



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisis Kekuatan *Spherical Vessel Tank 42 - T- 404 G* PT. Pertamina dengan Variasi Ketebalan dari *Grade Material*

Dewa Anjar Nyawa¹⁾, Andi Trimulyono¹⁾, Hartono Yudo¹⁾

¹⁾Laboratorium Hidrodinamika Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

*e-mail :dewaanjara@gmail.com,

Abstrak

Pressure Vessel adalah tangki yang digunakan untuk menyimpan cairan dan gas di bawah tekanan tinggi. Tekanan tinggi menyebabkan timbulnya tegangan pada tangki, dan jika tegangan tersebut melebihi batas yang diizinkan, tangki akan mengalami kegagalan. Maka, penggunaan material yang tepat dalam pembuatan tangki *spherical* sangat penting untuk memastikan keamanan operasional. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mencari nilai tegangan maksimal pada setiap perbedaan ketebalan tangki, membandingkan hasil tegangan maksimal dengan *allowable stress*, dan mendapatkan desain dengan kemampuan terbaik. Penelitian dimulai dengan menghitung ketebalan tangki melalui beberapa Pendekatan yaitu, ketebalan berdasarkan kondisi desain, *hydrostatic test*, dan *shear stress*. Terdapat 4 variasi grade yang membuat objek penelitian menjadi 12. Setelah diperoleh ketebalan kemudian objek di simulasikan dengan pendefinisian material yang sesuai dengan keadaan asli dari objek termasuk *density*, *minimum yield stress*, *modulus elasticity*. Kemudian penentuan pembebanan juga dipastikan sama untuk setiap desain yakni $18,6 \text{ Kg/cm}^2$ serta menentukan *boundary conditions*. Setelah semuanya sudah selesai, langkah selanjutnya adalah *running* dari hasil penelitian yang outputnya berupa tegangan maksimal yang akan dibandingkan dengan *minimal yield strength* dan *allowable stress* mengenai kemampuan dalam menahan *pressure*. Hasil akan dianalisa dan mencari desain dengan kemampuan paling baik dalam menahan *pressure*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa semua grade aman untuk digunakan, namun grade paling aman adalah grade 70. Setiap penurunan grade dari 70, 65, 60, dan 55, ketebalannya semakin besar. Selain itu, semakin besar ketebalan dari tangki, maka tegangan maksimalnya semakin kecil. Tegangan maksimal paling besar adalah 106,7 MPa dan *allowable* terbesarnya juga adalah 138 MPa.

Kata Kunci: *Thickness, Stress, Yield, Spherical.*

1. PENDAHULUAN

Pressure Vessel adalah wadah khusus yang digunakan untuk menyimpan cairan dan gas dalam tekanan tinggi. Dalam kehidupan ini, banyak bencana yang terjadi akibat tekanan berlebih. Menurut *National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors*, kecelakaan pada bejana tekan naik 24% antara tahun 1999 hingga 2000. Pada tahun 1992-2001, terdapat 23.338 kecelakaan terkait bejana tekan, rata-rata terjadi 2.334 pertahun. Dalam 10 tahun terakhir, 127 kematian terjadi akibat kecelakaan ini dan statistic menunjukkan kecelakaan tetap sama antara 2001-2008[1]. Salah satu jenis *Pressure Vessel* yang beresiko tinggi adalah *spherical tank*. *Spherical* yang gagal akibat material atau keausan bisa

menyebabkan kebocoran gas berbahaya, yang berakibat pada kerugian finansial. Jadi, penting untuk menggunakan material yang tepat untuk membuat tangki sesuai standar yang berlaku.

Pada penelitian sebelumnya dengan judul "*Stress Analysis of Thick Spherical Pressure Vessel Composed of Transversely Isotropic Functionally Graded Incompressible Hyperelastic Materials*" dilakukan dengan metode analitis untuk menemukan bagian-bagian penting dari tekanan dan regangan apabila terkena tekanan dari dalam dan luar. Hasilnya menunjukkan bahwa ketika bola ditekan dari dalam, tekanan dan perubahan bentuk akan bertambah ketika *pressure* meningkat. Namun, apabila bahan bola tidak merata, maka tekanan meningkatkan *stress* dan mengurangi perubahan bentuk. Saat bola ditekan dair luar,

tekanan lebih tinggi menyebabkan *stress* bertambah dan bentuk bola berubah. Jika bola lebih tebal, *stress* akan berkurang saat ditekan. Perubahan bentuk meningkat, tapi *stress* yang diterima oleh dindingnya menurun. *Stress* pada dinding yang tebal lebih lambat meningkat dibandingkan yang tipis[2].

Disisi lain, penelitian dengan judul “Analisis *Buckling* dan Tegangan Bejana Tekan Horisontal pada Tekanan Kerja Eksternal,” dilakukan menggunakan metode analitis tegangan pada *vessel* dengan variasi desain dan ketebalan di beberapa bagian. Tujuannya untuk menemukan desain terbaik untuk mengurangi tegangan dan mencegah *buckling* pada *pressure vessel horizontal*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan menambahkan tiga jenis *stiffener ring*, bejana tekan dapat diperkuat untuk mencegah *buckling*, penggunaan *stiffener ring* membuat lebih efektif. Selain itu, ketebalan *shell* berbeda antara yang menggunakan *ring* dan tidak. *Shell* tanpa *ring* memiliki ketebalan yang lebih besar daripada *shell* dengan *ring*[3].

Selain itu, terdapat sebuah penelitian dengan judul “*Static and Dynamic Analysis of Pressure Vessel with Vertical Orientation using PVElite*.” Penelitian ini membahas beban pada *pressure vessel* yang menggunakan metode perhitungan numerik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memahami bagaimana beban mempengaruhi distribusi tegangan. Dari penelitian ini, dijelaskan bahwa beban statik dan dinamik dapat mempengaruhi distribusi tegangan dan deformasi pada *pressure vessel*. Orientasi *pressure vessel* juga berpengaruh pada kemampuan menahan beban dari berbagai arah. *Pressure vessel* dengan orientasi *vertical* lebih baik dalam proses penahanan beban dibandingkan dengan *pressure vessel* dengan orientasi *horizontal*[4].

