

ANALISIS KEKUATAN TABUNG GAS LPG KAPASITAS 12 KG BERBAHAN CAST CARBON STEEL MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Ahmad Saepuddin¹, Luchyto Chandra Permadi² & Priyo Heru Adiwibowo³

1,2 Fakultas Saintek/Prodi Teknik Mesin, Universitas Islam Raden Rahmat Malang

3 Fakultas Teknik / Prodi Teknik Mesin, Universitas Negeri Surabaya

E-mail: ahmadsaepuddin06@gmail.com

Abstrak: *Liquefied Petroleum Gas (LPG)* merupakan gas yang terbentuk dari hasil produksi kilang minyak dan kilang gas. Sumber energi yang banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, terutama dalam aplikasi memasak dan pemanasan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji kinerja kekuatan tabung gas LPG 12 kg dalam menghadapi tekanan eksternal yang terjadi saat penggunaan normal. Metode yang digunakan dalam penulisan artikel ilmiah ini yaitu melakukan telaah berbagai pustaka dan referensi lain yang berkaitan dengan analisis kekuatan tabung gas LPG menggunakan *software SolidWorks* dengan *finite element method*. Hasil analisis kekuatan struktur dan faktor keamanan yang diperoleh yaitu pada uji *force* $7,826e^{+03}$ dan teoritis sebesar 7.827,18385 tidak melebihi nilai *yield strenght* (2.482×10^5). Setelah dilakukan analisis diketahui nilai validasi keamanan tabung gas terkecil 1,1 dan maksimal 22,7, sehingga struktur material aman dan bisa digunakan untuk pembuatan tabung gas LPG 12 kg.

Kata Kunci: Tabung LPG, Faktor Keamanan, SolidWorks, Kekuatan Struktur, Metode Elemen Hingga

Abstract: *Liquefied Petroleum Gas (LPG)* is gas that is formed from the production of oil refineries and gas refineries. An energy source that is widely used in everyday life, especially in cooking and heating applications. The purpose of this study was to examine the strength performance of a 12 kg LPG gas cylinder in the face of external pressure that occurs during normal use. The method used in writing this scientific article is to review various literature and other references related to the analysis of the strength of LPG gas cylinders using *SolidWorks* software with the *finite element method*. The results of the analysis of the strength of the structure and the factor of safety obtained are the force test of $7.826e^{+03}$ and the theoretical value of 7.827.18385 does not exceed the yield strength value (2.482×10^5). After analysis, it is known that the smallest gas cylinder safety validation value is 1,1 and a maximum of 22.7, so that the material structure is safe and can be used to manufacture 12 kg LPG gas cylinders.

Keywords: *Cylinder LPG, Safety factor, SolidWorks, Structure Strength, Finite Element Method.*

PENDAHULUAN

Penelitian Ismai, Endro, & Suryono (2017), *Liquefied Petroleum Gas (LPG)* yang ditampung pada tabung elpiji 12 kg dibuat dari plat baja lembaran (*steel sheet, plate dan strip for gas silinder*) jenis gas yang dihasilkan dari proses produksi di kilang minyak dan kilang gas. Gas ini digunakan luas dalam kehidupan sehari-hari, terutama dalam aplikasi memasak dan pemanasan. Mengingat pentingnya keselamatan dan keandalan tabung gas LPG, analisis kekuatan menjadi faktor yang sangat vital dalam merancang dan memproduksi tabung yang aman serta tahan lama (Sitthipong et al., 2020). Dalam studi ini, dilakukan analisis kekuatan pada tabung gas LPG berkapasitas 12 kg dengan material *cast carbon steel* menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* menggunakan metode elemen hingga. Selain itu, penggunaan *SolidWorks* juga memungkinkan visualisasi yang realistis dari hasil analisis kekuatan, yang membantu insinyur dan perancang memahami dengan lebih baik distribusi tegangan dan deformasi di dalam tabung gas LPG. Hal ini, pada gilirannya, memfasilitasi pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam proses perancangan.

Kelebihan dan kekurangan material *cast carbon steel* (Xie, Sheng, Han, & Liu, 2010) hal yang perlu dipertimbangkan sebelum digunakan dalam berbagai aplikasi industri. Baja karbon memiliki kekuatan tinggi, tahan terhadap korosi, biaya yang efektif, dan mudah diubah bentuknya. Namun, baja karbon juga rentan terhadap karat, rentan patah, tidak cocok untuk aplikasi yang memerlukan kekuatan tinggi, dan sulit untuk dielas (Pertwi, Erfian, & Kusumaningrum, 2013). Oleh karena itu, perlu dipertimbangkan kelebihan dan kekurangan baja karbon dengan baik untuk memastikan aplikasi yang sesuai dan efektif (Tarmizi & Latifah, 2012).

Penelitian Djuhana, Yulianto, & Mulyadi (2020), *SolidWorks* perangkat lunak desain teknik, khususnya untuk perancangan model 3D, yang dikembangkan oleh DASSAULT SYSTEMES.

