



Analisis Pengaruh Desain Tangki Mobil untuk Kapasitas 5000 Liter Gas Terhadap Tekanan Permukaan

The Impact of Surface Pressure on the Design of a 5,000-Liter Automobile Gas Tank

Faris Setio Wibowo, Delvis Agusman dan Riyan Ariyansah*

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Informatika, Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. HAMKA, Jl. Tanah Merdeka, No.6, Ciracas, Jakarta Timur, Indonesia

Informasi artikel:

Diterima:
13/01/2023
Direvisi:
20/01/2023
Disetujui:
24/01/2023

Abstract

The tank car is a closed storage area or tank designed to contain the liquid as a gas or liquid at a different pressure than the ambient pressure. Chemical reactions with the fluid inside a car's tank or physical phenomena the fluid encounters can cause instantaneous changes in the condition of the tank, resulting in occasional cracking or leaking. This research aims to determine how the design shape of a 5000-liter tank affects surface pressure. The method utilized is the finite element method based on computer-aided engineering (CAE) with the software Ansys Workbench Student Version. The results demonstrated that the maximal stress value and total deformation of the Model 2 tank were significantly different from those of the Model 1 and Model 3 tanks. The tank variation of the model is known to have the lowest stress value of 1.1309 MPa and the lowest deformation value of 0.0042421 mm. Therefore, the Model 2 tank variants are more recommended than the Models 1 and 3 for vehicles with a 5000-liter capacity.

Keywords: tank model variations, Ansys workbench, stress, total deformation.

SDGs:



Abstrak

Tangki mobil berfungsi untuk tempat penyimpanan tertutup atau reservoir yang dirancang untuk menyimpan fluida dalam bentuk gas ataupun cairan pada tekanan yang berbeda dari tekanan lingkungan. Tangki mobil dapat seketika mengalami perubahan keadaan yang disebabkan oleh adanya reaksi kimia fluida yang disimpan di dalam tangki ataupun fenomena fisika yang diterima fluida yang terkadang berakibat tangki menjadi retak atau bocor. Tujuan dalam penelitian ini ialah untuk menganalisis pengaruh bentuk desain tangki mobil kapasitas 5000 liter terhadap tekanan permukaan. Metode yang digunakan adalah metode elemen hingga berbasis *computer aided engineering* (CAE) menggunakan perangkat lunak *Ansys Workbench Student Version*. Hasil penelitian menjelaskan terjadi perbedaan yang cukup signifikan pada nilai tegangan maksimum dan deformasi total antara tangki Model 2 dengan tangki Model 1 dan Model 3. Diketahui variasi tangki dengan Model memiliki nilai tegangan yang paling kecil yaitu sebesar 1.1309 MPa serta memiliki nilai deformasi yang paling kecil juga yaitu sebesar 0.0042421 mm. Oleh karena itu variasi tangki dengan Model 2 lebih direkomendasikan untuk tangki mobil dengan kapasitas 5000 L dibandingkan Model 1 dan Model 3.

Kata Kunci: variasi model tangki, Ansys workbench, tegangan, deformasi total.

*Penulis Korespondensi
email : riyan_ariyansah@uhamka.ac.id



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

1. PENDAHULUAN

Tangki pada mobil berguna sebagai sejenis alat penyimpanan, reservoir atau wadah tertutup yang dirancang untuk menyimpan fluida gas atau cairan pada tekanan yang berbeda dari tekanan sekitar (Chauhan dan Awasthi, 2018). Fluida di dalam tangki mobil dapat mengalami perubahan keadaan seperti reaktor kimia atau ketel uap yang terkadang menyebabkan situasi mudah terbakar atau berbahaya. Oleh karena itu, sangat penting untuk memastikan bahwa bejana anti bocor dan cukup kuat untuk menahan tekanan dan suhu operasi (Arunkumar, Moorthy dan Karthik, 2020). Sehingga, tangki pada mobil dirancang dengan sangat hati-hati karena pecahnya tangki berarti ledakan yang dapat menyebabkan hilangnya nyawa dan harta benda (Kumar dkk., 2018).

Analisis tegangan tangki pada mobil untuk kondisi yang berbeda seperti desain bentuk kepala yang berbeda, desain penopang yang, dan lain-lain, telah banyak dilakukan pada penelitian sebelumnya dengan menggunakan metode elemen hingga berbasis *computer aided engineering* (CAE) seperti *Ansys Workbench* (Li dkk., 2014). Metode elemen hingga adalah teknik numerik untuk menemukan solusi perkiraan masalah dalam *sains* dan teknik. Masalah-masalah ini diatur oleh tiga komponen antara lain persamaan diferensial, kondisi batas dan geometri spesifikasi masalah (Dechaumphai dan Sucharitpwatskul, 2018). Sedangkan, *Ansys Workbench* adalah paket perangkat lunak pemodelan elemen hingga yang digunakan untuk memecahkan berbagai *engineering problems* secara numerik. Masalah-masalah dibidang *engineering* yang dapat disimulasikan menggunakan *Ansys* seperti analisis struktural (linier dan non-linier), perpindahan panas, dan aliran fluida (Liawan, Tanujaya dan Darmawan, 2023), masalah akustik dan elektromagnetik (Stolarski, Nakasone dan Yoshimoto, 2018).