Pada penelitian analisis tegangan kepala *torispherical* dijelaskan pada artikel dengan judul “*Analysis Of Stress In Torispherical Head Of Pressure Vessels*.” Penelitian ini menggunakan metode analisis perbandingan tegangan dengan wadahnya dengan tujuan untuk mendapatkan faktor-faktor yang mempengaruhi tegangan. Penelitian ini menunjukkan bahwa tegangan dipengaruhi oleh factor-faktor seperti diameter, ketebalan dinding, dan bentuk kepala *torispherical*. Tegangan cenderung tidak merata, dengan nilai tertinggi terjadi disekitar leher dari *torispherical*[5].

Selain itu, penelitian dengan judul “*The numerical and analytical analysis of stress intensity factor of semi elliptical crack on a spherical pressure vessel*,” dilakukan untuk mengetahui faktor intensitas dari *stress* dalam

mengalami peningkatan bersamaan dengan peningkatan retakan dan internal *pressure*. Penelitian ini menggunakan metode Analisa numerik dan mendapatkan hasil bahwa faktor intensitas tegangan yang terbesar terletak pada ujung retakan setengah *elips* pada permukaan dalam *spherical vessel* [6].

Di samping itu, penelitian pengamatan dampak gempa pada tangki dengan judul “*Seismic analysis of spherical tanks including fluid-structure-soil interaction*,” dilakukan dengan memanfaatkan metode teknik elemen batas, Analisa sistem mekanis, dan pendekatan elemen hingga. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa beban gempa, angin, beban mati, dan tekanan *hydrostatic* memiliki pengaruh terhadap respon tangki. Hubungan antara struktur, cairan, dan tanah sangat berpengaruh terhadap usaha bagaimana tangki merespon gempa. Apabila beban tersebut diabaikan dalam proses Pembangunan, hal tersebut akan menyebabkan kesalahan dalam estimasi kapasitas strukturalnya[7].

Selain itu, respon angin pada objek *spherical* juga telah dilakukan pada artikel dengan judul “*Numerical Investigations of Wind Loads on Spherical Structures with Various Types of Configurations*,” menggunakan metode elemen hingga. Penelitian ini memiliki hasil bahwa bentuk struktur *spherical* ulir atau bergelombang menunjukkan kemampuan lebih baik dalam menahan beban angin dibandingkan permukaan yang rata. Permukaan ulir juga memiliki tingkat kestabilan yang baik dibandingkan permukaan rata[8].

Selain angin, eksternal *pressure* juga mempengaruhi proses *buckling*. Hal tersebut dijelaskan pada penelitian dengan judul “*External pressure buckling analysis of large pressure vessels*,” yang dilakukan menggunakan metode elemen hingga, dapat diketahui bahwa tangki dengan diameter besar memiliki tegangan maksimal lebih tinggi dibandingkan diameter lebih kecil. Hal ini yang menunjukkan bahwa faktor ukuran sangat mempengaruhi kekuatan dan keamanan dalam menahan beban internal dan juga eksternal[9].

Maka dari itu, penelitian ini akan dilakukan untuk memitigasi kemungkinan terburuk terjadi. Dengan tangki *spherical* milik PT. Pertamina, akan dilakukan sebuah analisis kekuatan terhadap *pressure* yang terjadi di dalamnya. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan ketebalan yang diperoleh dari pendekatan ASME dengan mensimulasikan semua *grade SA 516* yang terdiri dari *grade 55, 60,65, dan 70*. Penelitian ini memiliki tujuan untuk mendapatkan tegangan maksimal pada setiap pembebanan dari perubahan

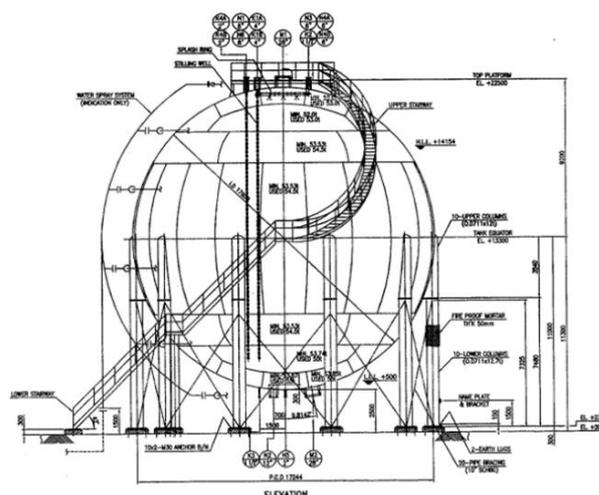
grade, dan mendapatkan desain *minimum thickness* paling efektif dari semua *grade* yang dijadikan variasi tersebut.

2. METODE

Penelitian mengenai analisis kekuatan pada tangki *spherical* ini bertujuan untuk mendapatkan tegangan maksimal yang nantinya akan dibandingkan dengan ketentuan atau standar keamanan yang sedang berlaku pada *inservice spherical tank*.

2.1 General arrangement spherical tank

Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis kekuatan pada tangki *spherical* apabila dikenai beban *pressure design*. *Spherical* ini merupakan salah satu bagian dari beberapa jenis *pressure vessel*[10]. Data penelitian berasal dari PT. Pertamina dengan objek tangki yang kemudian divariasikan ketebalannya berdasarkan *grade* material. Penelitian ini memiliki keunikan karena *spherical* ini merupakan tangki dengan kemampuan menahan *pressure* yang sangat tinggi.



