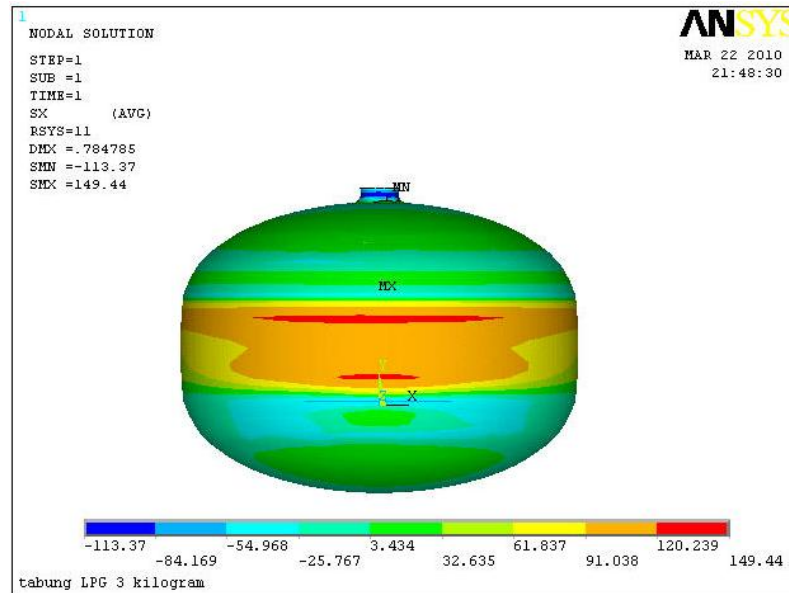


IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

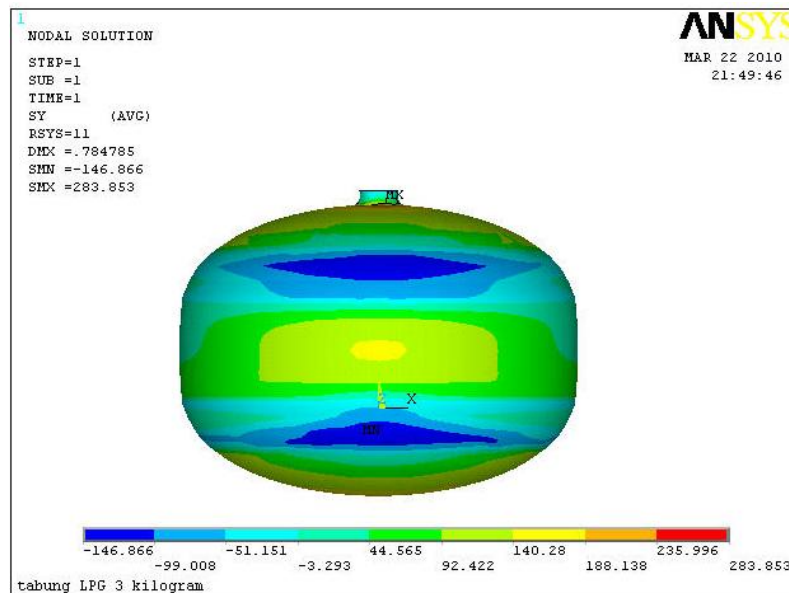
A. Hasil Analisis

Dalam penelitian ini, analisis yang dilakukan menggunakan metode elemen hingga atau *Finite Element Method* (FEM) dengan *software* ANSYS 10. Tabung 3 kg yang dimodelkan digambarkan tidak secara utuh. Pegangan (*handguard*) dan dudukan (*footring*) tabung tidak diikutsertakan dalam pembuatan pemodelan karena dengan asumsi bahwa *handguard* dan *footring* tidak berpengaruh besar terhadap nilai tegangan. Pemodelan menggunakan elemen *Shell63* dengan material tabung adalah pelat baja *structural* SG-295 yang telah ditentukan dalam standar SNI 07-3018-2006. Ukuran ketebalan tabung yang digunakan yaitu 2,3 mm, dengan nilai modulus elastisitas (E) sebesar 200 GPa, dan nilai *Possion Rasio* sebesar 0,3 dan nilai tekanan yang diberikan (*Internal Pressure*) sebesar 2,1 MPa yang merupakan tekanan pada saat pengoperasian. Untuk mempermudah melakukan analisis dengan menggunakan *software* ANSYS, tabung dibagi dalam tiga bagian, yaitu analisis pertama untuk bagian bawah (*bottom*) yang berbentuk *ellips* dalam *software* ANSYS digambarkan pada kordinat RSYS, 11. Selanjutnya analisis dilakukan untuk bagian tabung yang berbentuk silinder dengan koordinat RSYS, 12. Kemudian analisis yang terakhir dilakukan untuk bagian atas yang berbentuk *ellips* dengan koordinat RSYS, 13. Dari data-data tersebut diatas diperoleh data distribusi tegangan berupa gambar, tabel, dan grafik.