Namun, dalam penggunaan perangkat lunak *Ansys Workbench* untuk menganalisis atau mensimulasikan suatu masalah ada beberapa hal penting yang perlu diketahui antara lain pemodelan geometrik jelas dan konsisten dengan spesifikasi masalah kemudian, data sifat mekanik yang dipakai harus sesuai standar, kualitas *mesh*

yang dilakukan pada model geometri harus sesuai dengan standar selain itu, parameter batas kondisi yang digunakan harus spesifik dan jelas nilainya, selanjutnya hasil simulasi divisualisasikan dengan skala yang sesuai dan perbedaan gradasi warna *contour* ataupun *vector* (Gamayel dan Octavianus, 2022).

Perangkat lunak *Ansys Workbench* telah banyak digunakan pada berbagai kajian literatur yang terkait dengan penelitian analisis pengaruh bentuk desain tangki atau *pressure vessel* seperti, pada penelitian analisis elemen hingga dan desain optimal untuk *pressure vessel* menggunakan *Ansys Workbench* (Li dkk., 2014). Dalam penelitian ini *Ansys Workbench* digunakan untuk melakukan optimasi *pressure vessel*. Sehingga, dengan melakukan analisis elemen hingga menggunakan *Ansys Workbench*, didapatkan modifikasi dan optimasi pada desain *pressure vessel*.

Kemudian, ada juga penelitian lain dengan *analysis of cylindrical pressure vessels with dissimilar ends and material comparison* yang berkaitan dengan studi metodologis *pressure vessel* (*cylindrical* atau *spherical*) dengan ujung atau kepala yang berbeda (Kushwah dkk., 2022). *Pressure vessels* dirancang untuk volume 24 L dan bejana tekan 8 bar yang dilakukan mengikuti standar ASME bagian VIII, Divisi I. Namun, dalam penelitian ini, ketebalan dijaga tetap konstan terlepas dari kepala silinder atau ujungnya untuk mempelajari pengaruhnya. *Finite element analysis* dilakukan untuk mengevaluasi atau mempelajari parameter tegangan. Hasil penelitian menyimpulkan ujung atau kepala silinder yang lebih baik untuk ketebalan konstan, perbandingan material dibuat untuk membandingkan dengan keadaan terkini dan mengetahui material yang lebih baik dengan menganalisis tegangan sirkumferensial dan tegangan longitudinal (Kushwah dkk., 2022).

Selain itu, penelitian analisis statis dan dinamis *pressure vessel* dengan variasi pengaku, berfokus pada *pressure vessel* dengan berbagai desain pengaku seperti sisir madu, segitiga, persegi, persegi, semi-lingkaran, persegi panjang, melingkar, heliks, sektor, slotted persegi panjang, *linier x-crossed*, kuadrat *x-crossed* dimodelkan dan dianalisis dengan menggunakan *Ansys Workbench 17.0* (Kumar dkk., 2018).

Dari analisis struktur statis, deformasi total, von mises, tegangan hoop dan kekakuan struktur spesifik dihitung, frekuensi alami diperoleh dari analisis modal. Kemudian desain pengaku terbaik menjadi rekomendasi dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti kekakuan struktural spesifik, tegangan Von Mises, berat dan deformasi total.

Berdasarkan latar belakang dan tinjauan literatur relevan dapat diamati, bahwa pada umumnya desain tangki untuk penyimpanan bentuknya bagian ujungnya bulat dan rata. Sedangkan, tangki yang digunakan pada mobil umumnya memiliki tiga model bentuk geometri dasar antara lain, bentuk yang bagian ujungnya dengan geometri bulat atau dan datar biasa digunakan untuk menyimpan fluida jenis cair. Lalu, bentuk tangki yang bagian ujungnya dengan geometri bulat dan melengkung biasa dipakai untuk menyimpan fluida jenis gas. Serta bentuk yang bagian ujungnya oval dan datar biasa digunakan untuk menyimpan fluida cair sejenis minyak.

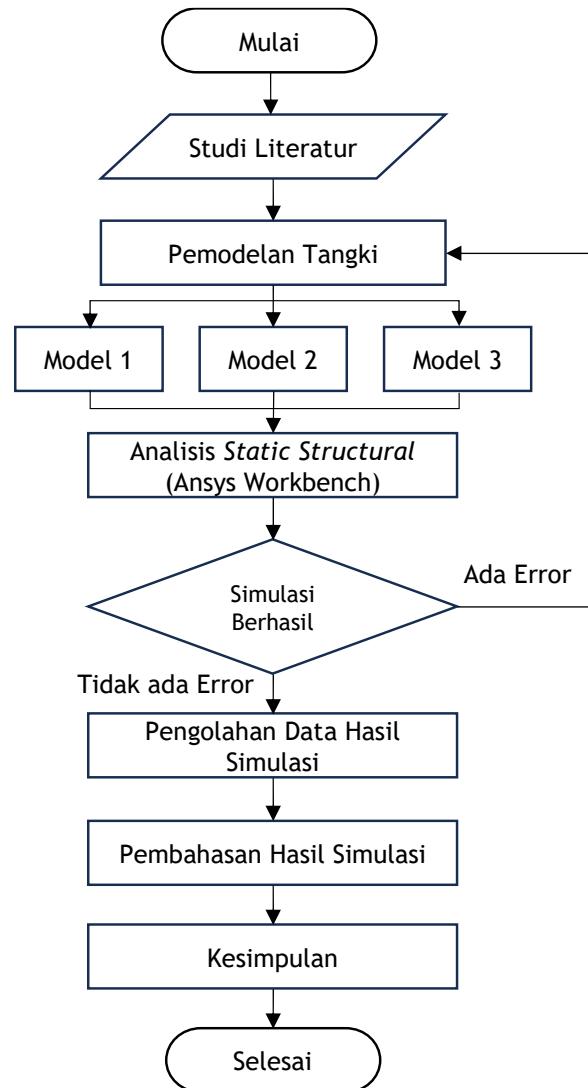
Dengan demikian, perlu diketahui dan dianalisis model bentuk tangki mobil yang aman digunakan ketika tangki mendapatkan tekanan permukaan, maka adapun tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh bentuk desain tangki mobil kapasitas 5000 liter terhadap tekanan permukaan dengan metode elemen hingga berbasis *computer aided engineering* (CAE) menggunakan perangkat lunak *Ansys Workbench Student Version*.

