

SIMULASI TUBRUKAN PADA PENYEDERHANAAN STRUKTUR RANGKA MOBIL JENIS *MONOCOQUE*

Muhammad Saifannur Falah^{1*}, Daffa Azrial Ikhwanta¹⁾, Pajidu Marinyo Kause²⁾,
Aan Yudianto²⁾, I Wayan Adiyasa²⁾, Moch Solikin²⁾

¹⁾ Program Studi D4 Mesin Otomotif, Universitas Negeri Yogyakarta, Yogyakarta

²⁾ Laboratorium Desain Otomotif, Universitas Negeri Yogyakarta, Wates

*Email Korespondensi: muhammadsaifannur.2019@student.uny.ac.id

ABSTRAK

Salah satu aspek yang perlu di perhatikan dalam merancang kendaraan ialah rangka, rangka merupakan bagian dari kendaraan yang memiliki fungsi sebagai fondasi yang menopang atau menyangga komponen kendaraan mulai dari mesin, *drive train*, suspensi, sistem kemudi, serta kelistrikan. Selain untuk menopang komponen kendaraan, rangka juga berfungsi sebagai salah satu faktor keselamatan pengemudi saat terjadi benturan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui deformasi dan stress pada model sederhana dari rangka *monocoque* yang mengalami beberapa kondisi tubrukan. Metode penelitian yang digunakan ialah simulasi *explicit dynamics analysis* untuk menguji beban impact pada peyederhanaan struktur model rangka kendaraan jenis *monocoque*, dan melakukan simulasi *Frontal crash 90 degree barrier*, *Frontal crash with offset*, *Pole offset crash*, dan *90 degree side crash*. Hasil dari penelitian di dapat bahwa pengujian *car crash Total deformation* dan *Stress* pada peyederhanaan struktur model rangka kendaraan jenis *monocoque*, *Frontal crash* berdampak lebih besar dari pada *Side crash*, dilihat dari hasil nilai total deformation dan stress yang lebih besar dari pada *Side crash* yaitu pada frontal crash memiliki *Total deformation* maksimal sebesar 129,92 mm dengan *stress* maksimal 642,92 Mpa sedangkan *side crash* memiliki *Total deformation* sebesar 44,2 mm dengan stress maksimal 473,5 Mpa.

Kata kunci: *Monocoque*, Tubrukan, *Explicit dynamics analysis*, Deformasi, *Stress*.

ABSTRACT

One of the important aspects in designing vehicle is the frame, it's part that has function as a foundation that supports vehicle components from the engine, drive train, suspension, steering system, and electricity. Other than that, it's also functions as a driver's safety factor when accident. The purpose of this study was to determine the deformation and stress in a simple model of a *monocoque* frame that experienced several collision conditions. The research method used is the simulation of explicit dynamics analysis to test the impact load on the simplification of the structure of the *monocoque* vehicle frame model, to simulate 90 degree barrier *Frontal crash*, *Frontal crash with offset*, *Pole offset crash*, and *90 degree side crash*. The results show that the car crash test on the simplification of the structure of the *monocoque* frame model, the frontal crash has a greater impact than *Side crash*, seen from the results of the *Total deformation* and stress values that are greater than *side crashes*, namely Frontal crashes have a maximum total deformation of 129.92 mm with a maximum stress of 642.92 MPa while *Side crashes* have a *Total deformation* of 44.2 mm with a maximum stress of 473.5 MPa.

Keywords: Monocoque, Crash, Explicit dynamics analysis, Deformation, Stress.

PENDAHULUAN

Masyarakat modern saat ini tidak dapat di pisahkan dari yang namanya teknologi, dengan adanya teknologi pekerjaan manusia menjadi lebih mudah salah satu contohnya saat berpergian manusia memerlukan teknologi yang namanya adalah teknologi

transportasi yang mampu meningkatkan efisiensi waktu perjalanan, membuat pekerjaan menjadi tidak memakan waktu. Seiring dengan peningkatan jumlah penduduk maka kebutuhan akan alat transportasi semakin meningkat khususnya transportasi darat. Namun teknologi ini disisi lain juga banyak menyebabkan korban jiwa karena kecelakaan. [1] Data menyebutkan pada tahun 2019 di Indonesia tercatat 5.944,00 kasus kecelakaan dengan 419,00 korban meninggal, 7.259,00 korban luka ringan, dan 9,00 korban luka berat. Dalam hal ini diperlukan tindakan untuk mengurangi jumlah korban seminimal mungkin.