Software ini sangat mendukung dalam bidang desain dan simulasi teknik, memungkinkan analisis mendalam terhadap struktur komponen. *SolidWorks* adalah salah satu perangkat lunak CAD (*Computer-Aided Design*) yang populer dan banyak digunakan di berbagai industri seperti manufaktur, rekayasa, arsitektur, dan sebagainya. *SolidWorks* menyediakan beragam fitur dan alat yang memungkinkan pengguna membuat model 3D yang kompleks dengan cepat dan akurat. Perangkat lunak ini mengadopsi pendekatan desain berbasis fitur, di mana model dibangun dengan menggabungkan berbagai fitur dasar seperti ekstrusi, potongan, fillet, chamfer, dan sebagainya.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja tabung gas LPG berkapasitas 12 kg dalam menghadapi tekanan eksternal yang mungkin terjadi selama penggunaan normal. (Pusat Studi Kebijakan Publik (Puskepi), sejak 2008 hingga Juli 2010 telah terjadi 189 ledakan LPG. Di antaranya, 61 kasus terjadi pada 2008, 50 kasus pada 2009 dan 78 kasus pada 2010 (Siswanto, 2010). Pada tahun 2011, hingga bulan Mei, jumlah kecelakaan tabung gas LPG sebanyak 59 kasus. Pada Januari terjadi 12 kasus, Februari 18 kasus, Maret 11 kasus, April 11 kasus dan pada Mei terjadi 7 kasus. Kejadian kecelakaan didominasi pada konsumen LPG 3 kg yaitu sebesar 83 % (Arifien, 2011). Satgas Elpiji yang dibentuk pemerintah mencatat kasus ledakan tabung gas yang terjadi semester pertama tahun 2010 didominasi oleh kasus ledakan gas pada tabung 12 kg. Ledakan yang terjadi pada tabung gas LPG disebabkan oleh beberapa faktor seperti kebocoran pada tabung, katup, regulator, dan aksesori. Selain tidak memenuhi standar, perangkat tabung dan perlengkapan gas LPG juga rusak akibat kegiatan pengoplosan oleh oknum tertentu. Dengan menggunakan *SolidWorks* dan metode elemen hingga, analisis kekuatan akan memberikan pemahaman yang mendalam tentang respons struktural tabung gas LPG terhadap beban tersebut. Pendekatan dalam penelitian ini melibatkan telaah berbagai pustaka dan referensi terkait faktor keamanan dan kekuatan pada tabung LPG dengan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* (Ari, Wibawa, & Diharjo, 2019). Harapannya, hasil analisis ini akan memberikan wawasan berharga untuk perbaikan desain dan peningkatan keamanan serta kualitas tabung gas LPG.

Perbaikan desain ini bisa melibatkan modifikasi geometri, ketebalan dinding, atau perubahan parameter lainnya untuk memastikan keandalan dan keamanan tabung gas LPG dalam penggunaan sehari-hari. Dengan pendekatan inovatif ini, diharapkan hasil analisis kekuatan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan tabung gas LPG yang lebih aman, efisien, dan tahan lama. Hal ini tidak hanya bermanfaat bagi industri LPG, tetapi juga dapat meningkatkan kepercayaan masyarakat terhadap penggunaan energi alternatif yang berkelanjutan.

Penelitian ini, memperhatikan standar keselamatan dan persyaratan yang berlaku untuk tabung gas LPG, sehingga analisis kekuatan dapat menghasilkan data sesuai dengan persyaratan industri dan mematuhi standar keselamatan yang diperlukan. Keuntungan dari pendekatan inovatif ini adalah kemampuannya untuk mempercepat proses analisis kekuatan dan mengurangi kebutuhan akan uji fisik yang mahal dan memakan waktu. Dengan menggunakan perangkat lunak *SolidWorks*, dapat dilakukan iterasi desain yang lebih cepat dan efisien untuk memastikan keandalan tabung gas LPG (Marpaung, Tri, & Harmadi, 2022)

Faktor keamanan parameter yang mengukur kemampuan suatu material teknik untuk menahan beban eksternal, baik dalam bentuk tekanan maupun tarikan Romani, Mulyatno, & Rindo (2015). Ini menggambarkan perbandingan antara kapasitas beban yang dapat ditangani oleh suatu struktur atau komponen dengan beban yang sebenarnya diterapkan pada struktur tersebut. Faktor keamanan mencerminkan tingkat keandalan dan kekuatan struktur dalam menghadapi beban yang diterapkan dan dapat dihitung dengan membagi kapasitas beban maksimum yang dapat ditangani oleh struktur dengan beban yang diterapkan pada struktur tersebut. Dalam notasi matematis, faktor keamanan dapat diungkapkan sebagai:

Safety Factor = Kuat Luluh Material / Tegangan Maksimum yang Terjadi.