Gambar 1. General Arrangement Spherical Tank

Tabel 1. Ukuran utama tangki.

Nama	Ukuran
<i>Inside Diameter</i>	17600 mm
<i>Capacity Geometric</i>	2854,54 m ³
<i>Capacity Storage</i>	2569,2 m ³
<i>High From Ground Level</i>	11300 mm

Tabel 2. Design data

Nama	Keterangan
<i>Design Code</i>	ASME SEC VIII DIV II
<i>Qt'y</i>	1 (ONE)
<i>Fluid Name</i>	PROPYLENE
<i>Liquid Density</i>	0.49
<i>Capacity(Nom/Work)</i>	2654.5/2500 M ³
<i>Operating Pressure</i>	15.2 Kg/cm ² g
<i>Operating Temperature</i>	40 C
<i>Design Pressure</i>	18.6 Kg/cm ² g
<i>Design Temperature</i>	65 C
<i>Test Pressure Hydrostatic</i>	23.25 Kg/cm ² g
<i>Test Pressure Pneumatic</i>	-
<i>Wind Velocity</i>	35 m/s
<i>Seismic Factor</i>	0.2922
<i>Joint Efficiency</i>	1.0
<i>Corrosion Allowance Shell</i>	2 mm
<i>Corrosion Allowance Column</i>	0 mm
<i>Pwht</i>	YES (SITE)
<i>Insulation</i>	NO mm
<i>Fire Proofing</i>	50 mm
<i>Mdmt</i>	19 C

2.2 Parameter design penelitian

Pada penelitian ini, simulasi dilakukan dengan berbagai batasan desain dan batasan beban supaya penelitian lebih terarah dan jelas pada tujuan awal. Penelitian ini memiliki parameter tetap berupa kapasitas tangki dan jenis material. Kapasitas

tangki telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya mengenai rencana umum atau general arrangement dengan kapasitas sebesar 2569,2 m³. Kemudian dari kapasitas ini akan digunakan simulasi tegangan maksimal dari ketebalan yang didapatkan dari perhitungan pendekatan dari beberapa *grade*.

Selain itu, jenis material juga merupakan parameter tetap yang akan menjadi acuan dalam proses analisis kekuatan tangki. Material ini akan lebih dijelaskan pada sub bab berikutnya. Pada penggunaan material ini, tangki akan disimulasikan pada semua *grade* yang ada pada material. Selain itu, beban juga telah diperhitungkan untuk dijadikan parameter pada penelitian ini.

Di samping itu, parameter peubah dari penelitian ini adalah metode penentuan *thickness*, ketebalan pelat, *grade* material, serta beban yang digunakan. Pada penentuan *thickness* dan berpacu pada ketentuan ASME, terdapat 3 pendekatan dalam menentukan ketebalan tangki *spherical*. Pendekatan tersebut adalah *design condition*, *hydrostatic test*, dan juga *shear stress theory*. Dari pendekatan inilah yang nantinya akan dilakukan simulasi. Kemudian *grade* material juga merupakan parameter peubah karena pada penelitian ini, tujuannya adalah untuk mengetahui kemampuan tangki dari semua *grade* untuk mengetahui tangki dengan kekuatan terbaik. baik dari segi kekuatan dan efisiensi.

2.3 Minimum thickness calculation spherical tank

Pada penentuan ketebalan, ASME memiliki 3 pendekatan yang digunakan dalam perancangan awal dari objek tangki ini. Dari pendekatan tersebut yang nantinya akan dijadikan sebagai nilai pertimbangan dalam menentukan desain tangki yang terbaik. 3 pendekatan yang digunakan dalam proses pembuatan tangki dan sekaligus digunakan dalam proses penelitian ini ada 3 yaitu:

1. Design Condition

Dari *design condition* ini nantinya akan dilakukan perhitungan untuk mendapatkan ketebalan apabila dilihat dari segi kondisi desain. Rumus dalam perhitungan ini adalah:

$$t = \frac{0,5 (Pi \times R)}{\sigma - (0,25 \times Pi)} + C \quad (1)$$

Dimana Pi merupakan design pressure yang didapatkan dari objek awal yang kemudian di bebaskan pada tiap bagian, R merupakan *inside* radius yang berasal dari awal objek, dan *membrane stress intensity* yang merupakan konstanta, dan c yang merupakan *corrosion allowance* yang telah ditentukan oleh Perusahaan dengan nilai 2 mm.

2. Hydrostatic Test

Dalam pendekatan ini, persamaan yang digunakan hampir mendekati persamaan dari *design condition*. Namun, nilai pada ketebalannya berbeda jauh karena terdapat konstanta yang memiliki pengaruh besar pada

perhitungannya. Berikut rumus atau persamaan dari pendekatan *hydrostatic test* ini:

$$t = \frac{0,5 (Pi \times R)}{\sigma - (0,25 \times Pi)} \quad (2)$$

Rumus ini hampir memiliki persamaan dengan persamaan di *design condition*, namun nilai yang dihasilkan memiliki perbedaan yang besar terhadap *design condition*. Hal tersebut disebabkan oleh penggunaan konstanta dari *yield stress* lebih besar daripada *membrane stress* yang menyebabkan nilai pembagi besar sehingga ketebalannya cenderung lebih kecil.

3. Shear Stress Theory

Pada pendekatan ini, persamaan cenderung lebih fokus pada tegangan yang terjadi selama keberlangsungan penyimpanan pada tangki. Semua tegangan yang terjadi di dalamnya digunakan dalam persamaan untuk dijadikan pertimbangan pada pemilihan ketebalan. Berikut persamaan pada *Shear Stress Theory*:

$$t = \frac{\sqrt{T1^2 + T2^2 - (T1 \times T2) + (3 \times r^2)}}{\sigma} + C \quad (3)$$

Dimana T merupakan nilai pada maksimal *latitude force* dan maksimal *meridional membrane force* yang terjadi pada tangki, kemudian *membrane stress intensity* yang digunakan sama seperti *membrane stress* pada *design condition*, dan c juga merupakan sebuah *corrosion allowance* yang ditambahkan dengan nilai sebesar 2 mm. kemudian dari nilai yang didapatkan pada shear stress nilainya hampir sama dengan *design condition*. Walaupun nilainya hampir sama. Pendekatan ini harus dan wajib digunakan karena semakin banyak pertimbangan yang digunakan, maka nilai dari ketebalan semakin baik[11].

