

Analisis Kekuatan *Body* Terhadap *Impact* pada Mobil *Flood Rescue Vehicle* dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga

Ryzqy Kumara Dhana dan Julendra Bambang Ariatedja
Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: ariatedja@me.its.ac.id

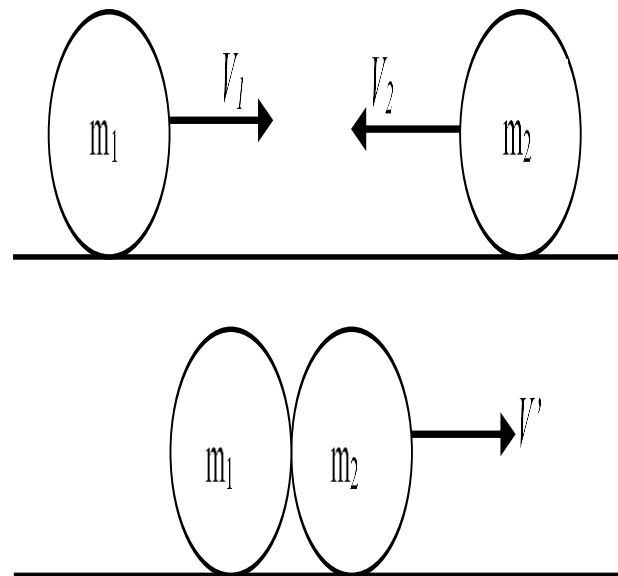
Abstrak—*Flood rescue vehicle (FRV)*, sebagai salah satu kendaraan untuk mengevakuasi korban banjir haruslah memiliki struktur *body* yang kuat agar tidak mudah rusak dan juga mampu melindungi penumpang. Oleh sebab itu diperlukan suatu pengujian untuk membuktikan kekuatan struktur mobil tersebut. Dalam tugas akhir ini dilakukan pengujian tabrak samping atau *side crash test* pada struktur *body* secara simulasi menggunakan software *ANSYS*. *Body* mobil *FRV* dimodelkan menggunakan software *Solidwork* dengan dimensi yang disesuaikan dengan ukuran asli dari mobil *FRV*. Simulasi pada software *ANSYS* diawali dengan memasukkan material *body FRV* dan mengatur kondisi batas yang digunakan, dilanjutkan dengan proses *meshing* dan uji konvergensi untuk menentukan konvergensi dari hasil proses *mesh*. Dilanjutkan dengan mengatur initial condition yang disesuaikan dengan pengujian standar *FMVSS 214 side pole* dan *IIHS moving deformable barrier*. Setelah dilakukan simulasi, diamati hasil deformasi dan *energy* serapan yang terjadi akibat beban *impact* sehingga dapat diamati kesesuaian desain struktur *body* dengan standar produksi yang berlaku. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa desain *body* mobil *FRV* lolos standar *IIHS*, namun memiliki hasil kurang baik pada pengujian tabrak dengan kendaraan bermassa sama dan pada *side pole* dengan kecepatan maksimal, yang memiliki nilai deformasi sebesar 37,98 cm dan 37,152 cm. Adapun perbedaan hasil simulasi *impact* dipengaruhi oleh massa dan kecepatan pada kondisi batas simulasi.

Kata Kunci—*Body, Deformasi, FRV, Impact, Tabrak Samping.*

I. PENDAHULUAN

BENCANA alam merupakan fenomena alam yang tidak bisa terprediksi kedatangannya sehingga dapat menyebabkan kerugian secara materil atau pun korban jiwa apabila terjadi. Salah satu fenomena yang sering terjadi di Indonesia adalah banjir. Genangan air dari banjir dapat menghambat laju akomodasi, sehingga kegiatan penyelamatan atau penyaluran bahan makanan dapat terhambat. Maka dari itu dibutuhkan suatu kendaraan yang dapat mempermudah laju akomodasi di daerah banjir.

FRV BPD Gresik atau *flood rescue vehicle* merupakan salah satu kendaraan yang didesain untuk mampu melalui medan banjir, dimana mobil ini didesain untuk keperluan penyelamatan dan evakuasi banjir yang terjadi di kabupaten Gresik. Mobil ini didesain dengan ketinggian yang lebih tinggi dari mobil pada umumnya (*city car*), mobil ini menggunakan jenis *chassis ladder frame* yang pada umumnya digunakan pada mobil 4WD untuk melalui medan medan ekstrem. Selain *chassis* yang mendukung untuk medan ekstrem, mobil ini pun diperkuat dengan *body* mobil yang tersusun atas plat mild steel dengan ketebalan 3mm. Mobil *FRV* tidak hanya didesain untuk melalui medan berair, namun



Gambar 1. Tumbukan tidak lenting sama sekali.

juga medan ekstrem. Dalam kondisi tersebut dapat memungkinkan terjadinya kecelakaan, seperti terguling, menabrak pohon, dan lain sebagainya yang menyebabkan deformasi dan kerusakan pada mobil *FRV*. Untuk itu dibutuhkan ketangguhan dari *body* mobil dan rangka yang kuat, sehingga pada saat terjadi kecelakaan struktur *body* dan *chassis* mobil dapat tetap aman dan mampu menyerap energi pada saat terjadi kecelakaan agar pengemudi dan penumpang dapat menggunakan kendaraan dengan aman.