2. METODOLOGI

Alur proses penelitian digambarkan oleh diagram alir seperti pada Gambar 1. Jalannya proses penelitian dimulai dengan melakukan tinjauan pustaka dari berbagai literatur yang relevan dan kredibel untuk mendapatkan beberapa inspirasi desain tangki dan parameter simulasi. Kemudian, pemodelan variasi tangki dibuat menggunakan perangkat lunak AutoCAD Student Version lalu model geometri di ekspor ke format (.igs).

Selanjutnya, *static structural analysis* pada ketiga variasi model tangki disimulasikan menggunakan perangkat lunak *Ansys Workbench R2 2022 Student Version*. Ketika hasil simulasi

tidak ada *error program* maka, hasil simulasi dapat divalidasi dan disajikan dalam bentuk tabel data atau gambar visualisasi gradasi warna contour pada ketiga variasi model tangki. Dengan demikian, akan didapatkan beberapa kesimpulan penelitian yang berdasarkan pengolahan data dan pembahasan hasil simulasi struktur statis yang telah dilakukan sebelumnya menggunakan *Ansys Workbench*.

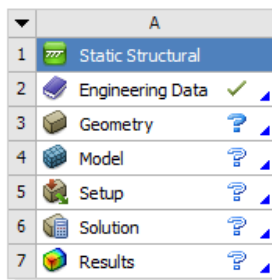


Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1. Static Structural Analysis

Pada penelitian ini dilakukan analisis struktural statis pada ketiga variasi model tangki, dimana sistem analisis ini merupakan bagian dari paket perangkat lunak Ansys Workbench yang sering digunakan untuk menganalisis kekuatan

struktur suatu pemodelan geometris terhadap fenomena fisika seperti diberi tekanan atau gaya sehingga dari hasil analisis akan diketahui nilai dan visualisasi tegangan, regangan dan deformasi total yang terjadi akibat dari fenomena fisika yang diberikan pada model geometri (Gamayel dan Octavianus, 2021). Prosedur tahapan pada sistem *static structural analysis* memiliki 6 tahapan antara lain *engineering data*, *geometry*, *model*, *setup*, *solution*, dan tahap akhir yaitu *result* seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. *Static structural analysis system* (Gamayel dan Octavianus, 2021)

2.2. Spesifikasi Material Tangki

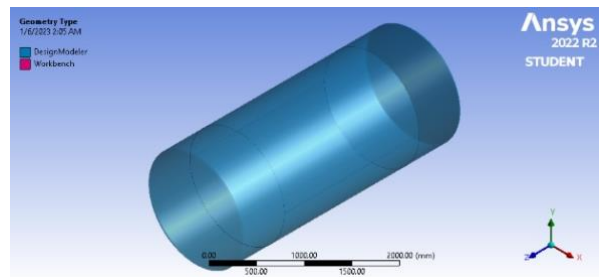
Pada Gambar 2 dapat dilihat ada tahapan *engineering data* yang merupakan tahapan untuk memasukan data-data sifat mekanis material tangki yang analysis. Adapun spesifikasi material tangki pada penelitian ini menggunakan standar ASTM A 515 ini mencakup pelat baja karbon-silikon terutama untuk pekerjaan dengan suhu menengah dan tinggi dalam *boiler* yang dilas dan bejana tekan lainnya data spesifikasinya seperti pada Tabel 1 (ASTM, 2023). Sedangkan untuk *engineering data* pada penopang tangki menggunakan baja karbon dimana semua spesifikasi sifat mekanisnya sudah tersedia pada program Ansys.