Semakin tinggi nilai faktor keamanan, semakin tinggi tingkat keandalan struktur karena mampu menahan beban yang jauh melebihi beban yang diterapkan (Wibawa, Diharjo, Raharjo, & Jihad, 2020; Wibawa, 2020). Dalam situasi ini, terdapat margin keselamatan yang signifikan antara kapasitas struktur dan beban yang diterapkan, yang memberikan perlindungan terhadap potensi kegagalan struktur. Nilai faktor keamanan yang digunakan dapat bervariasi tergantung pada jenis struktur dan tujuan penggunaannya. Contohnya, dalam beberapa aplikasi konstruksi bangunan, faktor keamanan biasanya berkisar antara 1,5 hingga 2,5, yang menunjukkan bahwa struktur dirancang untuk menangani beban maksimum berlipat ganda dari beban yang diharapkan (Gustomo & Anis, 2020).

Penerapan faktor keamanan dalam perancangan struktur bertujuan untuk menjaga keamanan, mencegah kegagalan struktural, dan memberikan keyakinan kepada pengguna bahwa struktur tersebut dapat beroperasi secara aman dan handal (Ramadhan, Diniardi, & Sari, 2014) (Wahab, Rohman, Saepuddin, & Sulaiman, 2022). Oleh karena itu, dalam perencanaan dan perancangan struktur, sangat penting untuk mempertimbangkan faktor keamanan yang sesuai berdasarkan risiko, tujuan penggunaan, serta peraturan atau standar yang berlaku.

Metode elemen hingga, *Finite Element Method* (FEM), sebuah metode numerik yang secara umum digunakan menganalisis respons struktural, termasuk analisis kekuatan, deformasi, termal, dinamik, dan kekuatan struktur. Dalam metode ini, model struktur dibagi menjadi elemen-elemen kecil yang saling terhubung. Setiap elemen dihitung responsnya terhadap beban yang diterapkan, dan hasilnya digunakan untuk memahami distribusi tegangan, deformasi, dan faktor keamanan pada struktur. Penyelesaian FEM menghasilkan sistem persamaan serentak yang harus diselesaikan, yang memberikan solusi pendekatan untuk nilai yang tidak diketahui pada titik tertentu dalam sistem yang kontinu (Sinaga, Mulyatno, & Amiruddin, 2015).

METODE

Metode yang digunakan dalam penulisan artikel ilmiah ini yaitu melakukan telaah berbagai pustaka dan referensi lain yang berkaitan dengan Analisis kekuatan Tabung Gas LPG menggunakan *software SolidWorks* dengan *finite element method* (Albayan & Kasda, 2019). Dalam melakukan pengujian menggunakan alat sebagai berikut:

- 1) Perangkat Laptop
- 2) Software SolidWorks
- 3) Alat Pengukuran

Metode yang digunakan pada analisis kekuatan struktur yaitu dengan *Finite Element Method* (FEM) merupakan prosedur numerik yang dipakai dalam menyelesaikan problematika di bidang rekayasa, seperti menganalisis stress pada rangka (Suprpto & Wibawa, 2021). Dimana metode ini dilakukan dengan 2 tahap yaitu

- 1) Pengujian dengan *software solidworks*.

Solidworks merupakan software design engineering khususnya design model 3D yang di produksi oleh DASSAULT SYSTEMES (Djuhana et al., 2020; Anis & Sulardjaka, 2016). *SolidWorks* termasuk salah satu perangkat lunak CAD (*Computer-Aided Design*) yang populer dan banyak digunakan di berbagai industri seperti manufaktur, rekayasa, arsitektur, dan lain sebagainya. *SolidWorks* menyediakan beragam fitur dan alat yang memungkinkan pengguna untuk membuat model 3D yang kompleks dengan cepat dan akurat, seperti kekuatan benda kerja, tegangan benda kerja, faktor keamanan (*safety of factor*), kekerasan benda kerja, kekuatan luluh benda kerja, dan ketangguhan benda kerja.

- 2) Pengujian dengan teoritis dilakukan dengan menggunakan rumus dan pencarian manual dan didapat nilai *safety of factor*.