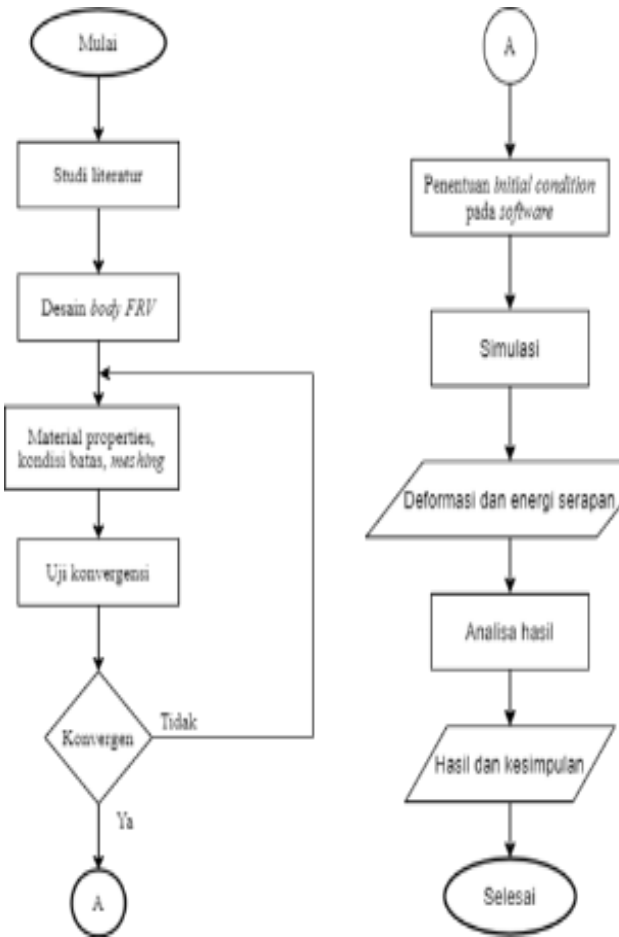
Maka dari itu dibutuhkan suatu pengujian untuk membuktikan bahwa desain dari mobil *FRV* ini aman digunakan saat melalui medan ekstrem. Salah satu pengujian yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah uji tabrak samping dimana uji tabrak ini dapat memvisualisasikan defleksi yang terjadi apabila bagian samping mobil menabrak pohon ataupun ditabrak oleh kendaraan dari arah samping. Dalam tugas akhir ini pengujian tabrak samping dilakukan secara simulasi menggunakan aplikasi *ANSYS* dan struktur *body* mobil dimodelkan dengan aplikasi *solidwork*.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Tumbukan

Tumbukan yang paling sederhana adalah tumbukan sentral.

Tumbukan sentral adalah tumbukan yang terjadi bila titik pusat benda yang satu menuju ke titik pusat benda yang lain. Banyak kejadian dalam kehidupan sehari-hari yang dapat



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

dijelaskan dengan konsep momentum dan impuls. Di antaranya peristiwa tumbukan antara dua kendaraan.

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 [1]. Adapun dalam penelitian ini tumbukan yang terjadi adalah tumbukan tidak lenting sama sekali, dan dapat dilihat pada gambar 1. Persamaan untuk tumbukan tidak lenting sama sekali adalah sebagai berikut [1]:

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = (m_1 + m_2) v' \tag{1}$$

$$m_1 v_1 + 0 = (m_1 + m_2) v' \tag{2}$$

$$v_1 = \frac{m_1 + m_2}{m_1} v' \tag{3}$$

Dimana:

m_1 = massa benda 1

m_2 = massa benda 2

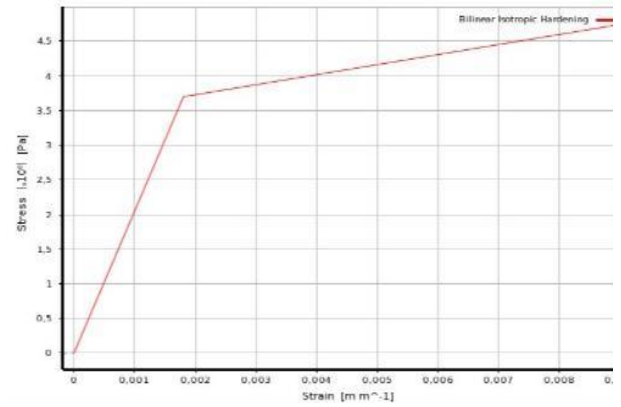
v_1 = kecepatan benda 1

v_2 = kecepatan benda 2

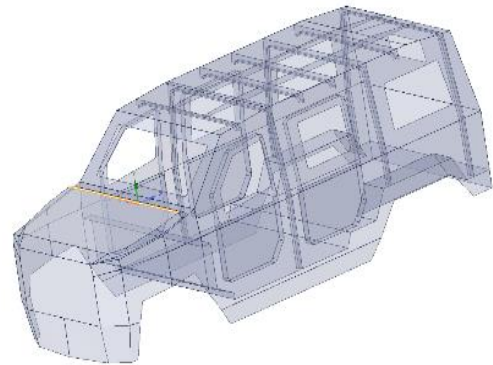
v' = kecepatan benda setelah tumbukan

B. Uji Tabrak

Dalam pengembangan dunia otomotif, digunakan simulasi yang berhubungan dengan perhitungan matematis sehingga dapat menurunkan biaya pengujian. Dimasa ini, pengujian *crashworthiness* menggunakan dua jenis pengujian, yaitu pengujian fisik (seperti uji tabrak mobil yang akan diproduksi) dan pengujian tabrak yang berbasis simulasi pada



Gambar 3. Grafik pemodelan AISI 1018.



Gambar 4. Desain body FRV.

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 [2].

C. 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 [3]:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{P}{\delta} \frac{L}{A} \tag{4}$$

$$\delta = \frac{P \times L}{A \times E} \tag{5}$$

Dimana:

P = Beban (N)

L = Panjang awal (mm)

E = Modulus elastisitas (N/m²)

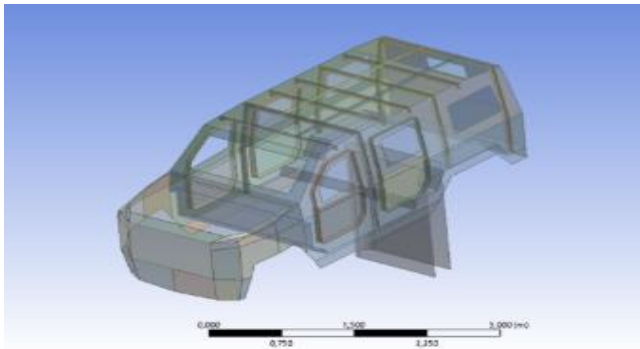
δ = Deformasi

σ = Tegangan (Mpa)

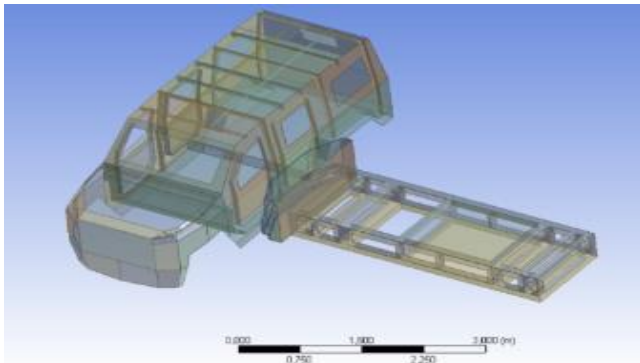
ϵ = Regangan

D. Energi

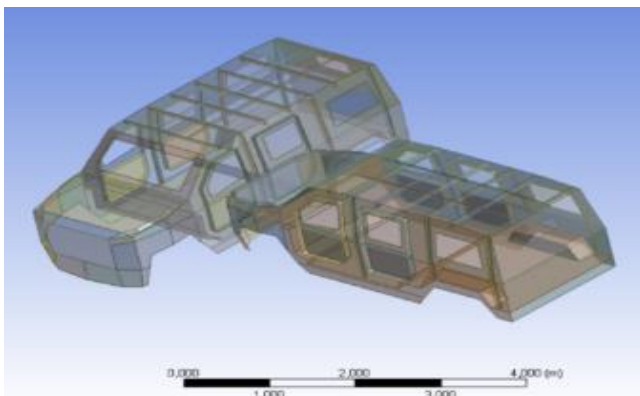
Hukum pertama termodinamika menyatakan bahwa energi