Tabel 1. Spesifikasi material ASTM A515 (ASTM, 2023)

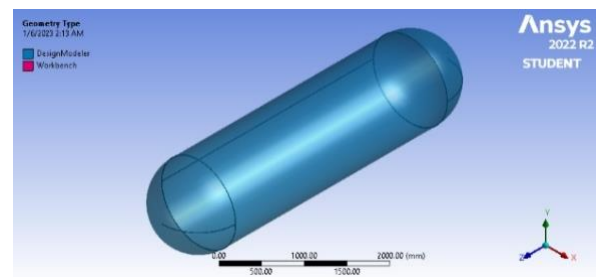
Grade U.S [S.I]	Tensile Strength, ksi [MPa]
60 [415]	60-80 [415-550]
65 [450]	65-85 [450-585]
70 [485]	70-90 [485-620]

2.3. Pemodelan Variasi Tangki

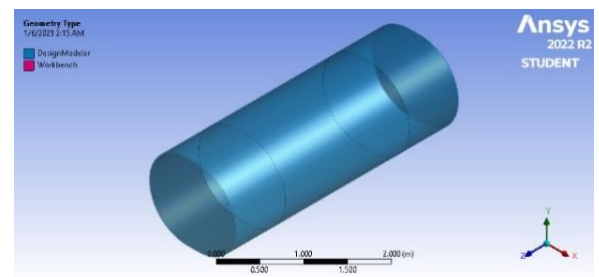
Pemodelan variasi tangki mobil dirancang dalam bentuk tiga dimensi dengan kapasitas 5000 liter setelah diekspor dengan format (.igs) kemudian ketiga model tangki diimpor menggunakan aplikasi Design Modeler yang merupakan masih bagian dari paket perangkat lunak Ansys Workbench seperti pada Gambar 3.



(a). Model 1



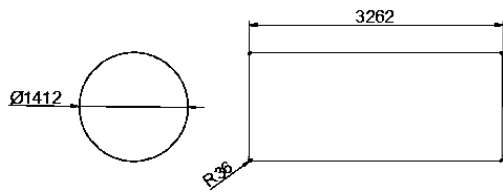
(b). Model 2



(c). Model 3

Gambar 3. Desain 3D model variasi tangki

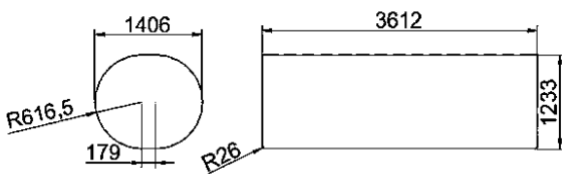
Untuk lebih detailnya, secara sederhana dimensi atau spesifikasi ukuran dari ketiga variasi tangki dapat dilihat pada Gambar 4. Satuan ukuran menggunakan millimeter (mm), serta ketebalan tangki sebesar 4 mm.



(a). Model 1



(b). Model 2



(c). Model 3

Gambar 4. Desain 2D model variasi tangki

2.4. Meshing Variasi Model Tangki

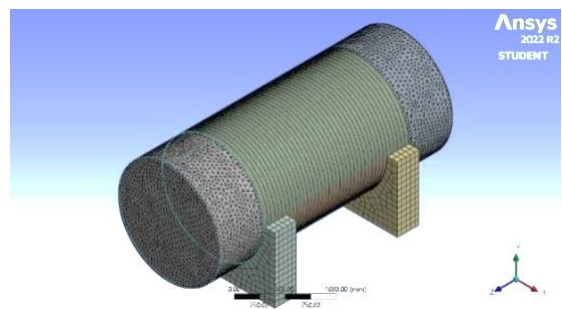
Proses *mesh* pada ketiga variasi model tangki dilakukan untuk menguraikan model geometri tangki menjadi beberapa elemen/node seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Data jumlah elements dan nodes

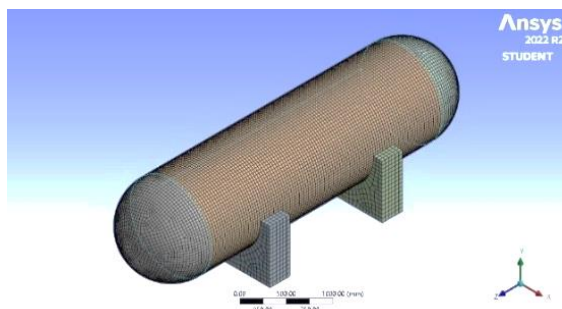
Variasi Tangki	Elements	Nodes
Model 1	125388	38608
Model 2	118438	17363
Model 3	119687	44964

Pada perangkat lunak Ansys Workbench *Student Version* jumlah *mesh* dibolehkan dengan kasus *structural physic* yaitu sebesar 128000 elements/nodes (ANSYS, 2023). Sehingga, jumlah *mesh* yang paling banyak didapatkan pada variasi tangki Model 3, yaitu: sebesar 125388 *elements* dan 38608 *nodes*. Jumlah *mesh* tersebut tidak melebihi batas yang sudah ditentukan oleh Ansys Workbench *Student Version*, maka perlu dilakukan penentuan metode *mesh* agar kalkulasi

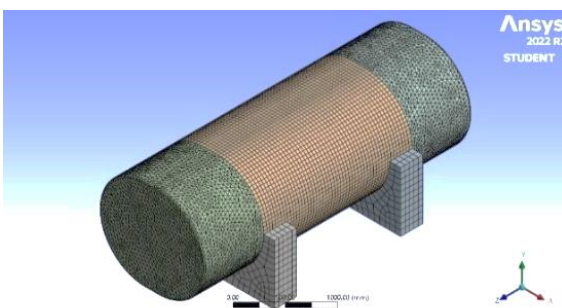
yang didapatkan dari hasil simulasi lebih mendekati akurat dengan kondisi *true experimental*. Metode *mesh* yang dipakai yaitu *multizone* dengan tipe dekomposisi standar dan tipe pola *mesh* heksahedral karena, untuk model dengan geometri sederhana, elemen heksahedral lebih disukai karena dapat memberikan akurasi perhitungan solusi yang lebih akurat (Dechaumphai dan Sucharitpwatskul, 2018). Selain itu, metode *automatic* dengan elemen tetrahedral juga dipakai untuk bodi geometri yang lebih unik seperti pada Gambar 5.