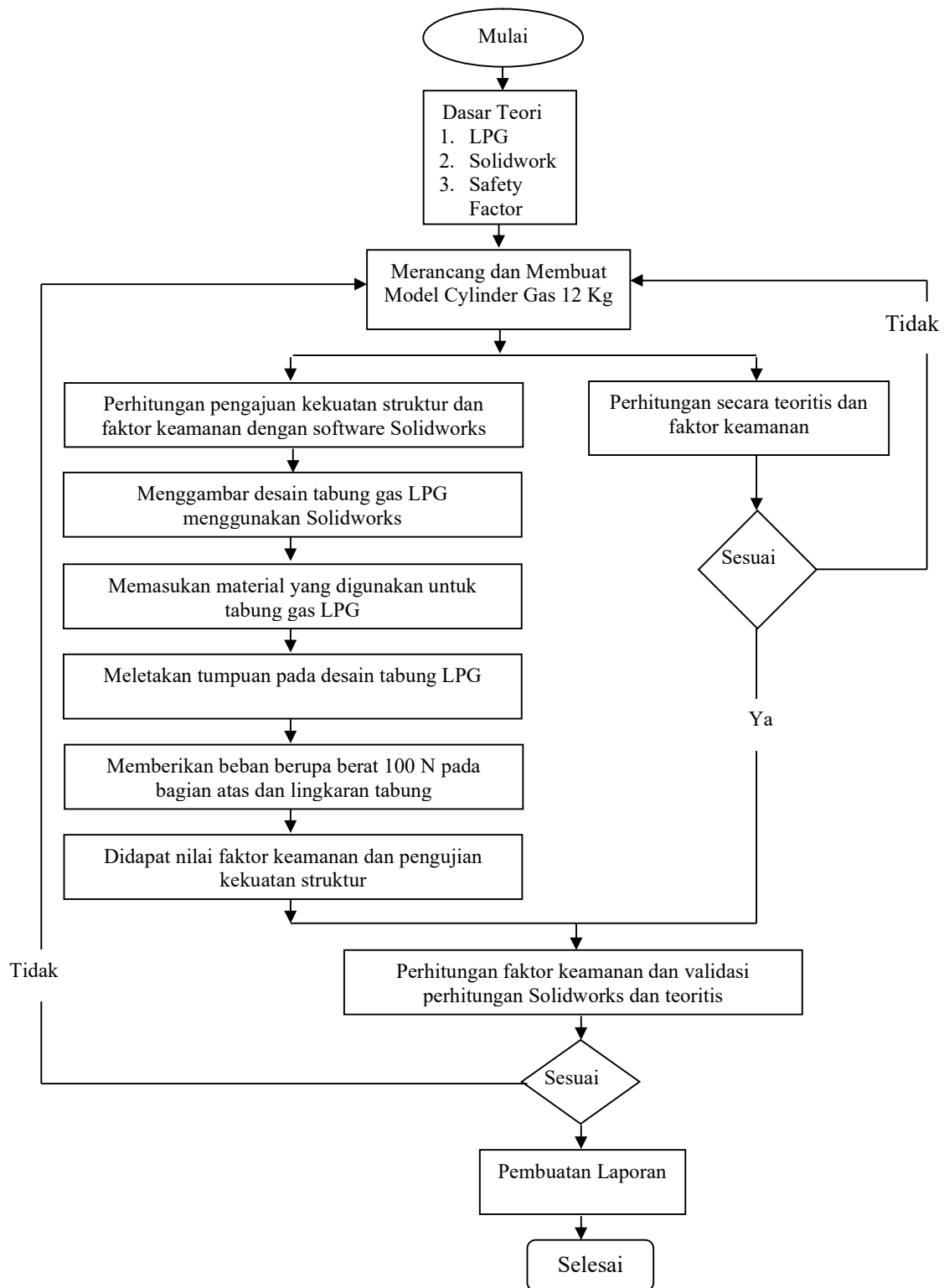
Anis dan Sulardjaka (2016) Analisis kekuatan struktur yang berupa perhitungan *safety factor* akan ditampilkan pada setiap analisis yang dilakukan. Perhitungan *safety factor* menggunakan persamaan, yaitu:

$$Sf = \sigma_y / \sigma_e \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

- S_f: Safety Factor
- σ_y: Yield Strenght
- σ_e: Tegangan maksimal yang terjadi.

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar 1 sebagai berikut.

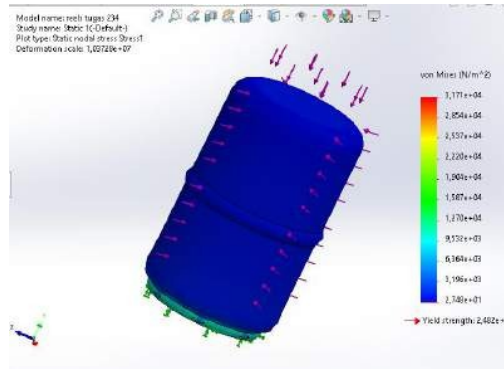


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN DISKUSI

Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak solidworks imana diperoleh tegangan (*von mises*), regangan (*strain*), dan faktor keamanan (*factor of safety*) dengan berat LPG 12 kg dan dilakukan kekuatan uji beban 100 N terlebih dahulu, supaya digunakan data output untuk software solidworks. sehingga didapat kekuatan tabung sebagai berikut.