2.4 Grade & Definisi Material

Pada penelitian ini, penggunaan *grade* didasarkan pada *grade* awal dari Pembangunan objek dari material yang digunakan. Penelitian ini membatasi pada kulit atau *sphericalnya* saja dengan tujuan untuk memfokuskan mengetahui tegangan maksimal dari *spherical*. Pada tangki *spherical*, material yang digunakan adalah material SA 516 yang mana pada material ini terdapat 4 *grade* yakni, *grade* 55, 60, 65, dan 70. Pada *grade* tersebut memiliki unsur pembentuk yang berbeda pula. Dalam penyusunan material ini, memiliki unsur berupa *minimum yield strength* dan *minimum tensile strength*. Nilai *tensile* ini merupakan nilai minimum yang dapat ditahan oleh tangki sebelum tangki mengalami deformasi bahan[12]. Dari keempat *grade* ini, nilai *yield* dan

tensile berbeda-beda dan cenderung lebih besar bersamaan dengan kenaikan *grade*. Berikut merupakan table penjelasan dari nilai *yield* dan *tensile* dari material ini:

Tabel 3. Variasi *grade* yang digunakan.

Material	Allowable Stress	Min yield strength	Min tensile strength
SA-516			
Grade 55	108 MPa	205 MPa	380 MPa
Grade 60	118 MPa	220 MPa	415 MPa
Grade 65	128 MPa	240 MPa	450 MPa
Grade 70	138 MPa	260 MPa	485 MPa

Dari *grade* inilah yang kemudian terdapat beberapa ketebalan dari 3 pendekatan yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya. *Grade* ini memiliki material penyusun yang berbeda sehingga pada *grade* lebih tinggi akan memiliki ketebalan lebih rendah namun memiliki tegangan maksimal terbaik atau jauh dari *allowable stress*. Begitu sebaliknya untuk *grade* kecil memiliki ketebalan lebih besar namun hasil dari tegangan maksimal mendekati nilai dari *allowable stress*. *Grade* dalam material SA 516 memiliki arti dan definisi bahwa material ini memiliki nilai *tensile* yang setara dengan *gradenya*. Sebagai contoh pada grade 55 yang memiliki arti bahwa *grade* ini nilai *tensilenya* adalah 55 ksi atau sekitar 380 MPa.

Selain itu, pendefinisian material yang digunakan proses simulasi juga berbeda. Dan letak perbedaan yang memiliki nilai paling besar ada pada nilai *yield* dan *tensile* karena pada objek ini memiliki material yang sama atau dibedakan *gradenya* saja. Berikut adalah pendefinisian material yang digunakan dalam simulasi objek.

Tabel 4. *Mechanical structure*

Material properties	Grade 55	Grade 60	Grade 65	Grade 70
Density	493	493	493	493
Young Modulus	200000	200000	200000	200000
Poison Ratio	0,4	0,4	0,4	0,4
Shear Modulus	500000	500000	500000	500000
Min Yield Strength	205	220	240	260
Min tensile Strength	380	415	450	485

Mechanical structure inilah yang digunakan dalam simulasi objek pada penelitian ini. Dari definisi material ini juga akan mempengaruhi nilai tegangan maksimal atau hasil analisis dari

kekuatan tangki tersebut. Nilai *mechanical* tersebut diambil dari panduan ASME yang digunakan dalam penelitian ini[13].

2.5 Pemodelan objek

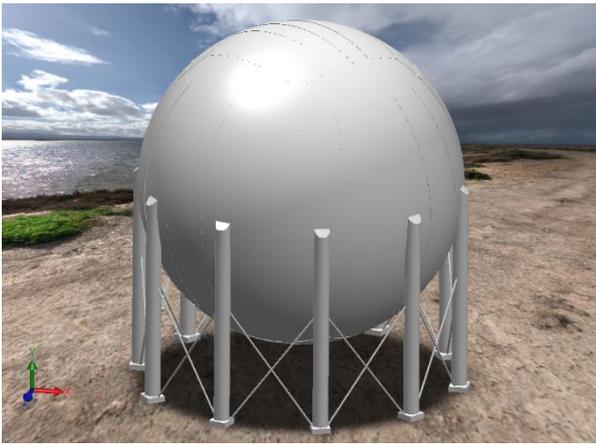
Pemodelan pada penelitian ini menggunakan software yang memiliki keunggulan terintegrasi antara pemodelan dan analisisnya yaitu software solidworks. Software ini merupakan suatu perangkat lunak CAD (*Computer-Aided Design*) dan CAE (*Computer-Aided Engineering*) yang sedang populer dimanfaatkan di kegiatan analisa dan design secara terintegrasi. Maksud dari terintegrasi disini adalah dengan software ini, gambar dapat langsung dimodelkan sekaligus dilakukan analisis tanpa harus *convert* ke dalam bentuk file lain dan pindah software. Selain itu software ini juga memiliki keakuratan dan presisi tinggi untuk output dan hasil dari penelitian yang dilakukan.

Pada pemodelan ini, terdapat langkah-langkah yang dilakukan demi keakuratan data penelitian. Berikut adalah prosedur pemodelan dari tangki menggunakan software solidworks.