(a). Model 1



(b). Model 2

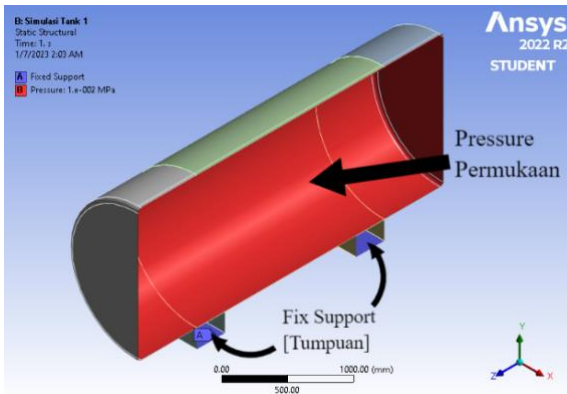


(c). Model 3

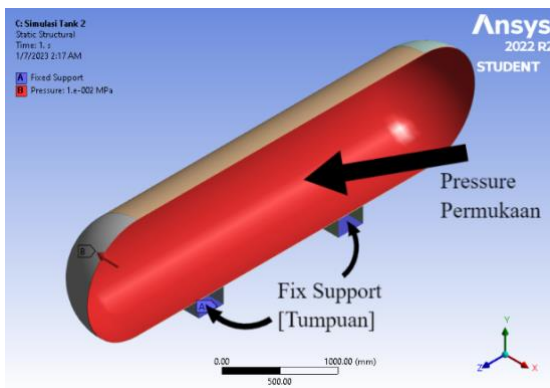
Gambar 5. Hasil mesh model variasi tangki

2.5. Parameter Batas Kondisi

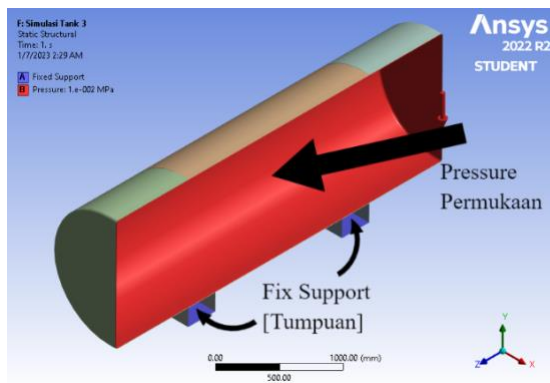
Adapun parameter batas kondisi atau *boundary conditions* yang digunakan untuk analisis *static structural* yaitu *pressure* pada permukaan dalam tangki sebesar 0.01 MPa dan area *fix support* atau tumpuan berada pada penopang tangki bagian bawah seperti pada Gambar 6.



(a). Model 1



(b). Model 2



(c). Model 3

Gambar 6. *Boundary conditions* model variasi tangki

Selain itu, suhu lingkungan diasumsikan sebesar 22°C dan *step end time* simulasi selama 1 detik. Selanjutnya, *solver type program controlled* dan *solver pivot checking* digunakan untuk memvalidasi hasil simulasi, apabila terjadi *error input* dapat terdeteksi oleh program *Ansys Workbench*.

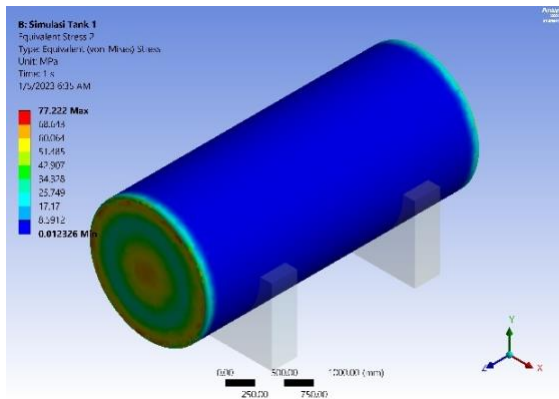
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil *static structural analysis* menggunakan Ansys Workbench diketahui bahwa variasi tangki model 2 memiliki nilai *equivalent (von-mises) stress* yang paling kecil sebesar 1,1309 MPa dan nilai *total deformation* terkecil sebesar 0,0042421 mm. Data hasil *static structural analysis* seperti pada Tabel 3 menunjukkan terjadi perbedaan nilai tegangan von-mises dan deformasi total yang cukup signifikan antara Model 2 dengan Model 1 dan Model 3. Artinya, variasi tangki dengan Model 2 mempunyai struktur kekuatan yang lebih kuat dibandingkan Model 1 dan Model 3.

