleh sebagian besar masyarakat Indonesia untuk bepergian. Namun akhir-akhir ini masyarakat pengguna bus jumlahnya cenderung menurun, sebagai perbandingan pada arus mudik tahun 2018 jumlah penumpang pengguna bus sebesar 4,22 juta orang atau menurun sebanyak 0,49 persen dibandingkan tahun 2017 sebanyak 2,24 juta. Menurut Kemenhub, jumlah pengguna bus masih akan mengalami penurunan setiap tahunnya. Salah satu faktor penyebab menurunnya jumlah pengguna bus tersebut adalah faktor keselamatan yang menurut kemenhub masih sangat rendah [1].

Bus terguling adalah salah satu jenis kecelakaan paling serius dibandingkan dengan kecelakaan lainnya dari kecelakaan bus. Memperkuat rangka bus untuk mempertahankan ruang sisa (penghuni ruang) dan meminimalkan cedera penghuni diperlukan. Fitur konstruksi asimetris yang berbeda dari kedua sisi kendaraan; sisi mana yang lebih kuat, lebih

baik didukung oleh partisi atau kotak dalam (misalnya lemari pakaian, toilet, dapur kecil). Sisi dengan dukungan yang lebih rendah harus dipilih sebagai arah dari *test rollover* [2].

parameter penting dalam mendesain bus adalah karakteristik kendaraan khususnya penempatan titik berat, *displacement* pada main *bearer*, dan besarnya energi yang diserap oleh cincin pada superstruktur bus [3]. Rangka adalah komponen penting dalam sebuah membangun bus, teknik pengelasan menjadi salah satu faktor penting didalamnya. Las (*welding*) adalah suatu cara untuk menyambung benda padat dengan jalan mencairkannya melalui pemanasan [4].

Sangat penting untuk memilih validasi eksperimen yang terkait dengan skenario model yang akan digunakan. Proses validasi untuk struktur kompleks harus diatur dalam urutan hierarkis. Mulai dari eksperimen dasar dan simulasi, melalui sistem komponen yang lebih rumit, dan akhirnya dengan memvalidasi seluruh struktur [5]. Saat mengikuti prosedur ini, kesalahan yang terjadi pada tingkat yang lebih rendah dapat diidentifikasi dan penyebarannya ke kesalahan keseluruhan berkurang. Prosedur validasi hierarkis yang dikembangkan untuk Standar FDOT diterapkan pada pengembangan model bus FE [6]. Eksperimen dasar, peringkat terendah dalam validasi hirarki adalah karakterisasi bahan dalam pengujian tarik untuk baja carbon dan fiberglass, tiga titik pembengkokan tabung komponen rangka baja, dan uji pembengkokan tiga titik dinamis menggunakan *impact tower*. Tingkat validasi berikutnya terdiri dari tes kuasi-statis dan dinamis pada komponen rangka. Tes dirancang untuk meniru karakteristik deformasi selama bus terguling dan kecelakaan benturan samping. Selama *rollover* engsel plastik kemungkinan besar sambungan mengembang dari dinding ke atap dan dinding ke lantai. Untuk mengevaluasi kinerja sambungan ini, beberapa tes sebelumnya dikembangkan, *static bending test* untuk sambungan dinding ke lantai dan dinding ke atap, dan *dynamic impact test* pada dinding samping [7].