Melakukan simulasi explicit dynamics analysis untuk menguji beban impact pada penyederhanaan struktur model rangka kendaraan jenis monocoque merupakan hal yang diperlukan untuk melihat tingkat kekuatan rangka saat terkena benturan dari berbagai sisi. [2] Rangka monocoque sendiri merupakan konstruksi kendaraan dimana rangka dan bodi menjadi satu kesatuan. [3] Rangka rangka tunggal memiliki karakteristik bobot yang lebih ringan dibandingkan dengan rangka tangga. Ringan, efisiensi kontrol tinggi, dan efisiensi bahan bakar tinggi. Monocoque biasanya digunakan pada mobil pribadi dan mobil kecil seperti hatchback dan mobil. Karena bobotnya yang ringan, crossover dan SUV perkotaan juga menggunakan sasis monocoque untuk memaksimalkan handling dan efisiensi bahan bakar. Dari hasil penelitian dapat dijadikan pertimbangan untuk meningkatkan keamanan serta kenyamanan dalam berkendara. Rangka atau chasis merupakan komponen yang sangat penting karena menopang komponen-komponen kendaraan lainnya seperti sistem kemudi, suspensi, mesin, kelistrikan dan sebagainya. Menurut I Nyoman Sutantra (2009) [4] dalam buku Teknologi Otomotif dan Aplikasinya menjelaskan chasis adalah komponen kendaraan yang fungsi utamanya sebagai rangka penguat konstruksi badan kendaraan agar mampu menahan beban kendaraan dan beban impact saat terjadi tabrakan sehingga dapat melindungi penumpang.

Beberapa peneliti sebelumnya telah melakukan penelitian yang sejenis diantaranya adalah [5] Banedictus Bayu Bagaskoro dan Julendra Bambang Aritedja pada tahun 2019 melakukan analisa torsional rigidity dan uji tabrak pada chassis go-kart tonykart menggunakan finite element method. Pada tahun yang sama [6] Dwi Dani Aufar dan I Nyoman Sutantra melakukan penelitian analisis kekuatan chassis terhadap impact pada kendaraan bus mitsubishi fuso FE 84GBC dengan menggunakan metode elemen hingga. [7] kemudian Arief Putranto pada tahun 2019 melakukan penelitian mengenai redesain dan analisis finite element method rangka monocoque bagian atas (top frame) pada bus listrik PT MAB berbasis software inventor.

Oleh karena itu penelitian ini sangatlah penting guna mengidentifikasi kelemahan dari suatu chasis atau rangka guna untuk dijadikan data perbandingan untuk mengembangkan rangka tersebut agar meningkatkan keamanan, keselamatan serta kenyamanan.

METODE PENELITIAN

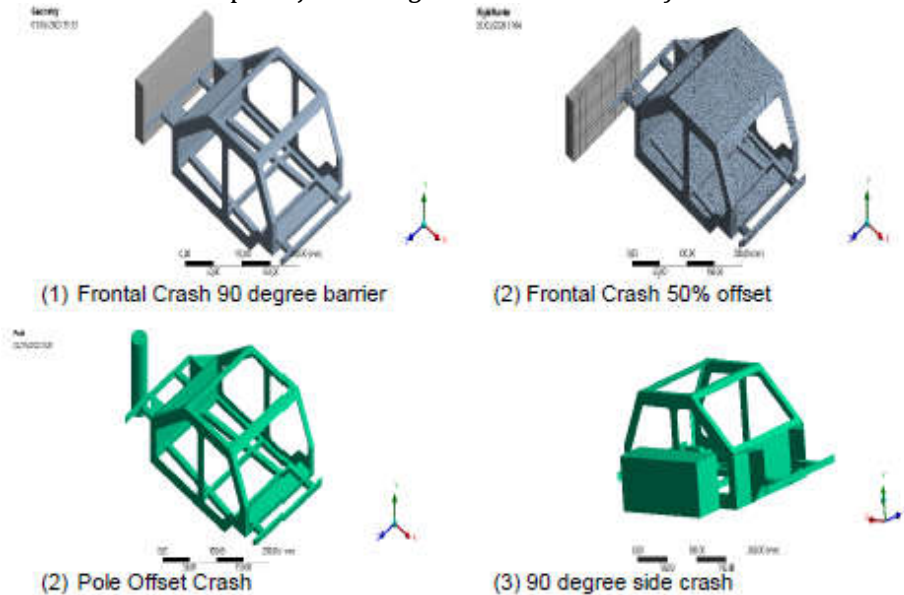
Dalam simulasi tubrukan menggunakan geometry penyederhanaan rangka mobil jenis *monocoque* perlu dilakukan 3 tahapan penelitian yang meliputi, tahap pembuatan model simulasi, tahap simulasi *explicit dynamics analysis* dan tahap evaluasi hasil simulasi. Tahap simulasi *explicit dynamics analysis* meliputi tahap import geometri model, input jenis material, proses *meshing* dan setting pengkondisian tubrukan. Pada pembuatan model analisis menggunakan *software Autodesk Inventor*, dengan model yang dibuat adalah kendaraan yang menggunakan struktur rangka mobil jenis *monocoque*, *barrier*, *pole* dan *movable barrier*.