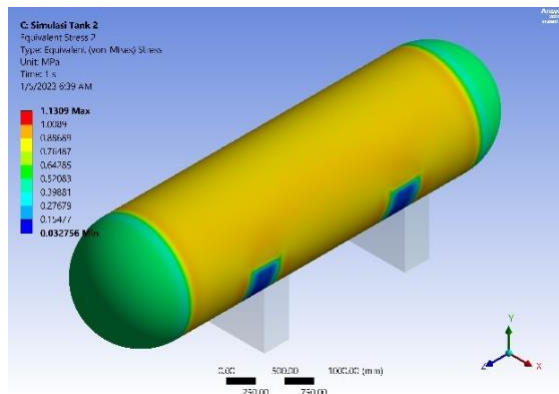
Tabel 3. Data hasil *static structural analysis*

Variasi Tangki	Equivalent Stress [MPa]	Total Deformation [mm]
Model 1	77.222	8.7789
Model 2	1.1309	0.0042421
Model 3	91.75	7.7044

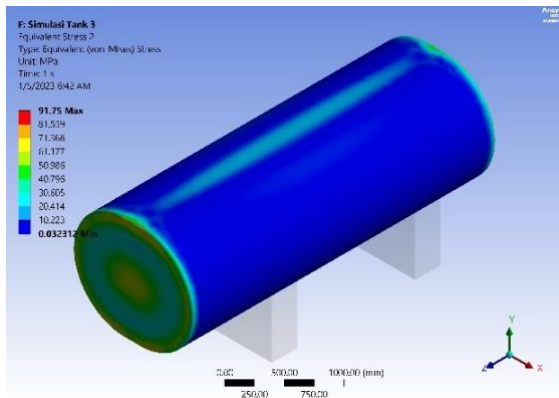
Selanjutnya, dari hasil *static structural analysis* didapatkan pula visualisasi sebaran atau distribusi tegangan yang terjadi akibat dari *pressure* permukaan yang diberikan. Sebaran tegangan divisualisasikan dengan gradasi warna *contour* pada ketiga model tangki seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Indikator warna bagian model tangki, jika warnanya semakin mendekati warna merah artinya semakin tinggi nilai tegangannya. Sebaliknya, nilai tegangan yang terjadi semakin menurun semakin dekat warna model tangki ke warna biru. Berdasarkan visualisasi sebaran tegangan yang terjadi, terlihat jelas perbedaan gradasi warna *contour* yang signifikan antara Model 2 dengan Model 1 dan Model 3.



(a). Model 1



(b). Model 2

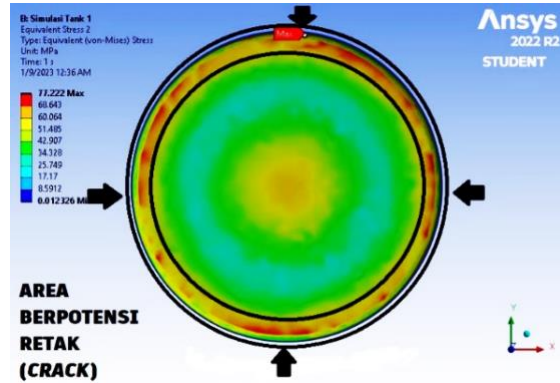


(c). Model 3

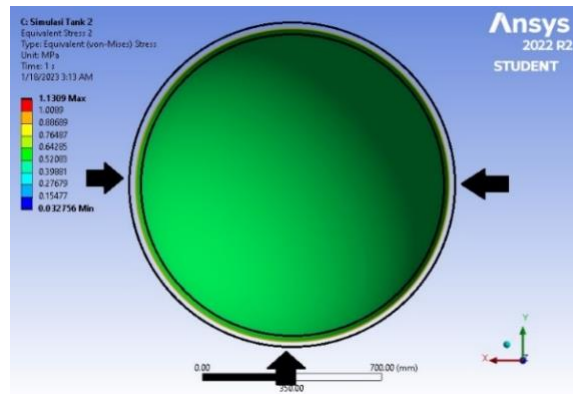
Gambar 7. Visualisasi sebaran tegangan pada tangki

Dengan demikian, maka diketahui bahwa bagian model tangki yang warnanya merah atau bagian yang nilai tegangannya tinggi akan berpotensi mengalami retak (*crack*) seperti pada Gambar 8. Bagian yang berpotensi retak pada model tangki apabila nilai tegangannya terus meningkat karena adanya *pressure* atau beban tambahan diluar batas kondisi yang sudah ditentukan, sampai nilai tegangannya melewati

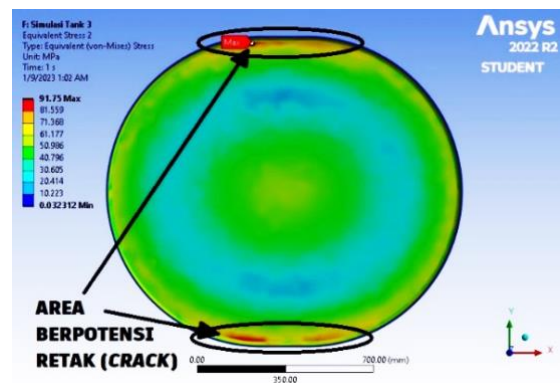
batas kekuatan tarik maksimum material tangki, maka pada bagian itu akan berpotensi tinggi mengalami kebocoran seperti pada Gambar 8.