1. Membuat geometri awal dari struktur yang akan dianalisis.
2. Menentukan koordinat untuk model *spherical* dan menentukan arah tekanan gaya normal pada tangki.
3. Memasukan nilai tekanan yang ada pada desain atau memasukan *pressure design* yang telah diketahui beserta gaya yang terjadi.
4. Menentukan jenis material dan *property*, seperti massa jenis, modulus elastisitas (*young modulus*, E), poisson's ratio, dan lain-lain.
5. Membuat elemen dari hasil pemodelan geometri struktur yang akan dianalisis (*meshing* atau pembentukan jaringan).
6. Melakukan analisis dengan bantuan lunak FEM (*Finith Element Method*) yang digunakan untuk analisis jenis linear statik.

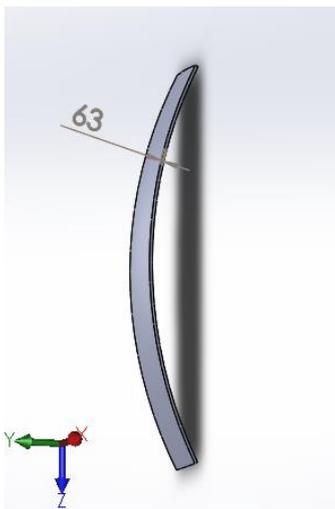
Tangki yang dimodelkan menggunakan software solidworks, didasarkan pada keakuratan dan presisinya. Penjelasan tersebut merupakan langkah-langkah pemodelan tangki *spherical*.

Berikut adalah gambaran dari simulasi objek.



Gambar 2. Spherical Tank

Pemodelan diawali oleh pembuatan geometri awal yang kemudian dilakukan pembentukan pelat per pelat sehingga dilakukan proses *assembly* apabila semua pelat telah terbentuk.

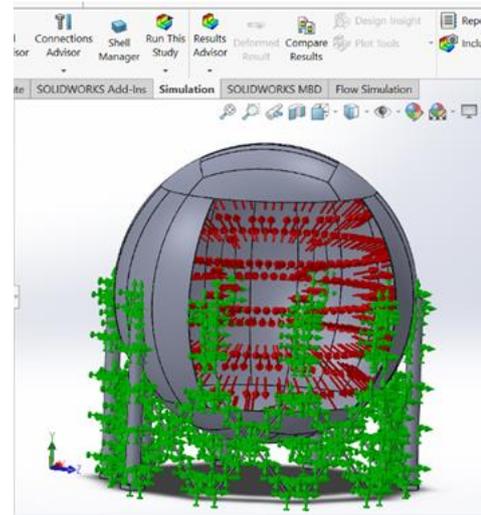


Gambar 3. Pelat dengan ukuran 63 mm

Pembuatan diawali dari objek seperti gambar diatas yang kemudian dibentuk pelat dengan ketebalan lain sampai semuanya terbentuk dan dilakukan *assembly*.

2.6 Pembebanan dan *meshing* objek

Pembebanan dilakukan pada setiap *course* atau *point* di *spherical tank*. *Point* yang dimaksud adalah ketebalan yang berbeda-beda pada tangki. Pada setiap ketebalan, pelat dari tangki ini menerima beban yang berbeda juga. Berikut adalah pembebanan yang terjadi.



Gambar 4. Pembebanan Tanki

Symbol berwarna hijau merupakan *boundary condition* yang ditempatkan pada setiap column hingga *brazing support*. Kemudian panah merah menunjukkan pembebanan yang terjadi yakni *pressure design* pada *spherical tank* ini. nilai pembebanan yang berbeda dikarenakan ketinggian dan *angle* sudut sehingga menyebabkan perhitungannya berbeda. Berikut adalah nilai pembebanan design *pressure* dari tangki melalui pembebanan awal. Pembebanan ini dimasukan ke dalam beban pada pendekatan design condition.

Tabel 5. *Pressure* pada design condition

<i>Point</i>	<i>Static Head Pressure</i>	<i>Design Pressure (Kg/cm²)</i>
point 1	0,694	19,294
point 2	0,689	19,289
point 3	0,647	19,247
point 4	0,568	19,168
point 5	0	18,6
point 6	0	18,6
point 7	0	18,6

Kemudian pada *hydrostatic test*, pembebanan juga berbeda diakibatkan pada pendekatan ini pengaruh dari *hydropressure* sangat dipertimbangkan supaya menghasilkan hasil yang maksimal. Berikut adalah nilai pembebanan pada pendekatan *hydrostatic test*.

Tabel 6. *Pressure pada hydrostatic test*

Point	Static Head Pressure	Hydrostatic pressure test	Pressure Total (Kg/cm ²)
point 1	1,76	23,25	25,01
point 2	1,75	23,25	25
point 3	1,665	23,251	24,916
point 4	1,503	23,25	24,753
point 5	0,258	23,248	23,506
point 6	0,096	23,25	23,346
point 7	0,011	23,25	23,261

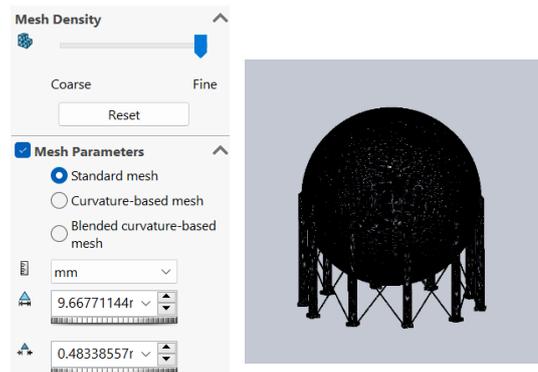
Kemudian, pada pendekatan *shear stress* juga memiliki pembebanan yang berbeda dengan pendekatan yang lainnya. Berikut adalah pembebanan pada pendekatan *shear stress*.