Penelitian dilakukan dengan *simulasi explicit dynamics analysis* yang menggunakan *software Ansys Academic Version*. Berdasarkan simulasi *explicit dynamics analysis* yang

digunakan dalam penelitian terdapat 4 jenis simulasi tubrukan yaitu: *Frontal crash 90degree barrier*, *Frontal crash with offset*, *Pole offset crash*, dan *90degree side crash*. Kemudian, dari ke empat jenis simulasi tersebut dapat ditemukan hasil evaluasi *stress* pada kendaraan, deformasi yang terjadi pada saat tubrukan, dan perbedaan mesh pada model. Tahapan *explicit dynamics analysis* dilakukan sebagai berikut:

Import Geometry Model

Proses pertama yaitu mendesain geometri struktur penyederhanaan rangka mobil jenis *monocoque*, *barrier*, *pole*, dan *movable barrier* pada keempat jenis tubrukan dengan menggunakan *software Autodesk Inventor* yang kemudian import geometri tersebut ke *Ansys Version* dengan format *parasolid.x_t* untuk dilakukan simulasi *explicit dynamics analysis* pada *software Ansys Version*. Model tersebut merupakan penyederhanaan dari struktur utama kendaraan pada jenis *integrated* atau *unitized frame*.



Gambar 1. Desain Simulasi Tubrukan

Input Jenis Material

Material yang digunakan dalam proses penelitian sangat penting, karena dapat mempengaruhi hasil keempat simulasi *explicit dynamics analysis*. Input material struktur yang akan digunakan baik pada model kendaraan, *barrier*, *pole*, dan *movable barrier* dalam penelitian kali ini adalah sebagai berikut:

Tabel 1. *Structure Material*

Body	Material	Young Modulus	Poisson Ratio	Yield Strenght
Model Kendaraan	Aluminum Alloy NL	71000 MPa	0,33	280 MPa
Rigid Barrier	Structural Steel	200000 MPa	0,3	250 MPa
Pole	Structural Steel	200000 MPa	0,3	250 MPa
Movable Barrier	Aluminum Alloy	71000 MPa	0,33	280 MPa

Proses Meshing

Setelah geometri dan jenis material sudah diinput pada objek simulasi, maka proses selanjutnya dilakukan *meshing* pada objek simulasi dari keempat jenis *explicit dynamics analysis*. Pada proses ini dilakukan setting *default software*. Dari hasil *meshing* didapatkan bahwa dari keempat geometry jenis tubrukan memiliki jenis element yang sama yaitu menggunakan jenis *tetrahedral* dan memiliki jumlah *nodes* dan *element* sebagai berikut:

Statistics	
Nodes	8647
Elements	18272
Frontal Crash 90° barrier	
Statistics	
Nodes	9676
Elements	19388
Pole Offset Crash	
Statistics	
Nodes	11094
Elements	26640
Frontal Crash 50% Offset	
Statistics	
Nodes	10204
Elements	19720
90° Side Crash	

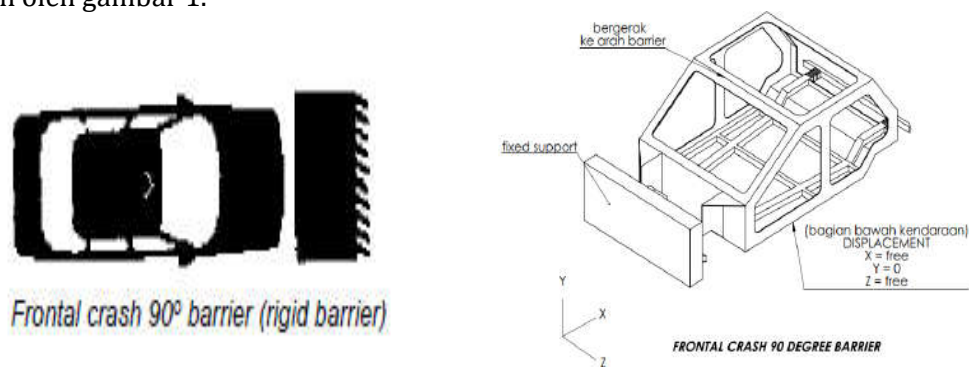
Gambar 2. Hasil Proses *Meshing*

Kondisi Tubrukan

Pada simulasi tubrukan atau *explicit dynamics analysis* mempunyai 4 jenis simulasi yang disesuaikan dengan kondisi tubrukan dan pembebanan yang terjadi pada keempat model, dengan penjelasan sebagai berikut:

Frontal Crash 90 degree barrier

Simulasi ini digunakan untuk mengidentifikasi tubrukan jika kendaraan menabrak sebuah rintangan (*barrier*) yang tegak lurus terhadap sumbu arah jalannya kendaraan. Kendaraan bergerak dan menabrak *rigid barrier* yang dalam keadaan diam yang ditunjukkan oleh gambar 1.