(a). Model 1



(b). Model 2

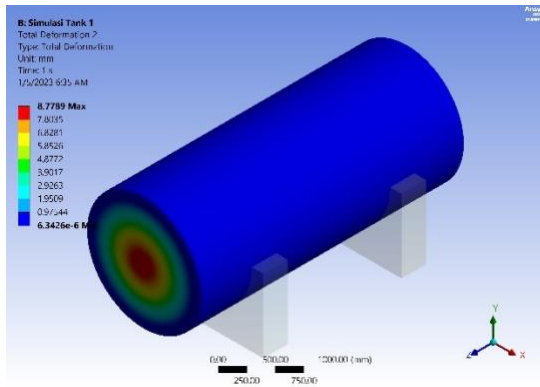


(c). Model 3

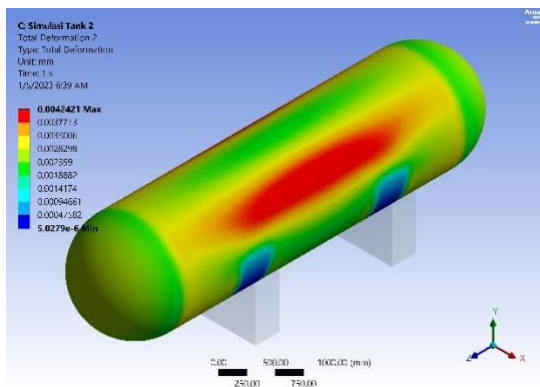
Gambar 8. Visualisasi area potensi retak pada tangki

Terlihat perbedaan yang signifikan untuk area yang berpotensi retak, dimana pada Model 2 area potensi retak berada pada bagian depan dan belakang tangki, yang luasan atau sebarannya divisualisasikan oleh *contour* berwarna kuning

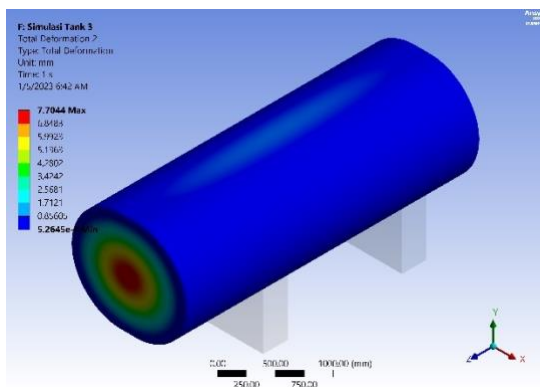
diujung lengkungan tangki. Sedangkan, pada Model 1 dan Model 3 area potensi retak berada pada bagian depan dan belakang tangki, luasan atau sebarannya divisualisasikan oleh area *contour* berwarna yang dilingkari dan berlabel *Max* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 8.



(a). Model 1



(b). Model 2

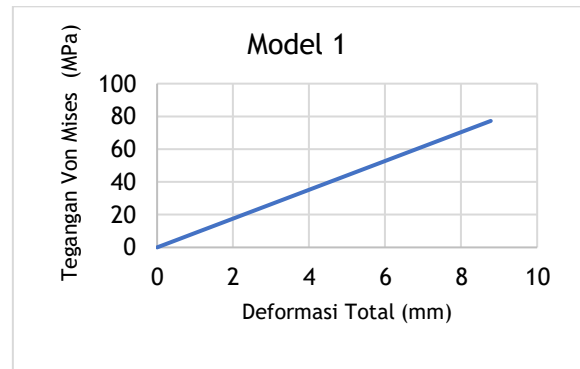


(c). Model 3

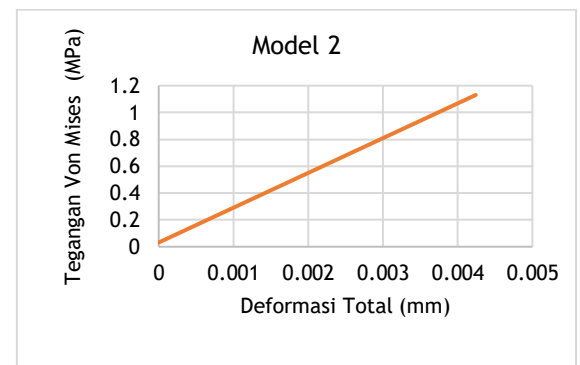
Gambar 9. Visualisasi sebaran deformasi total pada tangki

Selain itu, diketahui juga visualisasi sebaran atau distribusi deformasi total (*total*

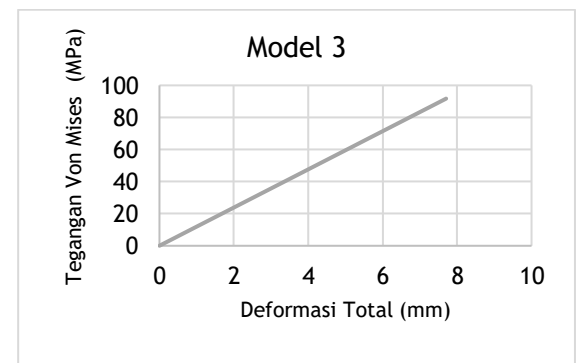
deformation) pada ketiga variasi model tangki seperti pada Gambar 9. Nampak jelas perbedaan *contour* yang berwarna merah pada Model 1 dan Model 3 berada dibagian ujung tangki, sedangkan pada Model 2 dibagian tengah tangki.