Tabel 7. *Pressure pada shear stress*

Point	Design Pressure (Kg/cm ²)
point 1	18,6
point 2	18,6
point 3	18,6
point 4	18,6
point 5	18,6
point 6	18,6
point 7	18,6

Pada pendekatan *shear stress*, *design pressure* yang dimasukan adalah *design pressure* awal objek dan tidak mengalami perubahan seperti pada pendekatan sebelumnya.

Setelah objek mengalami pembebanan, selanjutnya akan dilakukan proses *meshing*. Proses *meshing* pada tangki spherical ini menggunakan *meshing* paling maksimal pada software solidwork. Proses *meshing* ini merupakan kegiatan dimana seluruh permukaan objek akan diberikan jarring atau *meshing* untuk mendapatkan hasil analisis. Ketika proses *running* dijalankan. Semakin kecil *meshing* atau semakin maksimal proses *meshing*, maka hasil yang diberikan juga akan semakin akurat. Proses *meshing* merupakan proses yang lama juga seperti pada proses *running* analisis. Hal tersebut dikarenakan keduanya memiliki pengaruh yang besar terhadap hasil daripada penelitian.



Gambar 5. Proses *meshing spherical tank*

2.7 Pengolahan data

Setelah semuanya dilakukan, maka proses selanjutnya adalah pengolahan data berupa simulasi analisis tegangan maksimal dari beban yang diberikan. Semua proses sebelum analisis dijelaskan sudah dijelaskan pada penjelasan diatas dan selanjutnya proses *running* berjalan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari semua proses yang telah dijalani pada penjelasan diatas, hasil penelitian ini adalah berupa tegangan maksimal yang akan dibandingkan dengan *allowable stress* berdasarkan ASME apakah *design* memenuhi dan dalam kategori aman.

3.1. Perhitungan Ketebalan Tangki

Perhitungan ini, menghasilkan 3 ketebalan dari setiap *grade* dikarenakan terdapat 3 pendekatan. Maka total dari semua variasi nantinya berjumlah 12 objek. Berikut adalah hasil dari perhitungan ketebalan.

1. Grade 55

Tabel 8. Perhitungan ketebalan *design condition*

Point	Angle	Height (mm)	Calculation Thickness (mm)
1	180	14154	63
2	171	14045,65	63
3	153	13194,85	62
4	135	11576,53	62
5	45	0	60
6	27	0	60
7	9	0	60

Perhitungan menggunakan rumus yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya. Kemudian pada *hydrostatic test* ketebalan yang didapatkan memiliki nilai sebesar:

Tabel 9. Ketebalan pada *hydrostatic test*

Point	Height (mm)	Pressure (Kg/cm ²)	Calculation Thickness (mm)
point 1	17600	25,01	60
point 2	17491,66	25	60
point 3	16640,86	24,916	60
point 4	15022,54	24,753	58
point 5	2577,47	23,506	56
point 6	959,15	23,346	56
point 7	108,35	23,261	56

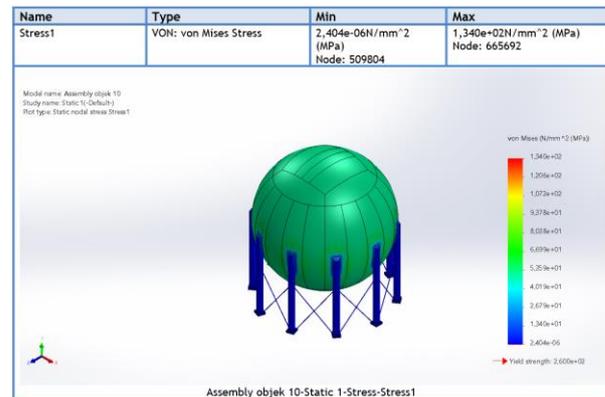
Nilai ketebalan didapatkan menggunakan persamaan yang sebelumnya. Kemudian pada *shear stress theory*, ketebalan yang didapatkan adalah sebagai berikut.

Tabel 10. Ketebalan pada *shear stress theory*

T1 <i>max latitude membrane force</i> (Kg/cm ²)	T2 <i>Max meridional membran</i> (Kg/cm ²)	t <i>Thickness calculation formula</i> (mm)
8490,162	8490,160	62
8487,242	8488,994	62
8464,332	8480,016	62
8420,867	8463,958	62
8184,930	8184,930	60
8184,930	8184,930	60
8184,930	8184,930	60

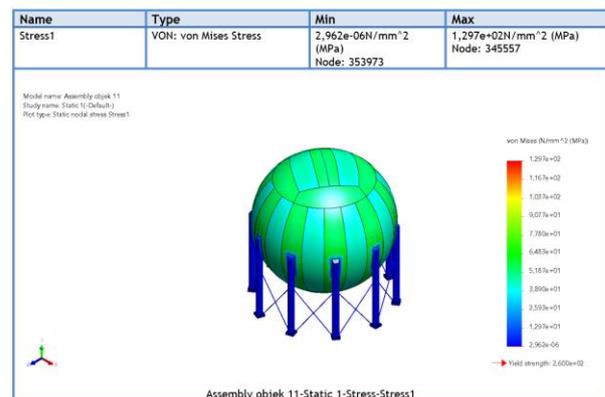
3.2. Hasil Analisis Max Stress

Setelah didapatkan ketebalan, maka selanjutnya adalah proses analisis. Proses ini menggunakan semua faktor yang sudah dijelaskan pada penjelasan sebelumnya termasuk dengan ketebalan yang telah di dapatkan. Dengan memasukan *pressure* yang berbeda-beda guna mendapatkan hasil yang maksimal dari ketahanan struktur tangki dalam menahan *pressure* tersebut. Berikut adalah penjelasan mengenai hasil *max stress* yang didapatkan. *Max stress* ini merupakan objek dari pendekatan yang telah diurutkan yaitu, *design condition*, *hydrostatic test*, dan *shear stress*. Nilai ini merupakan nilai akhir yang akan dilakukan analisis dalam mengetahui batas keamanan dari tangki.