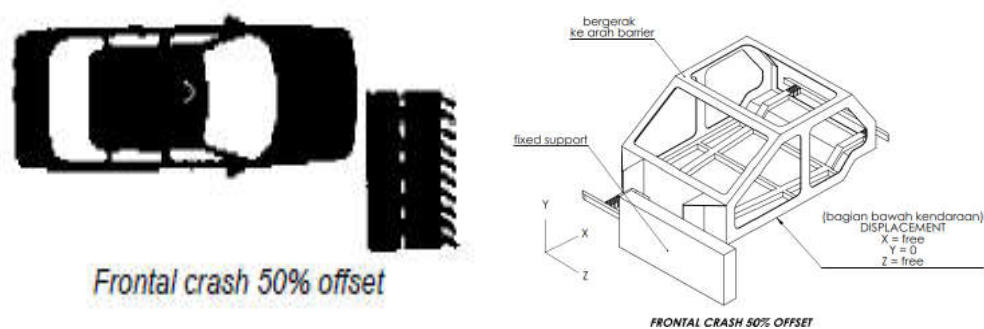
Gambar 3. Frontal Crash 90 degree barrier

Pembebanan pada kendaraan dalam keadaan bergerak pada jenis tubrukan *frontal Crash 90degree barrier* yaitu konfigurasi **displacement** yang diterapkan pada face arah Y kendaraan atau pada bagian bagian bawah kendaraan dengan konfigurasi (X = Free, Y = 0, Z = Free) kendaraan hanya diizinkan bergerak ke arah X dan Z, dan tidak diizinkan bergerak ke arah Y atau sebagai bentuk gaya gravitasi supaya kendaraan tetap di jalan atau tidak melayang. **Velocity** diterapkan pada seluruh body kendaraan dengan konfigurasi (X Component = -100000 mm/s). Oleh sebab itu, kendaraan bergerak menuju ke arah -X atau menabrak *rigid barrier* yang ada didepanya. Setelah itu edit **analysis setting** (End time = 0.0009, maximum number of cycles = 1e+07, maximum energy error = 0.1).

Pembebanan pada rigid barrier yang dalam keadaan diam yaitu menggunakan konfigurasi **fixed support** yang diterapkan pada bagian depan *rigid barrier*. Artinya, *Barrier* bagian depan tidak bergerak ke arah -X dan sebagai support.

Frontal Crash 50% Offset

Kondisi ini menyimulasikan jenis tubrukan jika kendaraan menabrak sebuah rintangan (*barrier*) dengan posisi 50% offset dan hanya sebagian bodi kendaraan yang menabrak *barrier*. Kendaraan bergerak dan menabrak *rigid barrier* dalam keadaan diam yang ditunjukkan oleh gambar 2.



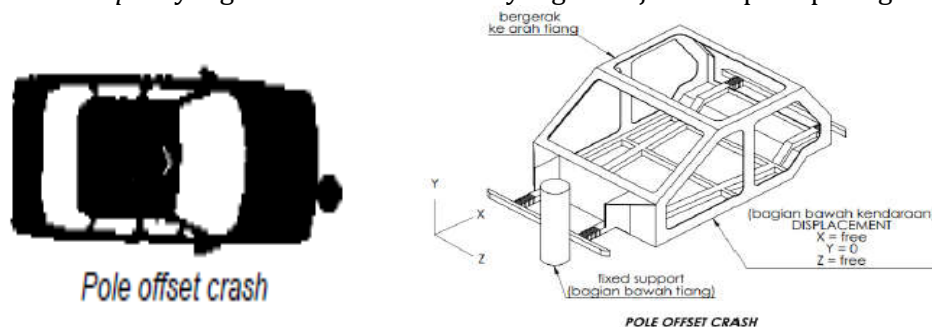
Gambar 2. Frontal Crash 50% Offset

Pembebanan pada kendaraan yang dalam keadaan bergerak yaitu konfigurasi **Displacement** yang diterapkan pada face arah Y kendaraan atau pada bagian bawah kendaraan. Dengan konfigurasi ($X = \text{Free}$, $Y = 0$, $Z = \text{Free}$) sehingga kendaraan hanya diizinkan bergerak ke arah X dan Z, dan tidak diizinkan bergerak ke arah Y atau sebagai bentuk gaya gravitasi supaya kendaraan tetap di jalan atau tidak melayang. **Velocity** diterapkan pada seluruh body kendaraan dengan konfigurasi ($X \text{ Component} = -100000 \text{ mm/s}$). Oleh sebab itu, kendaraan bergerak menuju ke arah -X atau menabrak/menubruk *rigid barrier*. Setelah itu edit **analysis setting** (End time = 0.0009, maximum number of Cycles = $1e+07$, maximum energy error = 0.1).

Pembebanan pada *rigid barrier* yang dalam keadaan diam yaitu konfigurasi **fixed support** yang diterapkan pada bagian depan rigid barrier. Artinya, *barrier* bagian depan tidak bergerak ke arah -X dan sebagai support.

Pole Offset Crash

Simulasi ini digunakan untuk mengidentifikasi tubrukan jika kendaraan menabrak objek dengan luas penampang yang kecil, misalnya menabrak tiang. Kendaraan bergerak dan menabrak *pole* yang dalam keadaan diam yang ditunjukkan seperti pada gambar 3.