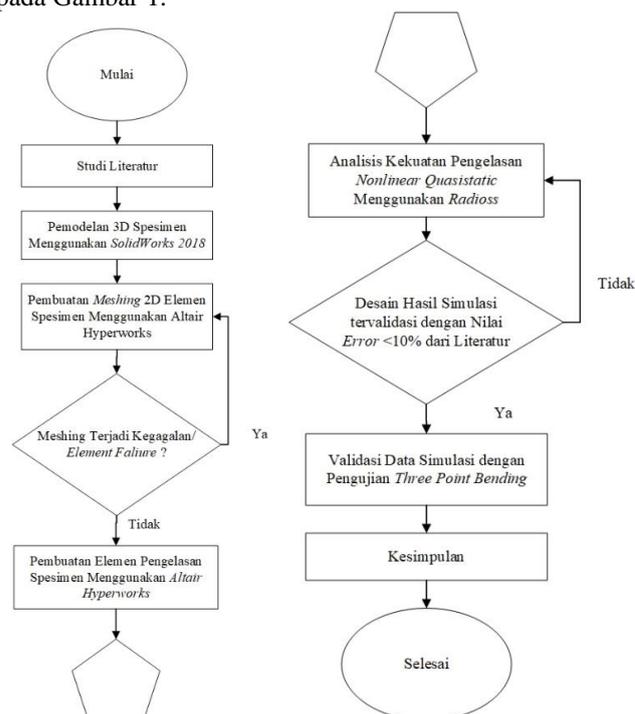
Beban dalam percobaan diterapkan melalui kabel yang terhubung ke balok aluminium yang dipasang pada spesimen yang diuji. Muatan diperoleh melalui sel beban yang terhubung ke kabel. Deformasi spesimen dicatat menggunakan string potensiometer, sering disebut sebagai transduser string, dipasang pada kerangka uji. Momen dan data rotasi diperoleh melalui operasi vektor, yang secara luas tercakup dalam [8]. Tegangan normal merupakan intensitas gaya yang bekerja tegak lurus terhadap potongan penampang melintang, apabila tegangan normal tersebut bekerja ke arah luar penampang dari penampang maka disebut sebagai tegangan tarik dengan tanda positif. Sedangkan tegangan yang menuju potongan penampang disebut tegangan tekan dengan tanda negatif [9].

Metode elemen hingga merupakan salah satu cara dalam menyelesaikan masalah yang terdapat di alam dengan solusi numerik. Biasanya kejadian di alam dapat dijelaskan dalam persamaan baik itu dalam bentuk diferensial atau integral. Karena alasan tersebut metode elemen hingga menjadi salah satu cara dalam menyelesaikan bentuk diferensial persial dan integral. Umumnya metode elemen hingga memungkinkan pengguna untuk mendapatkan evolusi dalam ruang atau waktu dari satu atau lebih variabel yang mewakili dari suatu sistem fisik. Bila mengacu pada analisa struktur, metode elemen hingga merupakan metode yang baik dalam menghitung *displacement*, tegangan, dan regangan pada suatu struktur dalam pembebanan [10].

## 2. Metode Penelitian

### 2.1 Diagram Alir Penelitian

Metodologi penelitian yang diterapkan dalam melakukan perancangan sistem akuisisi data pada dinamometer sasis sepeda motor dapat diuraikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

## 2.2 Pra Simulasi

Pada pra simulasi terdapat 5 tahapan yakni input geometri dan meshing, input material, pendefinisian property, penentuan pasangan kontak, dan pendefinisian elemen. Untuk masing – masing pengujian, dijelaskan dibawah ini :

### a. Input geometri dan meshing

*Input User Profile* bagian RADIOSS sebelum melakukan *Input Geometri* pada pemodelan dalam bentuk CAD, Kemudian dilanjutkan dengan menginput geometri *bus frame* sesuai dengan pemodelan CAD yang telah dibuat. Kemudian lakukan *meshing* pada geometri *bus frame* dengan memilih menu automesh pada panel 2D.

### b. Input material

Pendefinisian material dilakukan agar spesimen rangka holo memiliki karakteristik sifat seperti kondisi sebenarnya. Terdapat 2 jenis pendefinisian material, yaitu material rangka dan material *welding*.

### c. Pendefinisian property

Pendefinisian properti dilakukan agar dapat mendefinisikan jenis geometri serta memasukkan data material yang telah dibuat sebelumnya kedalam model. Properti yang akan dibuat berjumlah , yaitu spesimen rangka, material *welding*, dan material penumbuk.