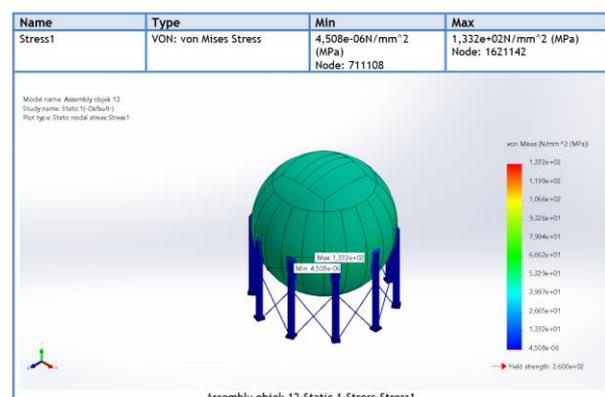
Gambar 6. Analisis *spherical tank design condition*

Pada gambar tersebut. Hasil *max stress* menunjukkan bahwa nilainya menyentuh pada angka 134 MPa. Nilai ini yang pada akhirnya akan dibandingkan dengan *allowable stress* untuk mengetahui keamanan dari objek.



Gambar 7. Analisis *spherical tank hydrostatic test*

Nilai pada *hydrostatic test*, maksimum *stress* yang didapatkan lebih besar yakni 129 MPa. Nilai ini merupakan yang terbesar dari proses analisis dari penelitian ini.



Gambar 8. Analisis *spherical tank shear stress*

Pada pendekatan di *shear stress theory*, nilai *max stress* yang didapatkan adalah 133 MPa. Nilai ini semua pada akhirnya akan dibandingkan dengan *allowable stress* yang telah ditentukan.

3.3. Grafik Akhir Kesimpulan

Pada penelitian ini, tujuan utamanya adalah untuk mengetahui objek dengan batas keamanan mana yang paling baik dari *grade* yang ada. Hal tersebut dilakukan karena pada pemilihan material sebelumnya, dilakukan dengan mengambil *grade* paling besar tanpa mempertimbangkan *grade* yang memiliki nilai dibawahnya. Maka dari itu, setelah didapatkan ketebalan hingga maksimal *stress* pada proses sebelumnya, maka Langkah terakhir adalah membandingkannya dengan *allowable stress* yang telah ditentukan. Berikut adalah perbandingannya.

Tabel 11. Hasil simulasi grade 55

Stress	DC	HT	SS
Max stress	112 MPa	105,4 MPa	108,3 MPa
AS	108 MPa	108 MPa	108 MPa

Berikut adalah perbandingan dari perolehan *maksimum stress* dengan *allowable stress* yang sudah ditentukan oleh ASME.

Tabel 12. Hasil simulasi grade 60

Stress	DC	HT	SS
Max stress	105,5 MPa	108,5 MPa	105,5 MPa
AS	118 MPa	118 MPa	118 MPa

AS disini merupakan *allowable stress*. Dan nilai stress dari 3 pendekatan.

Tabel 13. Hasil simulasi 65

Stress	DC	HT	SS
Max stress	117,4 MPa	124,9 MPa	123,3 MPa
AS	128 MPa	128 MPa	128 MPa

Setiap *grade* memiliki kenaikan nilai dari *Allowable stress*. Namun *maksimum stress* yang didapatkan juga mengalami kenaikan.

Tabel 14. Hasil simulasi 70

Stress	DC	HT	SS
Max stress	134 MPa	129,7 MPa	133,2 MPa
AS	138 MPa	138 MPa	138 MPa

Pada *grade* 70, perbedaan gap antara *max stress* yang didapatkan dengan *allowable* memiliki nilai cukup baik. Hal tersebut yang melatarbelakangi pemilihan *grade* ini dalam Pembangunan tangki *spherical*.

Selain membuat kesimpulan dari *grade*, pada penelitian ini kesimpulan grafik juga dilihat dari proses pendekatan. Berikut adalah table-tabel hasil Analisa yang dilihat dari perspektif pendekatan perolehan ketebalan.

Tabel 15. Simulasi pada *design condition*

Gr	55	60	65	70
MS	112 MPa	105 MPa	117 MPa	134MPa
AS	108 MPa	118 MPa	128 MPa	138 MPa

Nilai perolehan dari *max stress* mengalami peningkatan dari setiap *grade*. Nilai tersebut naik bersamaan dengan *allowable stress*. Namun untuk semua nilai masih pada batas keamanan.

Tabel 16. Simulasi pada hydrostatic test.

GR	55	60	65	70
MS	105 MPa	108 MPa	105MPa	129 MPa
AS	108 MPa	118 MPa	128 MPa	138 MPa

Nilai *max stress* pada pendekatan *hydrostatis* juga mengalami peningkatan mulai dari *grade* 55 sampai *grade* 70. Nilai tersebut naik bersamaan dengan kenaikan *grade* dan masih dalam batas keamanan.

Tabel 17. Simulasi pada *shear stress*

Gr	55	60	65	70
MS	108 MPa	105 MPa	123 MPa	133 MPa
AS	108 MPa	118 MPa	128 MPa	138 MPa

Nilai hasil analisisnya memiliki karakter yang sama dengan pendekatan sebelumnya. Yakni nilainya positif atau naik pada setiap kenaikan *grade*. Namun masih dalam batas keamanan yang berlaku. Hal ini menandakan bahwa tangki dengan *grade* tersebut masih layak untuk digunakan.

Dari semua proses yang telah dilalui di penelitian ini, hasil akhir menunjukkan bahwa semua tangki atau objek penelitian masih memiliki batas keamanan yang baik dan masih aman untuk digunakan. Namun, pemilihan *grade* 70 didasarkan pada batas keamanan yang lebih aman dibandingkan *grade* dibawahnya. Hal itu dibuktikan pada hasil perbandingan antara *max stress* dengan *allowable stress* yang ada. Selain itu, grafik berikut akan menunjukkan alasan bahwa kenapa *grade* 70 memiliki keamanan yang paling bagus dibandingkan yang lainnya.