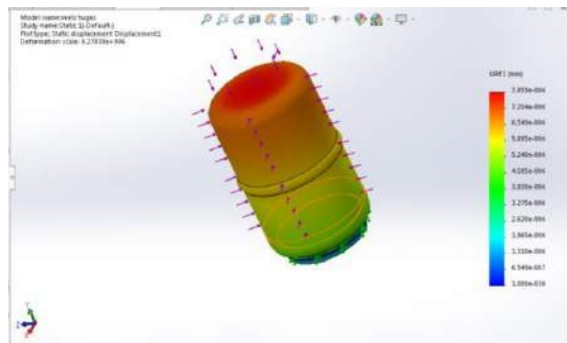
Stress Von Mises (Force 100 N)



Gambar 2. Hasil Kekuatan Struktur Dengan Beban 100 N pada Tabung Gas LPG 12 kg

Gambar 2 perlakuan beban pada tabung gas sebesar 12 Kg sehingga diketahui bahwa hasil stress maksimum 31.710 N/m² dan minimum 27.480 N/m².

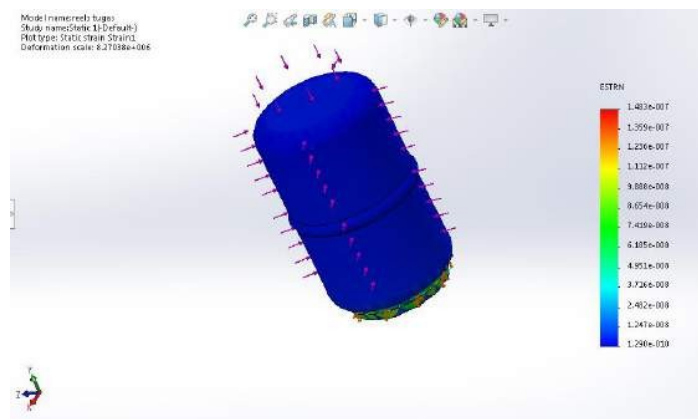
Resultant Displacement (Force 100 N)



Gambar 3. Resultant Displacement

Gambar 3, hasil analisis menggunakan *Resultant Displacement* menunjukkan dengan total perpindahan maksimal 7.859e-006 mm tersebut yang dapat diketahui pada gambar 3 *URES* (mm) berwarna merah, diketahui terjadi perpindahan sangat besar akibat adanya pemberian beban pada struktur tabung gas LPG (*force 100 N*) yang diberikan. Sehingga perpindahan nilai minimumnya yaitu 1.000e-030 mm.

Regangan (Strain) (Force 100 N)

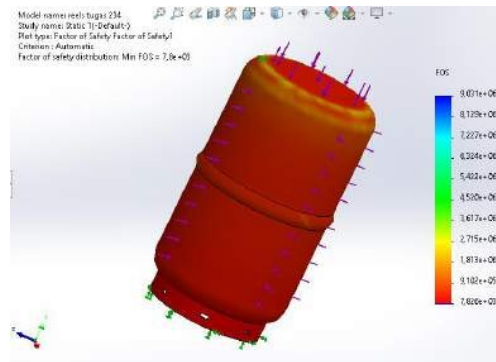


Gambar 4. Regangan (Strain) pada tabung gas LPG 12 kg

Hasil analisis menggunakan *Strain* menunjukkan dengan total *Equivalent* maksimal 1.483e-007 mm tersebut yang dapat diketahui pada gambar 4 *ESTRN* (mm) berwarna merah, diketahui terjadi *Equivalent* akibat adanya pemberian beban pada struktur tabung gas LPG (*force* 100 N) yang diberikan. Sehingga perpindahan nilai minimumnya yaitu 1.290e-010 mm.

Data *Factor of Safety* Pada Proses Uji Force 100 N

Perlu adanya faktor keamanan atau *factor of safety* sangat penting dalam desain dan penggunaan suatu sistem atau struktur. Dalam desain struktur kekuatan material, *factor of safety* dapat digunakan untuk memastikan bahwa beban yang diterima oleh struktur tidak melebihi kapasitas yang direncanakan pada pembebanan kekuatan struktur 100 N, sehingga perlu dilakukan proses pendataan. Data tersebut:



Gambar 5. Hasil *Factor of Safety* 100 N pada Tabung Gas LPG 12 kg

Factor of safety terbesar yaitu 9,102e+05 dan terkecil 7,826e+03 Bisa juga untuk mengetahui pembebanan 100 N yang diberikan dapat diketahui juga dengan menggunakan rumus:

$$Sf = \frac{\text{Yield Strengh}}{\text{Tegangan maksimal yang terjadi}}$$

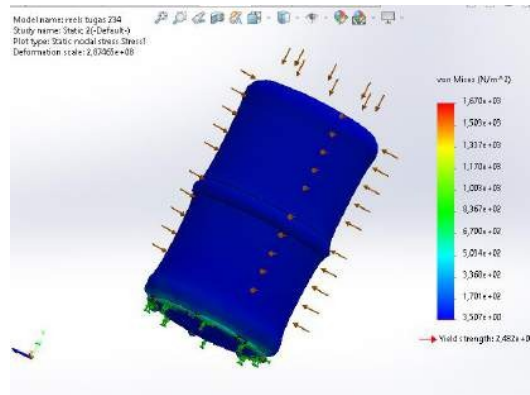
$$Sf = \frac{2.482 \times 10^5 \text{ N/m}^2}{31.710 \text{ N/m}^2}$$

$$Sf = 7.827,18385$$

Nilai dari *factor of safety* pada pembebanan 100 N dengan perhitungan simulasi yaitu 7,826e+03 dan teoritis sebesar 7.827,18385 tidak melebihi nilai *yield strengh* (2.482×10^5) sehingga struktur material aman dan bisa digunakan untuk pembuatan tabung gas LPG 12 kg.