### d. Penentuan pasangan kontak

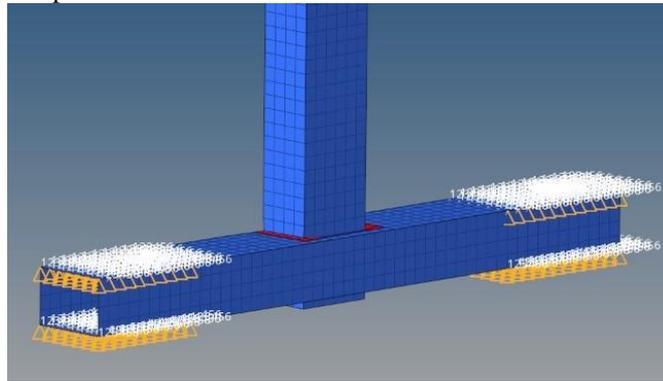
Pasangan kontak digunakan untuk membuat kontak (*contact*) antara *master* dan *core* pada simulasi. Pemodelan kontak ini bertujuan agar bagian *master* yang berada pada penumbuk, lalu *slave* pada spesimen yang tertumbuk.

### e. Pendefinisian elemen

Pendefinisian elemen ditujukan untuk memberikan elemen pengelasan dan rigid, elemen pengelasan dituju pada titik sambungan di spesimen dan elemen rigid pada geometri penumbuk.

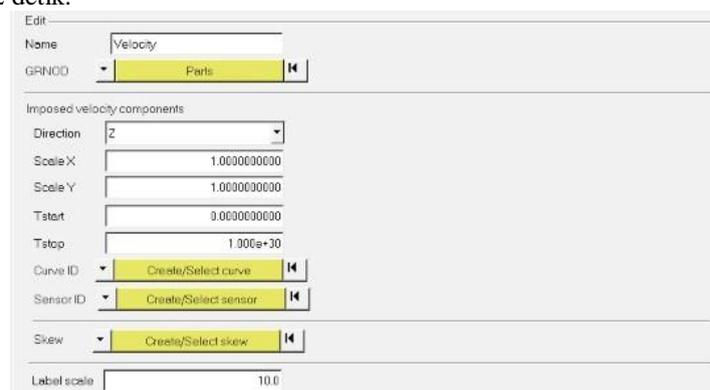
## 2.3 Simulasi kuasi-statik

Kuasi-statik adalah suatu system seolah-olah statis tapi sebenarnya digerakan/ bergerak secara perlahan. Kuasistatik memungkinkan untuk menentukan kerja pada sistem gas yang mengalami turbulensi. Karena pada tiap tahapan proses pada kuasi statik dapat kita anggap setimbang, istilah lain proses kuyasistatik adalah proses reversibel. Tumpuan yang diberikan berupa fix pada kedua ujung alas specimen uji menggunakan menu *Bcs Manager* pada panel tools dengan Langkah sebagai berikut. Klik *tools*, lalu pilih *Bcs Manager*. Selanjutn klik *boundary condition*, pilih bagian (elemen, nodal, permukaan, garis, dll) yang akan dijadikan tumpuan.

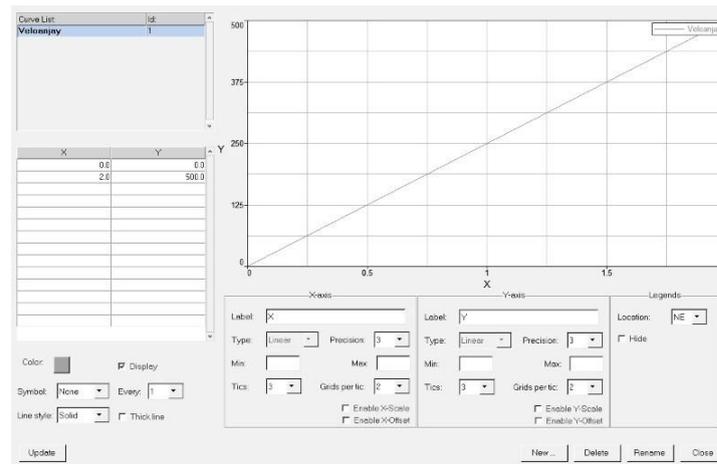


Gambar 2. Specimen uji setelah pendefinisian tumpuan

Setelah pendefinisian tumpuan, selanjutnya yaitu mendefinisikan nilai kecepatan yang menyebabkan spesimen terdampak sebuah gaya. Untuk mendefinisikan kecepatan dibutuhkan beberapa langkah yaitu klik *tools* pada menu, klik *Bcs Manager*, lalu pilih *Imposed Velocity*. Selanjutnya pilih *curve id*, pilih menu GRNODE. Kemudian tentukan bagian (elemen, nodal, permukaan, garis, dll) kecepatan akan ditempatkan, dimana pada penelitian ini kecepatan akan ditempatkan pada elemen penumbuk selama 2 detik.