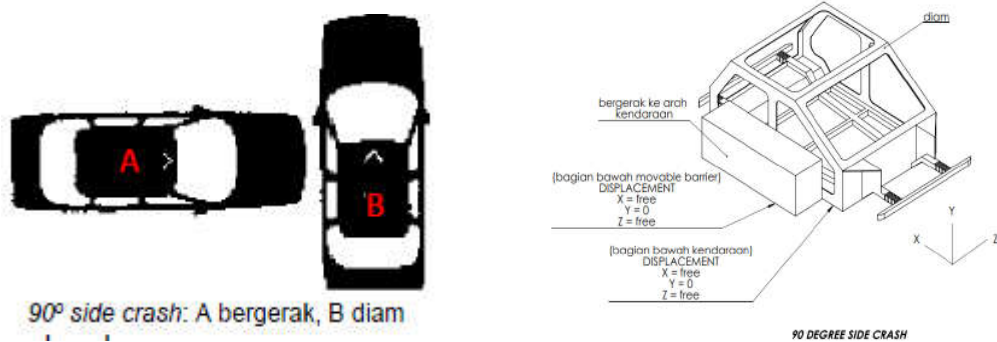
Gambar 3. Pole Offset Crash

Pembebanan pada kendaraan dalam keadaan bergerak pada jenis tubrukan *pole offset crash* yaitu konfigurasi **displacement** yang diterapkan pada face arah Y atau pada bagian bawah kendaraan. Dengan konfigurasi ($X = \text{Free}$, $Y = 0$, $Z = \text{Free}$) kendaraan hanya diizinkan bergerak ke arah X dan Z, dan tidak diizinkan bergerak ke arah Y atau sebagai gaya gravitasi supaya kendaraan tetap di jalan/ tidak melayang. **Velocity** diterapkan pada seluruh body kendaraan dengan konfigurasi ($X \text{ Component} = -100000 \text{ mm/s}$) Oleh sebab itu, kendaraan bergerak menuju ke arah -X atau menabrak tiang. Setelah itu edit **analysis setting** (End time = 0.0009, maximum number of cycles = $1e+07$, maximum energy error = 0.1).

Pembebanan pada pole yang dalam keadaan diam yaitu konfigurasi **fixed support** yang diterapkan pada bagian bawah tiang. Artinya, tiang/pole tidak bergerak dan sebagai *fixed support*.

90 degree side crash

Simulasi ini digunakan untuk mengidentifikasi tubrukan jika kendaraan ditabrak dari samping. Pada simulasi ini untuk memudahkan penggambaran proses tubrukan objek yang menabrak dari samping menggunakan *barrier* yang dapat bergerak (*movable barrier*). Pada simulasi ini kendaraan dalam kondisi diam, dan *movable barrier* bergerak menabrak kendaraan dari arah samping yang ditunjukkan seperti gambar 4.



Gambar 4. 90degree Side Crash

Pembebanan pada *movable barrier* yang dalam keadaan bergerak pada jenis tubrukan *90degree side crash* yaitu konfigurasi **displacement** yang diterapkan pada face arah Y pada bagian bawah movable barrier, dengan konfigurasi (X = Free, Y = 0, Z = Free) *movable barrier* hanya diizinkan bergerak ke arah X dan Z, dan tidak diizinkan bergerak ke arah Y atau sebagai gaya gravitasi *movable barrier*. **Velocity** diterapkan pada seluruh body *movable barrier* dengan konfigurasi definition: (Z Component = 90000 mm/s). Oleh sebab itu, *movable barrier* bergerak menuju ke arah Z atau menabrak kendaraan. Setelah itu edit **analysis setting** (End time = 0.0005, maximum number of cycles = 1e+07, maximum energy error = 0.1).