Gambar 9. Grafik akhir besar tegangan

Grafik berikut menunjukkan bahwa gap atau perbedaan yang terjadi pada *grade* 70 dengan *allowablenya* sangat bagus dan berbeda dengan *grade* yang sebelumnya karena nilai maksimal stressnya hampir mendekati dengan *allowable stress*. Namun, *grade* 55, 60, 65 masih dapat digunakan pada beberapa kondisi. Dengan ketebalan yang lebih besar dibandingkan pada *grade* 70 menjadikan *grade* dibawah 70 tidak banyak dipilih dalam kasus Pembangunan tangki *spherical*.

Dalam kondisi ini, pada satu pendekatan *design condition*, *grade* 55 ke *grade* 60 mengalami penurunan ketebalan sebesar 5% dan mengalami peningkatan keamanan *safety* sebesar 2,24%. Pada *grade* 60 ke *grade* 65 mengalami penurunan ketebalan sebesar 9,43% dan mengalami peningkatan *safety* sebesar 1,34%, dan pada *grade* 65 ke *grade* 70 mengalami penurunan sebesar 0% dan masih mengalami peningkatan *safety* sebesar 5,94%. Hal tersebutlah yang menyebabkan pemilihan *grade* 70 adalah *grade* yang paling tepat untuk dijadikan bahan material dari tangki ini.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah disajikan, tegangan maksimal memiliki nilai yang besar pada ketebalan yang minim. Hal tersebut disebabkan oleh faktor dari Hukum Laplace, yaitu ketebalan lebih kecil cenderung memiliki tegangan maksimal lebih besar dibandingkan dengan ketebalan yang besar. Maka dari analisa kekuatan *spherical tank* dengan 12 variasi dari *grade* material dapat disimpulkan bahwa pada pemilihan *grade* dari 55 sampai 70 masih memiliki batas keamanan dibawah *allowable stress*, pendekatan shear stress theory adalah pendekatan dengan ketebalan paling besar dibandingkan yang lainnya, *hydrostatic test* memiliki hasil tegangan maksimal yang paling besar dibandingkan yang lainnya, dan *grade* 70 adalah *grade* yang paling bagus untuk digunakan dalam bahan pembuatan tangki karena memiliki keamanan dengan presentase yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J.W. Smith, "Failures in Pressure Vessels." <https://www.boardmaninc.com/news.html/2016/05/01/volume-iii-asme-pressure-vessels/>. Boardman LLC. (accessed Apr. 12, 2023).
- [2] Y. Anani and G. Rahimi, "Stress analysis of thick spherical pressure vessel composed of transversely isotropic functionally graded incompressible hyperelastic materials," *Latin American Journal of Solids and Structures.*, vol. 13, no. 3, pp. 407–434, 2016, doi: 10.1590/1679-78252386.
- [3] H. Nugraha, I. Kusumaningtyas, and I. M. Miasa, "Analisis Buckling dan Tegangan Bejana Tekan Horizontal pada Tekanan Kerja Eksternal," *Journal of Mechanical Design and Testing.*, vol. 4, no. 2, pp. 58–66, 2022, [Online]. Available:<http://dx.doi.org/10.22146/jmdt.63592> e-ISSN[Diakses 29 April 2023].
- [4] V. J. Solanki and D.A. Patel "Static and Dynamic Analysis of Pressure Vessel with Vertical orientation using PVElite," *Engineering Science and Futuristic Technology.*, no. August, pp. 1–11, 2016.
- [5] E. Sunje, E. Neziric, and S. Isic, "Analysis of stress in torispherical head of pressure vessels," *Manufacturing and Advanced Technologies.*, no. November2010,[Online].Available:http://www.researchgate.net/publication/257471077_Analysis_Of_Stress_In_Torispherical_Head_Of_Pressure_Vessels/citation/download.
- [6] N. Zamani, N. Habibi, and K. Minaee, "The numerical and analytical analysis of stress intensity factor of semi elliptical crack on a spherical pressure vessel," 2nd Conference. *Oil Gas Storage Tanks, Shahid Beheshti Conference Center.*, no. September, 2014.
- [7] T. L. Karavasilis, D. C. Rizos, and D. L. Karabalis, "Seismic analysis of spherical tanks including fluid-structure-soil interaction," *13th World Conference Earthquake Engineering.*, no. January 2004, pp. 1–15, 2004.
- [8] F. Wang and G. Jiang, "Numerical Investigations of Wind Loads on Spherical Structures with Various Types of Configurations," *Buildings*, vol. 12, no. 11, 2022, doi: 10.3390/buildings12111832.
- [9] W. Xu, "External pressure buckling analysis of large pressure vessels," : *Journal of Physics: Conference Series.*, vol. 1303, no. 1, 2019, doi:

10.1088/1742-6596/1303/1/012019.

- [10] R. Hasanah, "Jenis - Jenis Tanki Penyimpanan Bahan," operator website, 2020. <https://kimia.unimudasorong.ac.id/artikel/jenis-jenis-tankipenyimpanan-bahan> (accessed Jul. 16, 2023).
- [11] Dennis R. Moss, "Pressure Vessel Design Manual", *Gulf Professional Publishing*. Third Edition, Burlington, Oxford: Elsevier, 2004.
- [12] T. L. Group, T. O. N. The, and T. Icon, "Piping Stress Analysis," *A Wiley Interscience Publication*, Third edition. Knoxville, Tennessee.p. 670, 1863. Oxford: Elsevier, 2004.
- [13] American Society of Mechanical Engineers, "ASME DIV II Section VIII," 2011, pp. 651–652.