Stress Von Mises (Pressure 100 N/m²)

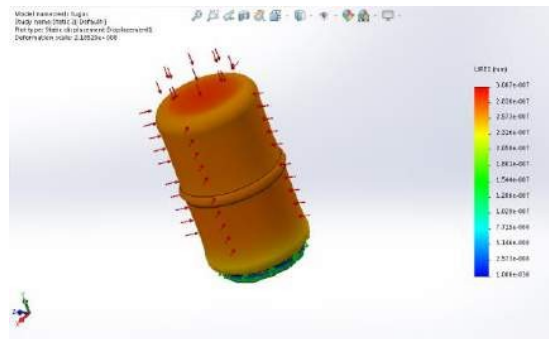
Proses tekanan (*pressure*) tabung secara visual untuk memastikan tidak ada kerusakan fisik seperti retak, dent, atau korosi yang dapat mempengaruhi integritas tabung. Pengujian kebocoran dilakukan untuk memastikan bahwa tabung tidak bocor. Ini biasanya melibatkan penggunaan bahan atau zat yang dapat mendeteksi kebocoran gas, seperti sabun busa atau detektor gas. Tabung diberikan tekanan uji dan kemudian diperiksa apakah ada tanda - tanda gelembung yang menunjukkan adanya kebocoran.



Gambar 6. Hasil Uji Tekan (*pressure*) dengan Beban 100 N/m² pada Tabung Gas LPG 12 kg

Pada gambar 6 perlakuan beban pada tabung gas sebesar 12 Kg sehingga diketahui bahwa hasil *stress* maksimum 1.670 N/m² dan minimum 3,507 N/m².

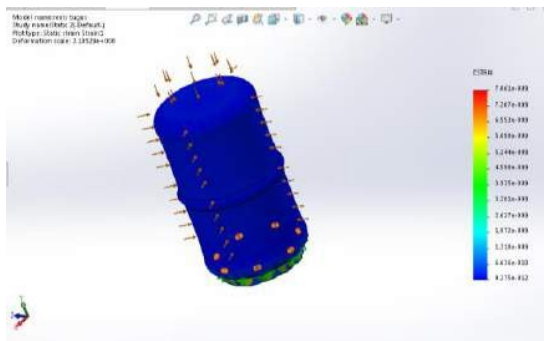
Resultant Displacement (Pressure 100 N/m²)



Gambar 7. Resultant Displacement

Gambar 7, hasil analisis menggunakan *Resultant Displacement* menunjukkan dengan total perpindahan maksimal 3.807e-007 mm tersebut yang dapat diketahui pada gambar 7 *URES* (mm) berwarna merah, diketahui terjadi perpindahan sangat besar akibat adanya pemberian beban pada struktur tabung gas LPG (*Pressure* 100 N/m²) yang diberikan. Sehingga perpindahan nilai minimumnya yaitu 1.000e-030mm.

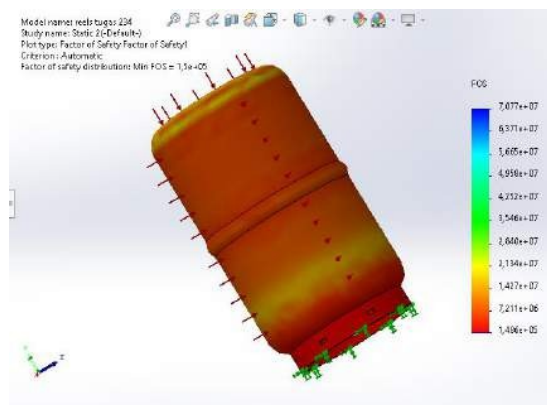
Regangan (Strain Pressure 100 N/m²)



Gambar 8. Regangan (*Strain*) pada tabung gas LPG 12 kg

Hasil analisis menggunakan *Strain* menunjukkan dengan total *Equivalent* maksimal 7.861e- 009 mm tersebut yang dapat diketahui pada gambar 8 *ESTRN* (mm) berwarna merah, diketahui terjadi *Equivalent* akibat adanya pemberian beban pada struktur tabung gas LPG (*Pressure* 100 N/m²) yang diberikan. Sehingga nilai minimumnya yaitu 9.275e-012 mm.