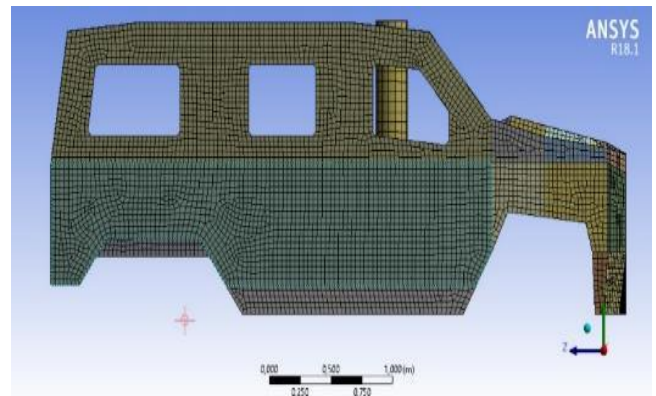
Gambar 5. Pengujian tabrak *side pole*.



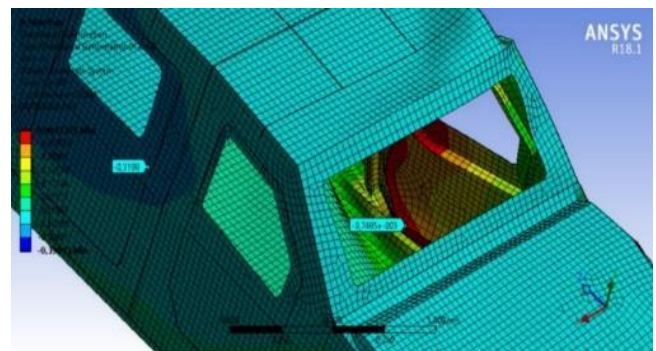
Gambar 6. Pengujian tabrak terhadap *MDB*



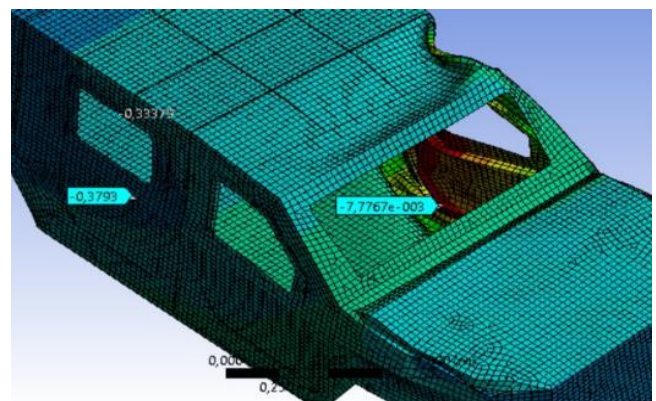
Gambar 7. Pengujian tabrak terhadap mobil bermassa sama.



Gambar 8. *Meshing* pada *body FRV*.



Gambar 9. Deformasi pengujian *side pole*.



Gambar 10. Deformasi pengujian *side pole* kecepatan maksimal.

bersifat kekal dalam sistem yang tertutup. Hukum ini dapat dinyatakan dengan persamaan (6) dibawah ini:

$$\delta Q - \delta W = \delta U \tag{6}$$

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:

$$\delta W = \delta U \tag{7}$$

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 [4].

III. METODE PENELITIAN

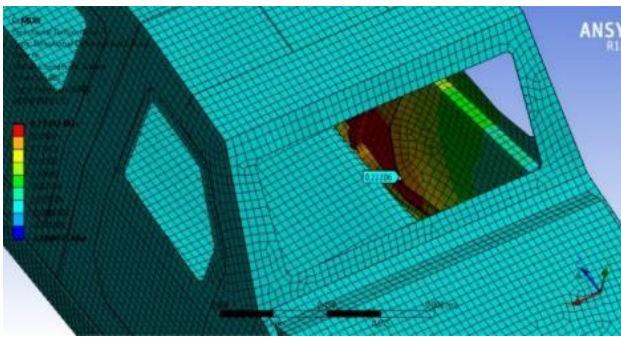
A. Diagram Alir

Adapun diagram alir dari penelitian ini terlihat pada Gambar 2.