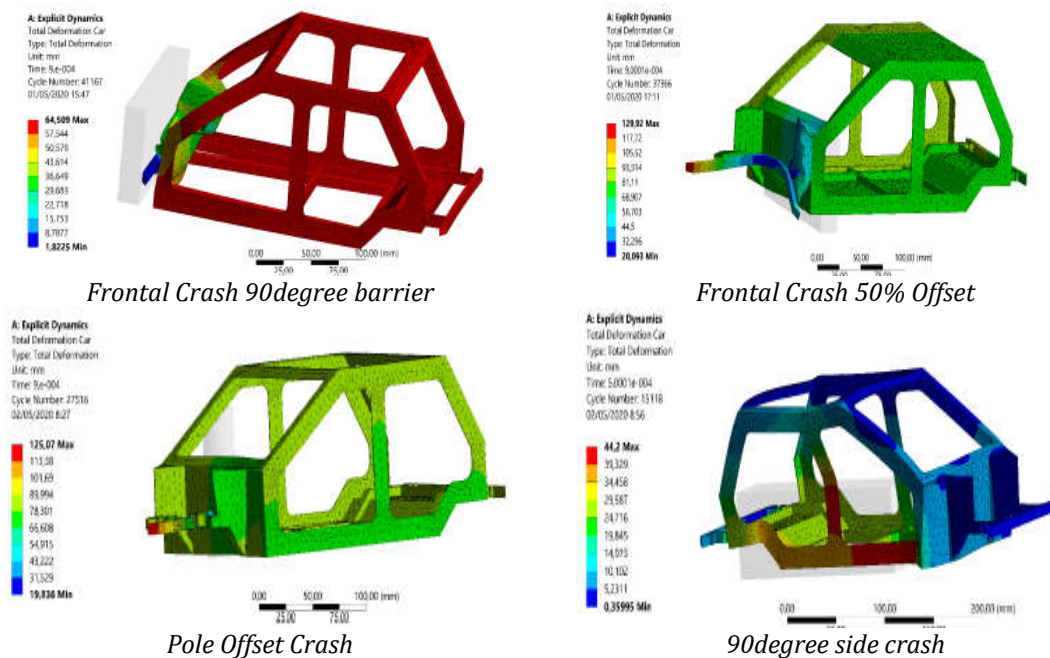
Pembebanan pada kendaraan yang dalam keadaan diam yaitu konfigurasi **displacement car** yang diterapkan pada arah Y pada bagian bawah kendaraan. Dengan konfigurasi definition: (X = Free, Y = 0, Z = Free).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Deformasi Hasil Simulasi

Pada gambar dibawah ini yang menunjukkan nilai deformasi dari keempat simulasi tubrukan didapatkan bahwa total deformasi terbesar terjadi pada pengujian *Frontal crash* 50% offset dengan besaran deformasi **129,92 mm** dan total deformasi terkecil terjadi pada *90degree side crash* sebesar **44,2 mm**. Hal ini terjadi karena pada *frontal crash* 50% offset tubrukan terjadi hanya sebagian yang mengenai body kendaraan, sehingga menyebabkan deformasi yang besar pada bagian *crash box* dan bumper bagian lainnya yang tidak terkena tubrukan.

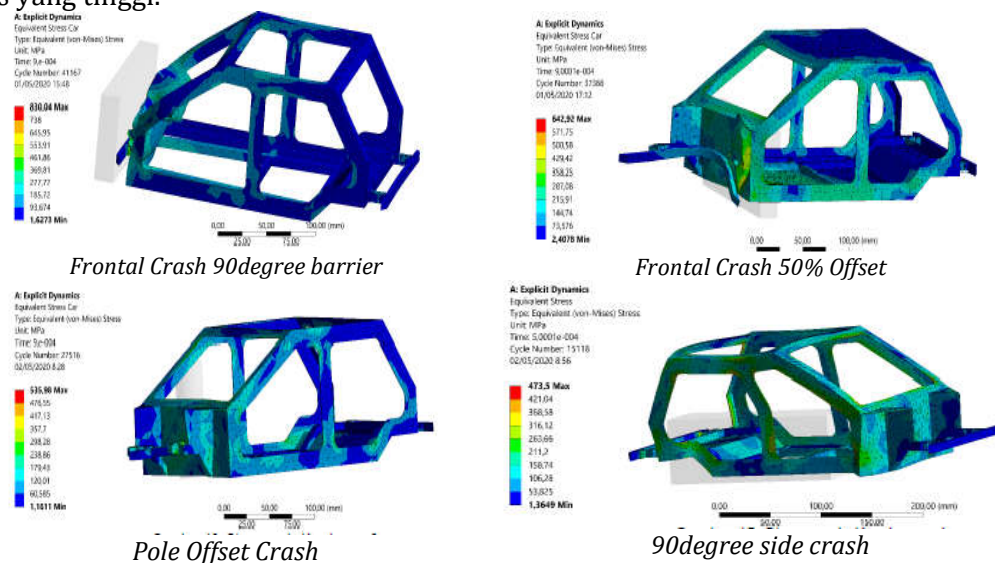
Jika dilihat dari data deformasi, paada jenis tubrukan *frontal crash* (tubrukan dari depan) memiliki hasil deformasi yang lebih besar dibandingkan dengan *side crash* (tubrukan dari samping) hal ini dapat terjadi karena pada *side crash* luas bidang yang terkena tubrukan lebih besar dibandingkan *frontal crash*, sehingga beban atau *impact* dari tubrukan tersebut dapat menyebar merata dan dapat lebih diredam yang memungkinkan dampak deformasi lebih kecil.