Gambar 3. Input kecepatan



Gambar 4. Input curve id

### 3. Hasil dan pembahasan

#### 3.1 Pembebanan stainless steel STKM 13B pada altair hyperworks

Pembebanan yang akan diberikan pada stainless steel STKM 13B dengan *welding joint* adalah pembebanan uji tarik yang dilakukan secara horizontal hingga spesimen uji mengalami patah. Model pembebanan tersebut lalu disimulasikan menggunakan *software* Altair Hyperworks untuk diuji kuasi-Statik menggunakan metode elemen hingga. Geometri yang digunakan berupa rangka atap, rangka dinding, dan rangka lantai pada desain bus Laksana Kasoresi, Ungaran. Ketiga geometri tersebut divariasikan menjadi 3 variasi, lalu diuji pada setiap pemodelannya dengan tujuan mengetahui gaya maksimum sebelum mengalami patahan. Dari pengujian tersebut didapatkan gaya maksimal dari tiap variasi dan geometrinya, lalu membandingkan kekuatan dari ketiga variasi pada tiap geometrinya masing-masing.

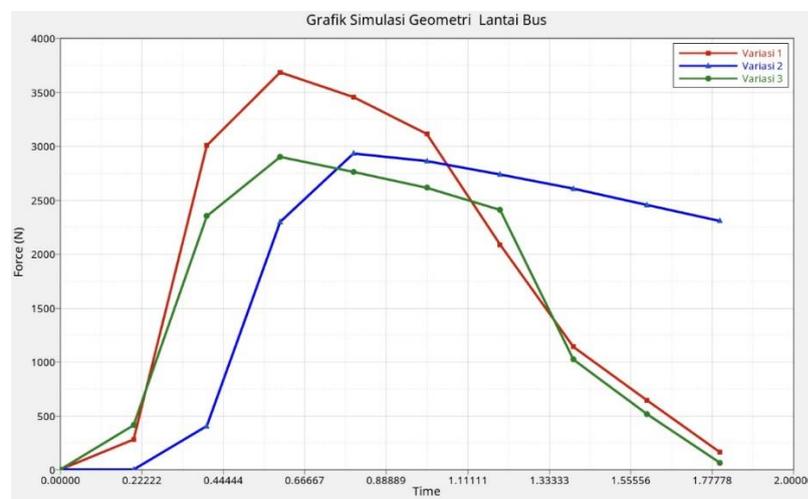
#### 3.2 Hasil dan Analisis Pengujian Torsi dan Daya Dinamometer Inersia

Berdasarkan hasil simulasi kuasi-statik dapat dilihat tegangan Von-Mises dan gaya maksimum pada ketiga rangka bus terjadi diatas *welding joint*. Perbandingan data hasil dapat dilihat pada tabel berikut.

a. Hasil simulasi geometri lantai.

Tabel 1. Hasil simulasi geometri lantai

Geometri lantai bus	Tegangan von-mises (MPa)	Gaya (N)	Waktu patahan (s)
Variasi pertama	518,7	3682,92	0,6
Variasi kedua	515,5	2930,24	0,6
Variasi ketiga	533,3	2898,99	0,6