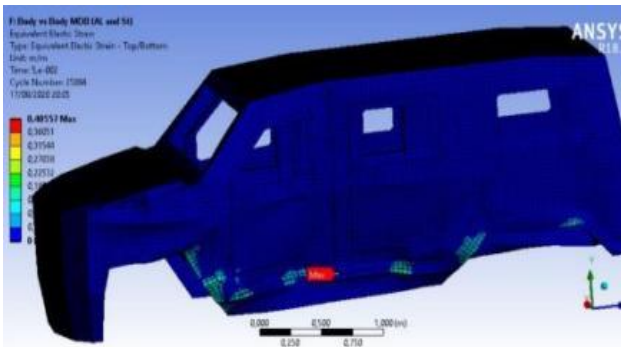
B. Pemodelan Material

Material penyusun *body FRV* merupakan mild steel AISI 1018. Dimana dalam simulasi ini properti material AISI 1018 dimodelkan sebagai material plastis. Pemodelan ini digunakan untuk mengetahui kurva setelah melewati titik *yield* (daerah elastis) sehingga menjadikankurva *stress strain* yang terjadi akan tidak linier kembali.

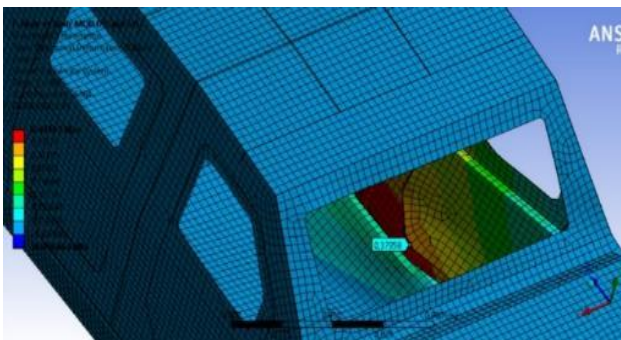
Pemodelan material plastis yang digunakan dalam pengujian ini menggunakan jenis pemodelan material plastis *Bilinear isotropic hardening* dimana parameter *yield strength* dan *tangent modulus* yang akan menjelaskan bagaimana perubahan deformasi plasti yang terjadi selama pengujian. Grafik pemodelan AISI 1018 dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 11. Dformasi pengujian tabrak terhadap MDB.



Gambar 12. Kerusakan body pengujian tabrak terhadap mobil bermassa sama.



Gambar 13. Deformasi pengujian tabrak terhadap mobil bermassa sama.

C. Pemodelan Simulasi

Body FRV didesain menggunakan aplikasi Solidwork 2019. Proses desain ini memerlukan ketelitian, agar desain body FRV dapat mendekati analisa body FRV sesungguhnya. Proses desain dimulai dengan mengukur dimensy FRV, dimensi ini dijadikan sebagai sketsa 2D yang kemudian dilanjutkan dengan mendesain 3D body FRV yang nantinya akan digunakan sebagai model simulasi, dapat dilihat pada gambar 4. Adapun dalam penelitian ini ada empat jenis pemodelan simulasi, yaitu:

1) Pengujian side pole

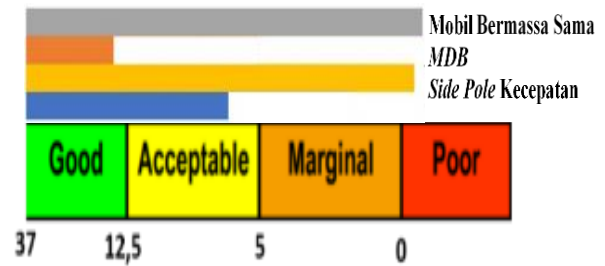
Pada pengujian ini, desain body FRV ditabrakkan pada pole atau tiang dengan diameter 254 mm. pemodelan tiang menggunakan surface yang didekatkan pada bagian kiri body FRV sehingga didapatkan desain seperti gambar 5, dimana kecepatan pada pengujian ini adalah 32,20 km/jam atau 8,94 m/s.

2) Pengujian side pole kecepatan maksimal

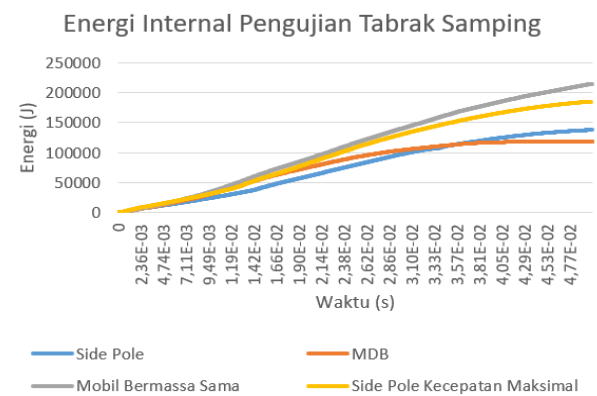
Pada pengujian ini body FRV ditabrakkan dengan side pole sama seperti skema pengujian side pole, dimana pada pengujian ini dapat menggambarkan keadaan struktur body mobil ketika mobil jatuh kedalam jurang. Pada pengujian ini dicari kecepatan maksimal hingga ditemukan kecepatan



Gambar 14. Defleksi pengujian.