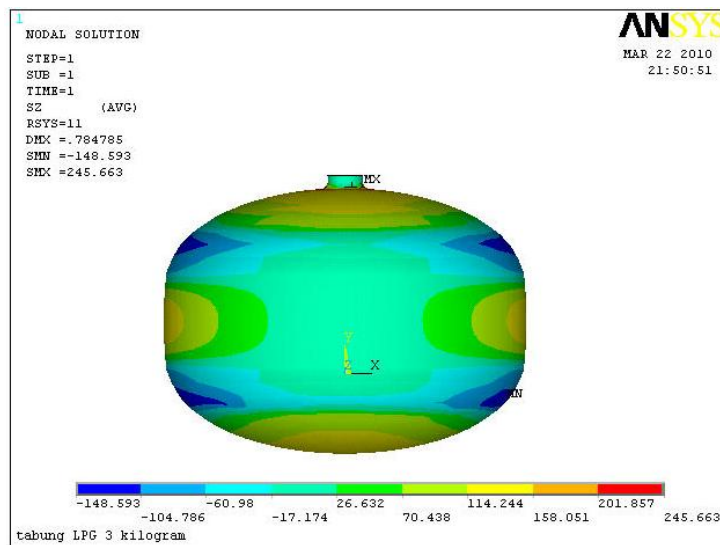
Pada analisis bagian pertama yang ditunjukkan pada Gambar 20, 21, dan 22 yaitu untuk daerah *ellips* bagian bawah dengan koordinat RSYS, 11 dapat dilihat persebaran tegangan dalam arah radial, *hoop*, dan *meridional*.



Gambar 20. Distribusi tegangan arah radial untuk *ellips* bawah.



Gambar 21. Distribusi tegangan *hoop* untuk *ellips* bawah.



Gambar 22. Distribusi tegangan arah *meridional* untuk *ellips* bawah.

Dari Gambar 20 dapat dilihat bahwa distribusi tegangan yang terjadi pada arah radial sangat kecil. Nilai tegangan paling besar terjadi pada *hoop stress* seperti Gambar 21 dan arah *meridional* yang digambarkan pada Gambar 22 dengan nilai tertinggi yaitu 155,61 MPa. Nilai tegangan terbesar terjadi pada titik pusat *ellips* yaitu pada daerah puncak *ellips* dan dekat daerah pertemuan antara bagian tabung yang berbentuk *ellips* dengan bagian tabung yang berbentuk silinder dan terjadi perubahan tegangan, hal ini disebabkan adanya tegangan bending. Lebih jelas mengenai nilai distribusi tegangan untuk bagian *ellips* bawah yang didapat dari hasil analisis pada tabung dapat dilihat pada Tabel 1. Dari data tabel diketahui bahwa nilai tegangan maksimum untuk *radial stress* (σ_r) terjadi pada jarak 150,84 mm dari titik awal *ellips* dengan nilai tagangan sebesar 2,1574 MPa. Untuk *meridional stress* (σ_θ) mulai terjadi perubahan dari tegangan tarik menjadi tekan pada jarak 108,69 mm pada *ellips*.