Gambar 5. Analisis Deformasi Hasil Simulasi

Analisis Stress Hasil Simulasi

Pada gambar dibawah ini merupakan analisis *stress* hasil simulasi dari keempat jenis tubrukan didapatkan *stress* yang terbesar terjadi pada simulasi *tubrukan frontal crash 90degree barrier* sebesar **830,04 MPa** dan *stress* terkecil terjadi pada *90degree side crash* sebesar **473,5 MPa**. Hal ini dapat terjadi karena pada jenis tubrukan *side crash* (tubrukan dari samping) luas bidang yang terkena tubrukan lebih besar dibandingkan dengan tubrukan jenis frontal crash, sehingga pembagian besaran *stress* yang menimpa kendaraan lebih luas dan merata dan *stress* yang ditimbulkan akibat tubrukan dari samping tidak terlalu besar. Namun, pada jenis tubrukan *frontal crash* (tubrukan dari depan) memiliki *stress* yang besar karena pada *frontal crash* memiliki luas bidang tubrukan yang lebih sempit, sehingga *stress* yang ditimbulkan kurang bisa terbagi merata dan terfokus pada area depan yang menyebabkan pada area depan kendaraan memiliki *stress* yang tinggi.



Gambar 6. Analisis Stress Hasil Simulasi

Analisis Mesh Hasil Simulasi

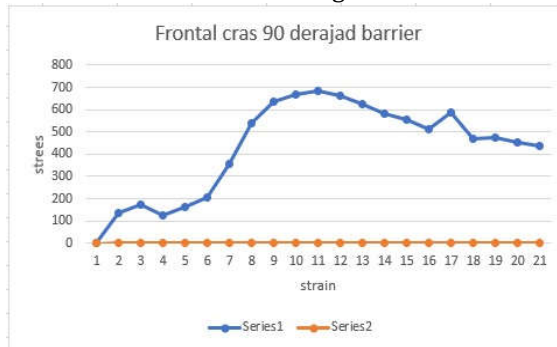
Dari keempat model simulasi tubrukan, keseluruhnya memiliki jenis element yang sama yaitu menggunakan element **tetrahedral**. Namun dari keempatnya memiliki jumlah nodes dan element yang berbeda, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2 tubrukan *frontal crash 50% Offset* memiliki jumlah *nodes* dan *element* yang terbesar, dan model *frontal crash 90' barrier* memiliki jumlah *nodes* dan *element* yang terkecil.

Statistics	
Nodes	8647
Elements	18272
Frontal Crash 90' barrier	
Statistics	
Nodes	9676
Elements	19388
Pole Offset Crash	
Statistics	
Nodes	11094
Elements	26640
Frontal Crash 50% Offset	
Statistics	
Nodes	10204
Elements	19720
90' Side Crash	

Gambar 7. Hasil Meshing

Analisis Grafik Strain dan Stress

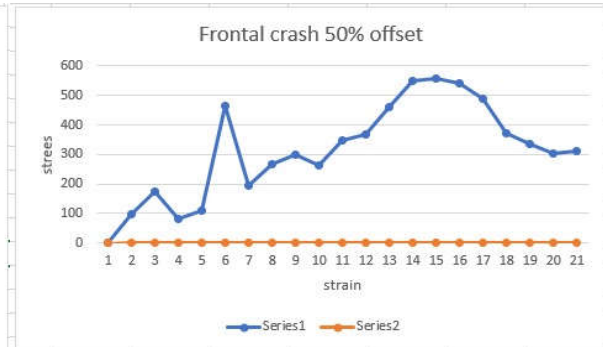
Frontal Crash 90degree barrier



Gambar 7. Grafik Strain-Stress Frontal Crash 90degree Barrier

Stress maksimal terjadi pada strain 11mm/mm.

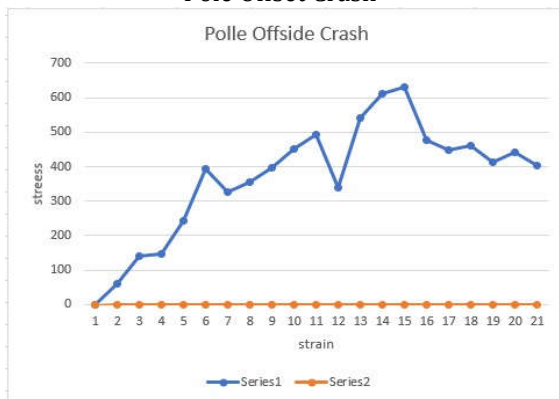
Frontal Crash 50% Offset



Gambar 8. Grafik Strain-Stress Frontal Crash 50% Offset

Stress maksimal terjadi pada strain 15mm/mm

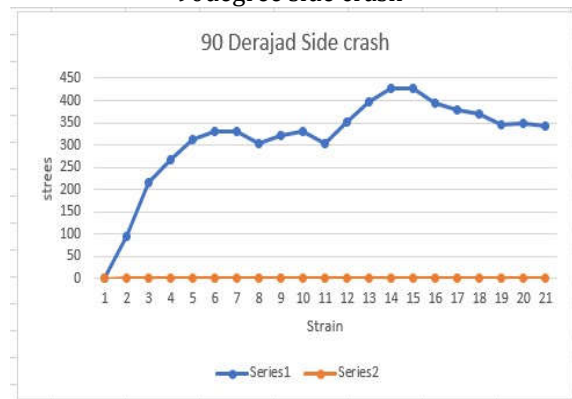
Pole Offset Crash



Gambar 9. Grafik Strain-Stress Pole Offset Crash

Stress maksimal terjadi pada strain 15mm/mm

90degree side crash



Gambar 10. Grafik Strain-Stress 90degree side crash

Stress maksimal terjadi pada strain 14-15mm/mm

Dilihat dari grafik diatas ditemukan bahwa side crash memiliki stress yang lebih stabil dan stress maksimal tidak terlalu besar menandakan bahwa side crash memiliki dampak tubrukan yang lebih kecil dibandingkan tubrukan jenis frontal crash yang memiliki nilai stress maksimal yang lebih besar dan cenderung kurang stabil.