Gambar 15. Pengkategorian hasil pengujian terhadap standar IIHS.



Gambar 16. Grafik perbandingan energi internal hasil pengujian

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

3) Pengujian tabrak terhadap Moving Deformable Barrier

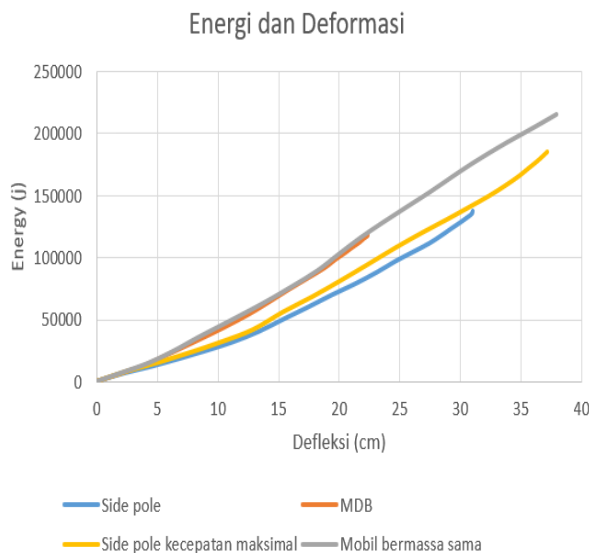
Pada pengujian ini, desain body FRV ditabrakkan dengan menggunakan MDB (moving deformable barrier) dengan massa sekitar 1500 kg yang terdiri dari bumper dan chassis yang dimodelkan menggunakan surface. Titik kontak antara MDB dan body mobil disesuaikan dengan standar IIHS, dimana MDB diposisikan berjarak 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, dapat dilihat pada gambar 6.

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. Namun berat dari MDB diubah densitasnya agar massa MDB meningkat sesuai dengan massa mobil, dapat dilihat pada gambar 7.

D. Uji Konvergensi

Uji konvergensi merupakan suatu proses untuk menguji



Gambar 17. Grafik hubungan energi dalam dan deformasi

apakah quality *mesh* baik dari pemilihan ukuran *mesh* untuk mendapatkan hasil deformasi yang valid. Dalam uji konvergensi ini diharapkan hasil dari proses *meshing* memberikan hasil yang konvergen. Semakin kecil ukuran elemen atau semakin banyak elemen maka didapatkan hasil yang valid, akan tetapi hal ini akan berpengaruh pada proses simulasi yang memakan waktu lebih lama. Uji konvergensi dilakukan dengan cara membuat grafik hubungan antara hasil simulasi besar tegangan pada suatu titik dalam model dengan variasi beberapa bentuk ukuran *meshing*, sehingga nantinya didapatkan ukuran yang baik pada saat selisih besar tegangan sangat kecil atau mendekati sama dari beberapa ukuran yang berbeda.

Pada simulasi ini, digunakan uji konvergensi dengan melihat perubahan deformasi yang terjadi pada titik konvergensi yang telah ditentukan. Uji konvergensi dilakukan dengan menentukan titik pada daerah yang terkena *stress* kemudian dilakukan simulasi dengan variasi *mesh* hingga menemukan error kurang dari 5%. Sehingga dihasilkan *mesh* pada body mobil seperti Gambar 8.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Uji TABRAK Side Pole

Sebagai acuan besarnya deformasi yang terjadi akibat pengujian pada bagian samping *body* mobil, maka perlu dilakukan peninjauan terhadap deformasi arah X *body* mobil. Hal ini dilakukan dengan meninjau *directional deformation* pada *ansys solution*, dan dilihat pada kontur dengan warna merah pintu kiri mobil yang menandakan daerah dengan deformasi yang besar. Deformasi pengujian *side pole* dapat dilihat pada gambar 9.

Kontur dengan warna biru menandakan adanya perpindahan akibat kecepatan dari mobil dengan nilai 0,3198 m dan kontur merah terjadi akibat tumbukan dengan tiang dengan nilai $9,75e-03$ m, sehingga nilai deformasi pada bagian kiri pintu mobil adalah 0,31005 m atau 31,005 cm yang pada standar *IIHS* masih termasuk dalam kategori “*acceptable*”.

B. Pengujian Tabrak Side Pole Kecepatan Maksimal

FRV sebagai mobil yang digunakan dalam medan offroad

tentunya harus tahan terhadap pengujian yang berlaku, adapun contohnya adalah pengujian tabrak samping dengan *side pole*, dimana pada pengujian ini dapat menggambarkan fenomena kecelakaan yang akan terjadi, salah satunya adalah fenomena FRV jatuh dari tebing. Pada pengujian ini didapatkan kecepatan sebesar 37,44 km/jam atau sebesar 10,4 m/s, sehingga didapatkan deformasi seperti pada Gambar 10.