Data factor of safety pada pengujian pressure 100 N/m²



Gambar 9. Hasil *factor of safety* 100 N/m² pada tabung gas LPG 12 kg

Factor of safety terbesar yaitu 7,077e+07 dan terkecil 1,486e+05 Bisa juga untuk mengetahui pembeban 100 N/m² yang diberikan. Berdasarkan nilai dari *factor of safety* pada tekanan 100 N/m².

$$Sf = \frac{\text{Yield Strenght}}{\text{Tegangan maksimal yang terjadi}}$$

$$Sf = \frac{2.482 \times 10^5 \text{ N/m}^2}{1.670 \text{ N/m}^2}$$

$$Sf = 148.622,754$$

Perhitungan simulasi yaitu 1,486e+05 dan teoritis sebesar 148.622,754 tidak melebihi nilai *yield strenght* (2.482 x 10⁵) sehingga struktur material aman dan bisa digunakan untuk pembuatan tabung gas LPG 12 kg.

Validasi Model

Validasi Model Validasi model dilakukan dengan maksud untuk menentukan apakah sudah sesuai dengan Software Solidwork dan perhitungan manual, validasi model digunakan dengan cara membandingkan hasil simulasi pada Solidwork dan perhitungan manual, sehingga didapat kesimpulan dari simulasi dan perhitungan manual dapat dinyatakan sesuai atau tidaknya, sehingga dapat menunjukkan hasil yang sebenarnya (Aji, Mulyatno, & Yudho, 2016; Agustiawan & Widdy, 2017).

Pengujian tersebut didapat validasi hitungan teoritis dan simulasi solidwork dapat dilihat pada tabel (Fahmi, Armila, & Arief, 2022) .

Tabel 1. Validasi Perhitungan Teoritis dan Perhitungan *Solidwork*.

No.	Tabung LPG	Hasil Hitungan Teoritis	Hasil Simulasi Solidwork	Selisih Perhitungan
1	Menentukan <i>factor of safety</i> pada uji <i>force</i> dengan beban 100 N	7.827,18385 atau 7,827e+03	7,826e+03	1,1
2	Menentukan <i>factor of safety</i> pada uji <i>pressure</i> dengan beban 100 N/m ²	148.622,754 atau 1,486e+05	1,486e+05	22,7

SIMPULAN

Perhitungan dan analisa yang telah dilakukan mengenai tabung gas LPG 12 kg, dapat ditarik kesimpulan, nilai dari *factor of safety* pada uji *force* pembebanan 100 N/m²(Pa) dengan perhitungan simulasi yaitu 7,826e+03 dan teoritis sebesar 7.827,18385 tidak melebihi nilai *yield strenght* (2.482×10^5). Setelah dilakukan analisis diketahui nilai validasi keamanan tabung gas terkecil 1,1 dan maksimal 22,7, sehingga struktur material aman dan bisa digunakan untuk pembuatan tabung gas LPG 12 kg. Dari perhitungan tegangan von mises dihasilkan material material *cast carbon steel* dengan yield strength 2,482e+08 N/m² atau 2.482×10^5 N/m². Hasil *stress* maksimum 31.710 N/m² dan minimum 27.480 N/m². perhitungan kedua, tegangan *von mises* dihasilkan material *cast carbon steel* dengan yield strength 2,482e+08 N/m² atau 2.482×10^5 N/m² pada hasil *stress* maksimum 1.670 N/m² dan minimum 3,507 N/m² pada uji *pressure* 100 N/m² (Pa). Hasil perhitungan simulasi pada uji *pressure* yaitu 1,486e+05 dan teoritis sebesar 148.622,754 tidak melebihi nilai *yield strenght* (2.482×10^5) sehingga struktur material aman dan bisa digunakan untuk pembuatan tabung gas LPG 12 kg.