KESIMPULAN

Pada simulasi ini terdapat 4 pengujian car crash, yaitu *Frontal crash 90' barrier*, *Frontal crash 50% offset*, *Pole offset crash 90' side crash*. Dari hasil simulasi ditemukan bahwa:

1. Dari keempat model simulasi pengujian *car crash* atau tubrukan, keseluruhnya memiliki jenis element yang sama yaitu *Tetrahedral*. Dari keempat data *nodes* dan *element*, model *Frontal crash 50% Offset* memiliki jumlah *nodes* dan *element* yang terbesar, dan model *Frontal crash 90' barrier* memiliki jumlah *nodes* dan *element* yang terkecil.
2. Pengujian *car crash* atau simulasi tubrukan jika dilihat dari aspek *Total deformation* dan *stress* pada kendaraan, ditemui bahwa jenis tubrukan *Frontal crash* (tabrakan dari arah depan) berakibat lebih besar pada model kendaraan yang digunakan dari pada *side crash*, terbukti dilihat dari hasil nilai *total deformation* dan *stress Frontal crash* yang jauh lebih besar dari pada *side crash* (tubrukan dari samping). Hal itu terjadi karena pada jenis tubrukan *side crash* luas bidang tubrukan pada kendaraan lebih besar sehingga penyebaran *deformasi* dan *stress* akibat tubrukan lebih luas dan merata tidak terfokus pada satu titik yang berdampak berkurangnya *stress* dan *deformasi* pada *side crash*. Oleh sebab itu, pada kendaraan aspek keamanan pada *chassis* bagian depan lebih diutamakan seperti dengan penambahan *bumper* dan *crash box* pada bagian *chassis* depan guna mengurangi efek yang ditimbulkan dari *frontal crash*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak dari suatu tubrukan yang terjadi pada kendaraan, sehingga untuk tindaklanjutnya diperlukan suatu penelitian guna mengatasi dan meminimalisir dampak dari tubrukan dapat dengan cara menambahkan suatu bagian komponen pada *chassi* guna menambah keamanan dan mengurangi dampak tubrukan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan terselesaikannya artikel ilmiah ini, kami selaku penulis mengucapkan terimakasih yang sedalam-dalamnya kepada Dosen pembimbing dan tim peneliti Laboratorium Desain Otomotif pada Program Studi Sarjana Terapan Mesin Otomotif Universitas Negeri Yogyakarta dan kepada seluruh pihak lain yang terlibat dalam penelitian.

REFERENSI

- [1] Bappeda Daerah Istimewa Yogyakarta. 2020. Data Kecelakaan dan Pelanggaran Lalu Lintas Data Vertikal Kepolisian Republik Indonesia Daerah Yogyakarta: Bappeda DIY. http://bappeda.jogjapro.go.id/dataku/data_dasar/index/548-data-kecelakaan-dan-pelanggaran-lalu-lintas?id_skpd=39 (diakses 19 nopember 2020)
- [2] Fuad, M. A. (2015). Analisis Defleksi Rangka Mobil Listrik Berbasis Angkutan Massal Menggunakan Metode Elemen Hingga (Doctoral dissertation, Universitas Negeri Semarang).
- [3] Juliandi. 2018. Jenis - Jenis Chasis Kerangka (Frame) Yang Digunakan Pada Kendaraan Mobil. <https://www.lksotomotif.com/2018/10/jenis-jenis-chasis-kerangka-frameyang.html?m=1> (diakses 20 nopember 2020)
- [4] N. I. Sutantra, Teknologi Otomotif dan Aplikasinya.
- [5] Bayu, Bagaskoro, B dan Bambang, Ariatedja, J (2019). Analisa Torsional Rigidity dan Uji tabrak pada Chassis Go-kart Tonykart menggunakan Finite Element Method (Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri ITS).

- [6] Dani, Aufar, Fahri, D dan Nyoman, Sutantra, I (2019). Analisis Kekuatan Chassis Terhadap Impact pada Kendaraan Bus Mitsubishi Fuso FE 84GBC dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga (Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri ITS).
- [7] Putranto, A. (2019). REDESAIN DAN ANALISIS FINITE ELEMENT METHOD RANGKA MONOCOQUE BAGIAN ATAS (TOP FRAME) PADA BUS LISTRIK PT MAB BERBASIS SOFTWARE INVENTOR (Doctoral dissertation, Universitas Negeri Semarang).