Kontur dengan warna biru menandakan adanya perpindahan akibat kecepatan dari mobil dengan nilai 0,3793 m dan kontur merah terjadi akibat tumbukan dengan tiang dengan nilai $7,7767e-03$ m, sehingga nilai deformasi pada bagian kiri pintu mobil adalah 0,37152 m atau 37,152 cm yang pada standar *IIHS* masih termasuk dalam kategori “*poor*”.

C. Uji Tabrak MDB

Deformasi maksimal pada arah X untuk pengujian tabrak samping terhadap *MDB* ini bernilai 0,25341 m yang terletak pada bagian luar dari pintu kiri bagian depan mobil dimana pada bagian ini yang menjadi penahan dari tabrakan terhadap *MDB*, dan dapat dilihat pada gambar 11.

Pada pengujian ini didapatkan deformasi terbesar yang terjadi pada struktur pintu kiri berwarna kuning mendekati merah dengan nilai sebesar 0,22206 m. Nilai ini menjadi nilai actual dari pengujian ini, dikarenakan pada saat pengujian mobil dikondisikan diam dan ditabrak dengan *MDB* sehingga tidak ada perpindahan dari *body* mobil itu sendiri yang berbeda dari pemodelan simulasi tabrak dengan *side pole*. Nilai sebesar 0,22206 m atau 22,206 cm dikategorikan dalam kategori “*good*” untuk standar *IIHS*. Deformasi pengujian tabrak terhadap mobil bermassa sama dapat dilihat pada gambar 13.

D. Pengujian Tabrak terhadap Mobil Bermassa Sama

Pada Gambar 12 dapat dilihat kerusakan terjadi pada bagian samping kiri mobil pada pintu depan dan pintu tengah, hal ini terjadi karena tumbukan yang terjadi akibat *body FRV* ditabrak oleh *moving deformable barrier* bermassa 3270 kg dengan kecepatan 51 km/jam untuk menggambarkan uji tabrak dengan massa kendaraan yang sama.

Pada pengujian ini didapatkan deformasi terbesar yang terjadi pada struktur pintu kiri berwarna kuning dengan nilai sebesar 0,37958 m. Nilai ini menjadi nilai actual dari pengujian ini, dikarenakan pada saat pengujian mobil dikondisikan diam dan ditabrak dengan *MDB* sehingga tidak ada perpindahan dari *body* mobil itu sendiri yang berbeda dari pemodelan simulasi tabrak dengan *side pole*. Nilai sebesar 0,37958 m atau 37,958 dikategorikan dalam kategori “*poor*” untuk standar *IIHS*.

E. Perbandingan Hasil Pengujian

Dalam pengujian tabrak samping, deformasi merupakan nilai yang dijadikan acuan yang menyatakan bahwa struktur dari *body* mobil baik digunakan atau diperlukan desain ulang ketika defleksi yang dihasilkan terlalu besar dan melebihi standar. Dalam simulasi pengujian ini didapatkan hasil untuk tabrak samping dengan *side pole* sebesar 31,005 cm, uji tabrak samping *side pole* dengan kecepatan maksimal sebesar 37,152 cm, uji tabrak samping dengan *MDB* sebesar 22,206 cm, dan uji tabrak samping dengan mobil bermassa sama sebesar 37,958 cm.

Defleksi dari empat jenis pengujian ini termasuk dalam kategori yang berbeda beda. Kategori terendah (*poor*) terdapat pada hasil pengujian tabrak dengan mobil bermassa sama serta side pole dengan kecepatan maksimal, sedangkan untuk hasil pengujian tabrak terhadap *MDB* dan *side pole* masuk kategori aman seperti pada Gambar 15.

Adapun besarnya defleksi yang terjadi pada pengujian tabrak samping dipengaruhi oleh besarnya energi serapan dari body mobil *FRV*. Energi adalah suatu hal yang tidak bisa di musnahkan namun bisa diubah ke dalam bentuk lain. Energi dapat diserap oleh suatu benda pada saat terjadi tumbukan dalam berbagai macam cara. Salah satunya adalah deformasi, dimana perubahan bentuk dari suatu struktur dapat terlihat dan diamati. Dalam simulasi ini didapatkan *trendline* dimana energi internal dari tiap tiap pengujian naik yang menandakan *body FRV* menyerap energi kinetik akibat tumbukan.