DAFTAR RUJUKAN

- Agustiawan, I., & Widdy, M. N. (2017). Kajian Tegangan dan Keamanan Tabung Gas Elpiji Bright Gas 5 , 5 Kg Melalui Simulasi Software Solid Work. *Jurnal Teknik Universitas Muhammadiyah*, 1–2.
- Aji, M. Y. Z., Mulyatno, I. P., & Yudho, H. (2016). Analisa Kekuatan Modifikasi Main Deck Akibat Penggantian Mooring Winch pada Kapal Accomodation Work Barge 5640 Dwt dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 4(1), 74–82.
- Albayan, B., & Kasda. (2019). Analisis Rangka Penyanggul Menggunakan Metoda Elemen Hingga. *Mesa Jurnal Fakultas Teknik Universitas Subang*, 17–22.
- Anis, F. E. F., & Sulardjaka. (2016). Analisis Kekuatan Tabung Gas LPG Dengan Bahan Baja SG295 Dan Komposit Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Mesin*, 4(1), 99–104.
- Ari, L., Wibawa, N., & Diharjo, K. (2019). Desain, Pemilihan Material, dan Faktor Keamanan Stasiun Pengisian Gawai Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknologi*, 11(2), 97–102.
- Arifien, F. N. (2011). Pertamina Klaim Kecelakaan Tabung Gas Elpiji Turun.
- Djuhana, Yulianto, A. D., & Mulyadi. (2020). Plate Mold Dengan Software Simulasi (Solidworks 3d). *Journal Of Technical Engineering*, 3(2), 6–16.
- Fahmi, M., Armila, & Arief, R. K. (2022). Analisis Kekuatan Rangka Mesin Pengupas Kulit Kopi Menggunakan Software Solidworks Dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Ensiklopediaku.Org Ensiklopedia Research And Community Service Review*, 1(3), 65–76.
- Gustomo, G., & Anis, S. (2020). Analisis Kekuatan Rangka Bodi Bus Listrik MD12E Perseroan Terbatas Mobil Anak Bangsa dengan Metode Elemen Hingga. *Journal Of Mechanical Engineering Learning*, 9(1), 1–5.
- Ismail, R. L., Endro, J., & Suryono, S. (2017). Rancang Bangun Sistem Pengaman Kebocoran Gas LPG (Liquefied Petroleum Gas) Menggunakan Mikrokontroler. *Youngster Physics Journal*, 6(4), 368–376.
- Marpaung, F., Tri, E., & Harmadi, R. (2022). Desain Dan Analisis Tanki ISO LNG Kapasitas 40 Feet Menggunakan Teknik Finite Element Analysis. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Dan Inovasi*, 4, 163–170.
- Pertiwi, R. A., Erfian, & Kusumaningrum, D. (2013). Pengendalian Proses Baja Karbon Tinggi di Pabrik Billet Baja Pt Krakatau Steel (Persero) Tbk, Cilegon, 1(1), 1–7.
- Pusat Studi Kebijakan Publik (Puskepi). (2018). Pusat Studi Kebijakan Publik.
- Ramadhan, A. I., Diniardi, E., & Sari, W. K. (2014). Analisa Desain Tabung Bahan Bakar Gas Jenis Compressed Natural Gas (CNG) pada Mobil Bus Tekanan 200 Bar. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, 1–6.
- Romani, A. A., Mulyatno, I. P., & Rindo, G. (2015). Analisa Kekuatan Modifikasi Konstruksi Geladak Utama Kapal LCT VIP Jaya 893 GT dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 3(2), 300–308.
- Sinaga, J. P., Mulyatno, I. P., & Amiruddin, W. (2015). Analisa Kekuatan Variasi Sistem Konstruksi Transverse Watertight Bulkhead Pada Multi-Purpose Cargo / Container Vessel 12000 Dwt Dengan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 3(3), 348–361.
- Siswanto. (2010). Ledakan Tabung Gas 12 Kg Di Bekasi Diduga Akibat Kebocoran. Retrieved From <https://Apps.Detik.Com/>
- Sitthipong, S., Boonpachr, P., Lohwirakorn, S., Choyrum, S., Techawathakun, S., & Towatana, P. (2020). Stress Analysis Of 48 Kg Lpg Cylinder. *Journal Of Physics: Conference Series 1719*, 17(19), 1–5. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1719/1/012052>
- Suprpto, R. K. N., & Wibawa, L. A. N. (2021). Desain Dan Analisis Tegangan Rangka Alat Simulasi

- Pergerakan Kendali Terbang Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Mesin*, 5(1), 19–28.
- Tarmizi, & Latifah, S. M. (2012). Analisa Kegagalan Tabung Gas LPG Kapasitas 3 Kg (Failure Analysis Lpg Gas Cylinder Capacity 3 Kg). *Jurnal Riset Industri*, VI (1), 61–74.
- Wahab, A., Rohman, M., Saepuddin, A., & Sulaiman, M. (2022). Desain dan Simulasi Uji Kekuatan Chassis Mobil Sem Jenis Prototype Menggunakan Material Aluminium Alloy 7075. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 17(1), 1–7.
- Wibawa, L. A. N. (2020). Studi Numerik Pengaruh Radius Fillet dan Ketebalan Cap Terhadap Tegangan Von Mises Dan Faktor Keamanan Silinder Berdinding Tipis Untuk Tabung Motor Roket. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 15(1), 1–9.
- Wibawa, L. A. N., Diharjo, K., Raharjo, W. W., & Jihad, B. H. (2020). Pengaruh Ketebalan CAP dan Tekanan Internal Terhadap Tegangan Von Mises Silinder Berdinding Tebal Untuk Tabung Motor Roket. *Jurnal Teknik*, 41(2), 111–118. <https://doi.org/10.14710/Teknik.V41n2.25837>
- Xie, G., Sheng, H., Han, J., & Liu, J. (2010). Fabrication Of High Chromium Cast Iron / Low Carbon Steel Composite Material By Cast And Hot Rolling Process. *Materials And Design*, 31(6), 3062–3066. <https://doi.org/10.1016/J.Matdes.2010.01.014>