Gambar 5. Grafik gaya pada geometri lantai

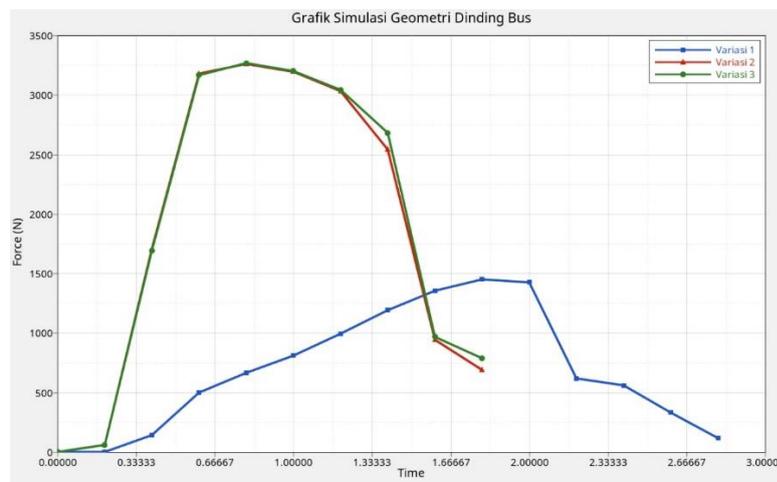
Berdasarkan hasil simulasi kuasi-statik pembebanan pada geometri rangka lantai bus, dapat disimpulkan bahwa

tegangan Von-Mises tertinggi terdapat pada variasi ketiga yaitu sebesar 533,3 MPa, dan terendah terdapat pada variasi kedua yaitu sebesar 515,5 MPa. Besaran gaya maksimum yang dicapai dari ketiga jenis variasi adalah sebesar 3.682,92 N yang terdapat pada variasi pertama dari geometri lantai bus dan terendah terjadi pada geometri lantai bus variasi ketiga yaitu sebesar 2.898,99 N. gaya maksimum didapatkan pada 0,6 s untuk semua variasinya terhitung ketika penumbuk telah memberi *impact*.

b. Hasil simulasi geometri dinding

**Tabel 1.** Hasil simulasi geometri dinding

Geometri dinding bus	Tegangan von-mises (MPa)	Gaya (N)	Waktu patahan (s)
Variasi pertama	497,4	1449,75	1,8
Variasi kedua	516,7	3259,65	0,8
Variasi ketiga	515,4	3267,03	0,8



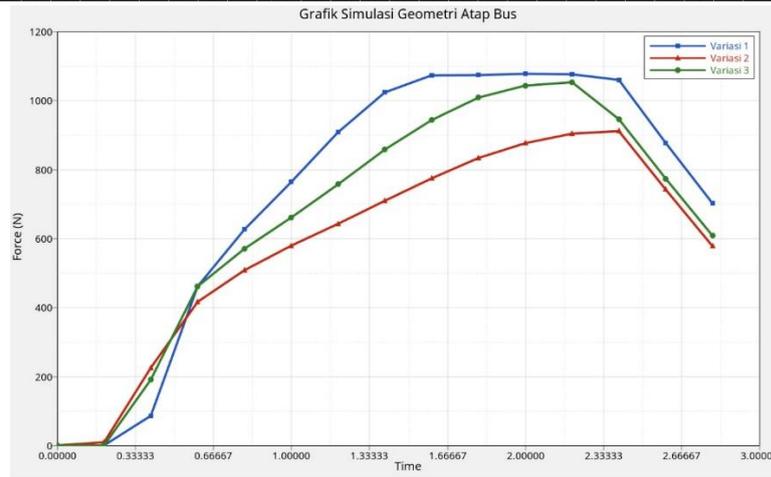
**Gambar 6.** Grafik gaya pada geometri dinding

Berdasarkan hasil simulasi kuasi-statik pembebanan pada geometri rangka dinding bus, dapat disimpulkan bahwa tegangan Von-Mises tertinggi terdapat pada variasi kedua yaitu sebesar 516,7 MPa, dan terendah terdapat pada variasi pertama yaitu sebesar 497,4 MPa. Besaran gaya maksimum yang dicapai dari ketiga jenis variasi adalah sebesar 3.267,03 N yang terdapat pada variasi ketiga dari geometri dinding bus dan terendah terjadi pada geometri dinding bus variasi pertama yaitu sebesar 1.449,75 N. gaya maksimum didapatkan pada 1,8 s untuk variasi pertama dan 0,8 s untuk variasi kedua serta ketiga, terhitung ketika penumbuk telah memberi *impact*.