Dari gambar 16 grafik dapat dilihat bahwa penyerapan energi terbesar terjadi pada tumbukan *body* mobil *FRV* terhadap mobil bermassa sama dengan energi sebesar 215240 joule, 185420 joule pada pengujian tabrak *side pole* dengan kecepatan maksimal, kemudian tumbukan *body FRV* terhadap *side pole* dengan nilai 137950 joule, dan tumbukan *body FRV* dengan *MDB* dengan nilai 118110 joule.

Pada setiap skema pengujian didapatkan hasil yang berbeda beda, dimana hasil dari pengujian dipengaruhi oleh massa dan kecepatan yang mempengaruhi besarnya energi kinetik pengujian.

Pada Gambar 14 didapatkan hasil pengujian terbesar terjadi pada uji tabrak samping dengan mobil bermassa sama, meskipun memiliki skema pengujian yang sama dengan uji tabrak samping dengan *MDB* namun massa penumbuk berbeda, dimana pada pengujian tabrak samping dengan mobil bermassa sama terserap energi sebesar 215240 joule, sedangkan pada pengujian tabrak dengan *MDB* didapatkan energi terserap sebesar 118110 joule. Perbedaan ini mengakibatkan besarnya defleksi yang cukup jauh antara pengujian tabrak dengan mobil bermassa sama dengan pengujian tabrak dengan *MDB*.

Pengujian dengan nilai terbesar kedua terjadi pada pengujian tabrak samping *side pole* dengan kecepatan maksimal, dimana energi yang terserap sebesar 185420 joule. Jika dibandingkan dengan energi terserap pada uji tabrak samping dengan *side pole* yang hanya 137950 joule, energi terserap pada uji tabrak samping *side pole* dengan kecepatan maksimal lebih besar, sehingga defleksi yang terjadi pada pengujian tabrak samping *side pole* dengan kecepatan maksimal sebesar 37,152 cm, sedangkan pada pengujian tabrak samping dengan *side pole* sebesar 31,005 cm.

Perbedaan ini dipengaruhi oleh kecepatan yang diberikan pada skema pengujian, sehingga defleksi yang terjadi pun memiliki perbedaan.

Pengujian ketiga dengan nilai defleksi sebesar 31,005 cm terjadi pada pengujian *side pole* dimana pada pengujian ini terserap energi sebesar 137950 joule, dimana energi serapan lebih besar dibandingkan dengan uji tabrak terhadap *MDB* yang hanya sebesar 118110 joule dengan nilai defleksi sebesar 22,206 cm. Perbedaan ini diakibatkan oleh skema yang berbeda pada pengujian tabrak, dimana pada pengujian *side pole* merupakan beban terpusat dan *barrier* yang berupa *pole* tidak terdeformasi, berbeda dengan skema pengujian tabrak dengan *MDB* dimana beban yang terjadi merupakan beban merata yang ditahan oleh *body* samping dan *barrier MDB* terdeformasi.

Dari gambar 17 grafik hubungan energi serapan dan defleksi yang terjadi dapat terlihat bahwa energi serapan mempengaruhi besarnya deformasi yang terjadi, dimana semakin meningkat energi serapan maka semakin besar pula defleksi yang terjadi.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari hasil simulasi uji tabrak samping pada *body* mobil *FRV* yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa: (1) Hasil deformasi yang terjadi pada pengujian terjadi pada *body* bagian samping cukup beragam. Deformasi pada pengujian *side pole* terfokus pada pintu. Untuk pengujian tabrak terhadap *MDB* dan mobil bermassa sama terfokus pada *body* samping bagian bawah dari mobil; (2) Deformasi yang terjadi pada *body* mobil *FRV* memiliki kategori yang beragam, dimana desain dari mobil *FRV* lolos uji untuk standar *IIHS*, namun memiliki hasil yang kurang baik pada pengujian tabrak dengan mobil bermassa sama; (3) Besar energi serapan yang diterima oleh *body FRV* bergantung pada kecepatan dan massa kendaraan yang menabraknya, penyerapan energi terbesar terjadi dalam pengujian tabrak dengan mobil bermassa sama.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. C. Hibbeler, *Engineering Mechanics : Dynamics*, 12th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2010.
- [2] P. M. Leonardi, *Car Crashes without Cars Lessons about Simulation Technology and Organizational Change from Automotive Design*. Cambridge, Massachusetts; London,: The MIT Press, 2012.
- [3] R. C. Hibbeler, *Engineering Mechanics : Statics*, 11th ed. United States of America: Pearson Prentice Hall, 2011.
- [4] D. W. A. Rees, *Basic Solid Mechanics*. Basingstoke: Macmillan Press LTD, 1997.