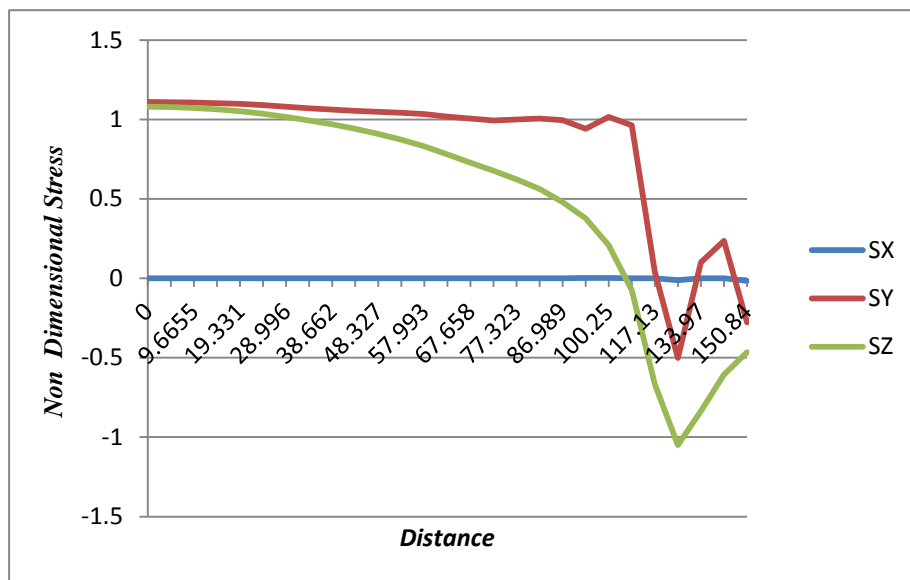
Tabel 1. Distribusi tegangan pada *ellips* bagian bawah.

Node	X (mm)	Y (mm)	S	σ_r (MPa)	σ_θ (MPa)	σ_ϕ (MPa)
1	0	-55	0	1.86E-02	155.61	151.64
21	90	-39.688	4.8327	1.88E-02	155.42	151.23
40	4.8326	-54.963	9.6655	1.86E-02	155.09	150.39
41	9.664	-54.848	14.498	1.83E-02	154.63	149.18
42	14.493	-54.657	19.331	1.81E-02	153.92	147.48
43	19.318	-54.389	24.164	1.79E-02	152.93	145.17
44	24.139	-54.043	28.996	1.77E-02	151.61	142.52
45	28.953	-53.619	33.829	1.82E-02	150.22	139.38
46	33.759	-53.113	38.662	1.93E-02	148.95	135.85
47	38.556	-52.526	43.494	2.10E-02	147.87	131.91
48	43.341	-51.854	48.327	2.28E-02	147	127.51
49	48.114	-51.094	53.16	2.56E-02	146.19	122.37
50	52.871	-50.244	57.993	2.85E-02	144.96	116.41
51	57.612	-49.303	62.825	3.26E-02	142.88	109.49
52	62.332	-48.267	67.658	3.59E-02	140.97	102.15
53	67.029	-47.131	72.491	3.66E-02	139.49	95.115
54	71.698	-45.884	77.323	4.04E-02	140.16	87.435
55	76.333	-44.517	82.156	3.98E-02	141.11	78.793
56	80.931	-43.027	86.989	3.68E-02	139.64	67.287
57	85.487	-41.417	91.821	0.16306	131.97	52.755
244	130	0	100.25	0.20613	142.45	29.15
260	97.665	-36.175	108.69	6.03E-02	135.08	-10.456
261	105.08	-32.137	117.13	-4.02E-03	5.7453	-93.405
262	112.37	-27.88	125.54	-1.6649	-70.485	-147.33
263	118.86	-22.536	133.97	0.13226	14.115	-117.38
264	123.62	-15.587	142.41	3.39E-02	33.166	-85.176
265	127.28	-7.9845	150.84	-2.1574	-38.884	-65.277

Dari Tabel 1, diketahui bahwa nilai *hoop stress* sebesar 155,61 MPa merupakan nilai tegangan terbesar, yang terjadi pada jarak 0 mm arah sumbu panjang dan -55 mm arah sumbu pendek. Perubahan tegangan untuk *meridional stress* mulai terjadi pada jarak 97,665 mm arah sumbu panjang dan -36,175 mm arah sumbu pendek sampai jarak 127,28 arah sumbu panjang.