(a). Model 1



(b). Model 2



(c). Model 3

Gambar 10. Grafik tegangan *von mises* terhadap deformasi total pada variasi tangki

Pada area model tangki yang warnanya semakin mendekati warna merah artinya semakin tinggi nilai deformasi totalnya, sebaliknya bagian model tangki yang warnanya semakin mendekati warna biru artinya semakin rendah nilai deformasi

total yang terjadi. Visualisasi sebaran deformasi total pada tangki Model 2 gradasi warna contour didominasi dengan warna hijau hingga ke merah sedangkan pada tangki Model 1 dan Model 3 warna biru lebih mendominasi namun pada area tangki yang mendekati warna merah nilai deformasinya lebih tinggi dibandingkan Model 2. Artinya, variasi tangki Model 2 lebih baik menahan perubahan bentuk akibat dari pressure permukaan dibandingkan dengan variasi tangki Model 1 dan Model 3.

Dari hasil *static structural analysis* menggunakan Ansys Workbench didapatkan juga data-data perbandingan grafik tegangan *von mises* terhadap deformasi total pada ketiga variasi model tangki seperti pada Gambar 10. Grafik menunjukkan kesesuaian garis linear, artinya nilai tegangan *von mises* berbanding lurus dengan nilai deformasi total.

Apabila nilai tegangan *von mises* naik akan mengakibatkan semakin meningkatnya nilai deformasi total. Dengan demikian, variasi tangki dengan Model 2 lebih direkomendasikan untuk tangki mobil dengan kapasitas 5000 liter dibandingkan Model 1 dan Model 3, karena tangki dengan variasi Model 2 terbukti lebih baik dibandingkan Model 1 dan Model 3 untuk mereduksi nilai dan sebaran tegangan yang terjadi akibat adanya *pressure* permukaan.

4. SIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan pada penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa variasi tangki Model 2 yang memiliki bentuk desain tangki bagian depan dan belakang lebih melengkung seperti bentuk parabola, berpengaruh signifikan untuk mereduksi tegangan dan deformasi akibat *pressure* permukaan. Dibandingkan dengan variasi tangki Model 1 dan Model 3 yang memiliki bentuk desain tangki bagian ujungnya yang lebih datar dan membentuk sudut. Sehingga berakibat pada tegangan yang meningkat signifikan disekitar area sudut tangki dan sebaran tegangan menjadi kurang efisien.

Diharapkan untuk penelitian lanjutan dapat menganalisis kekuatan struktur dinamis dari tangki mobil yang sedang beroperasi atau berjalan dengan kecepatan tertentu. Dengan demikian,

semakin lengkap hasil data analisis baik secara statis maupun dinamis dapat digunakan sebagai rujukan untuk perancangan desain tangki mobil yang aman dan kuat.

DAFTAR PUSTAKA

- ANSYS (2023) *Ansys Student - Free Software Download*. Available at: <https://www.ansys.com/academic/students/ansys-student> (Diakses: 7 Januari 2023).
- Arunkumar, S., Moorthy, P.R.E. dan Karthik, N. (2020) 'Design optimization of horizontal pressure vessel', in *Materials Today: Proceedings. 10th International Conference of Materials Processing and Characterization*, India: Elsevier, hal. 1526-1531.
- ASTM (2023) 'Standard Specification for Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, for Intermediate- and Higher-Temperature Service'. ASTM International. Available at: https://www.astm.org/a0515_a0515m-17r22.html (Diakses: 15 Mei 2023).
- Chauhan, G.S. dan Awasthi, A. (2018) 'Design and Analysis of high pressure composite vessels', *International Journal of Latest Engineering and Management Research (IJLEMR)*, 3(6), hal. 96-102.
- Dechaumphai, P. dan Sucharitpwatskul, S. (2018) *Finite Element Analysis with ANSYS Workbench*. United Kingdom: Alpha Science International [Cetak].
- Gamayel, A. dan Octavianus, G. (2021) *Tutorial Ansys Workbench Untuk Bidang Mekanikal: Jilid 1*. Bandung: CV. Media Sains Indonesia [Cetak].
- Gamayel, A. dan Octavianus, G. (2022) *Tutorial Ansys Workbench Untuk Bidang Mekanikal: Jilid 2*. Bandung: CV. Media Sains Indonesia [Cetak].
- Kumar, A.E. dkk. (2018) 'Static and Dynamic Analysis of Pressure Vessels With Various Stiffeners', in *Materials Today: Proceedings. 7th International Conference of Materials Processing and Characterization*, India: Elsevier, hal. 5039-5048.
- Kumar, B.S. dkk. (2018) 'Stress Analysis And Design Optimization Of A Pressure Vessel Using Ansys Package', in *Materials Today: Proceedings. 7th International Conference of Materials Processing and Characterization*, India: Elsevier, hal. 4551-4562.
- Kushwah, S. dkk. (2022) 'Analysis of cylindrical pressure vessels with dissimilar ends and material comparison', in *Materials Today: Proceedings. 1st International Conference on Computations in Materials and Applied Engineering*, India: Elsevier, hal. 355-368.

- Li, W.J. dkk. (2014) 'Finite Element Analysis and Optimum Design for Pressure Vessel Based on ANSYS Workbench', *Applied Mechanics and Materials*, 687-691, hal. 290-293.
- Liawan, J.P., Tanujaya, H. dan Darmawan, S. (2023) 'Analisis Aliran Udara dan Kenyamanan Termal di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD)', *Jurnal Asimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa Dan Inovasi*, 5(1), hal. 123-134.
- Stolarski, T., Nakasone, Y. dan Yoshimoto, S. (2018) *Engineering Analysis with ANSYS Software*. Butterworth-Heinemann [Cetak].