c. Hasil simulasi geometri atap

**Tabel 1.** Hasil simulasi geometri atap

Geometri atap bus	Tegangan von-mises (MPa)	Gaya (N)	Waktu patahan (s)
Variasi pertama	464,5	1077,15	2,0
Variasi kedua	447,3	911,18	2,4
Variasi ketiga	479,4	1052,81	2,2



Gambar 7. Grafik gaya pada geometri atap

Berdasarkan hasil simulasi kuasi-statik pembebanan pada geometri rangka atap bus, dapat disimpulkan bahwa tegangan Von-Mises tertinggi terdapat pada variasi ketiga yaitu sebesar 479,4 MPa, dan terendah terdapat pada variasi kedua yaitu didapat sebesar 447,3 MPa. Besaran gaya maksimum yang dicapai dari ketiga jenis variasi adalah sebesar 1.077,15 N yang terdapat pada variasi pertama dari geometri atap bus dan terendah terjadi pada geometri atap bus variasi kedua yaitu sebesar 911,18 N. gaya maksimum didapatkan pada 2 s untuk variasi pertama, 2,4 s untuk variasi kedua, serta 2,2 s untuk variasi ketiga, terhitung ketika penumbuk telah memberi *impact*.

#### 4. Kesimpulan

- a. Data hasil simulasi geometri rangka lantai bus menunjukkan bahwa tegangan Von-Mises terbesar 533,3 MPa terdapat pada variasi ketiga dan gaya terbesar adalah 3.682,92 N terdapat pada variasi pertama geometri lantai bus. Untuk geometri dinding bus tegangan Von-Mises terbesar 516,7 MPa terdapat pada variasi kedua dan gaya terbesar adalah 3.267,03 N terdapat pada variasi ketiga geometri dinding bus. Lalu pada geometri atap bus tegangan Von-Mises terbesar 479,4 MPa terdapat pada variasi ketiga dan gaya terbesar 1.077,15 N terdapat pada variasi pertama geometri atap bus.
- b. Dari ketiga geometri rangka bus didapatkan tegangan Von-Mises terbesar terjadi pada geometri rangka lantai variasi pertama yaitu sebesar 533,3 MPa, dan terkecilnya terjadi pada geometri rangka atap bus variasi kedua yaitu 447,3 MPa. Sedangkan untuk gaya terbesar terdapat pada geometri rangka lantai bus variasi pertama dengan nilai 3.682,92 N dan terkecilnya terdapat pada geometri rangka atap bus variasi kedua sebesar 911,18 N.

#### 5. Referensi

- [1] Haryanti, Rosiana. 2018. *Melihat Catatan Mudik dari Tahun ke Tahun*. <https://nasional.kompas.com/read/2018/06/06/16324121/melihat-catatan-mudik-dari-tahun-ke-tahun?page=all>
- [2] Kucuk, Ozgun. 2014. *Rollover Crashworthiness of a Multipurpose Coach*. Istanbul Technical University.
- [3] Gursel, K.T. & Gursesli, S.2009. *Analysis of the Superstructure of a Designed Bus in Accordance with Regulations ECE R 66*. Journal of Science
- [4] Widharto, Sri. 2003. *Petunjuk Kerja Las*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- [5] Kwasniewski, L. 2009. *On practical problems with verification and validation of computational models*. Archives of Civil Engineering, vol. LV, no. no. 3, pp. 323-346.
- [6] Bojanowski, C. 2009. *Verification, validation and optimization of finite element model of bus structure for rollover test*. Florida State University.
- [7] Bojanowski, C., Gepner, B., Kwasniewski, L., Rawl, C. & Wekezer, J. 2011. *Roof crush resistance and rollover strength of a paratransit bus*. 8th European LS-DYNA User's Conference.
- [8] Rawl, C.F. 2010. *Impact Performance of Steel Connections Used in Paratransit Buses*. Florida State University.
- [9] Beer, F. P., E. Russel Johnston, J. & Dewolf, J. T., 2015. *Mechanics Of Materials*. 7th ed. New York: McGraw-Hill.
- [10] Onate, E. (2003). *Structural Analysis with the Finite Element Method. Linear Statics Lecture Notes on Numerical Methods in Engineering and Sciences*. Barcelona: Artes Graficas Torres S. A.