Untuk mengetahui distribusi tegangan yang terjadi pada daerah *ellips* bagian bawah dapat juga dilihat dalam bentuk grafik takberdimensi pada Gambar 23. Angka grafik tak berdimensi tersebut didapat dari perhitungan dengan membagi nilai dari tegangan yang terjadi pada arah radial, *hoop*, dan *meridional* dengan nilai hasil perhitungan dari persamaan (16) sebagai berikut:

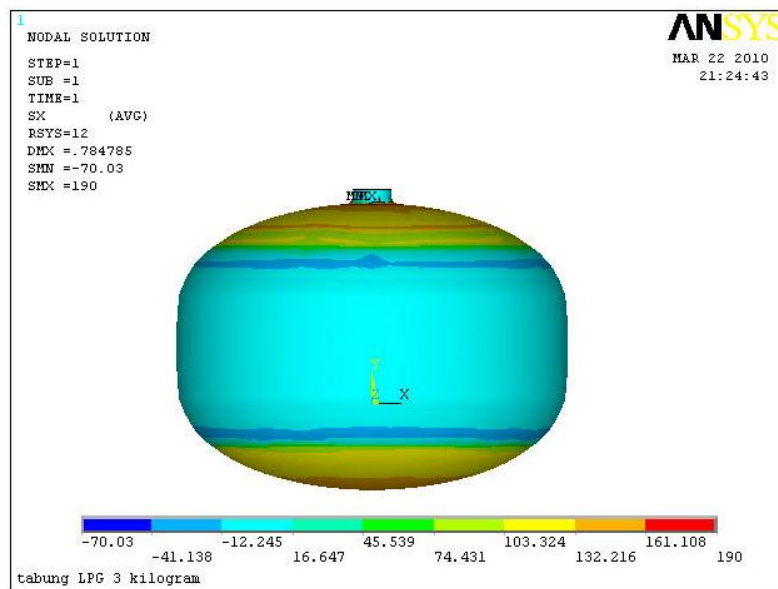
$$\sigma_{\phi} = \frac{2.1 \text{ MPa} \times 130^2 \text{ mm}}{2 \times 2.3 \text{ mm} \times 55 \text{ mm}} = 140.28$$



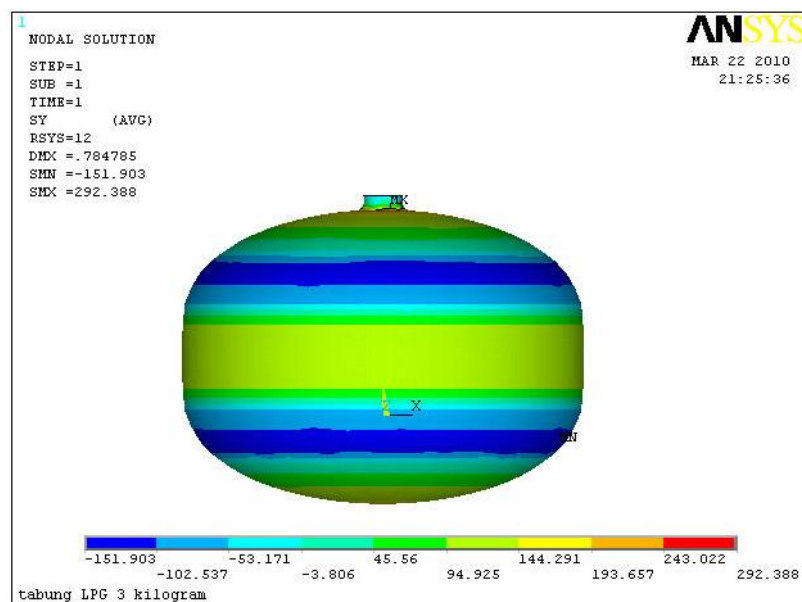
Gambar 23. Grafik distribusi tegangan pada bagian *ellips* bawah.

Dari Gambar 23, terlihat perubahan nilai tegangan untuk arah σ_{θ} (*hoop stress*) dan arah σ_{ϕ} (*meridional stress*). Pada daerah *ellips* nilai tegangan untuk *hoop stress* (σ_{θ} dan σ_{ϕ}) akan lebih besar dibanding tegangan arah *radial*. Mulai jarak 108,69 mm pada *ellips* terjadi perubahan tegangan dan terjadi bending.

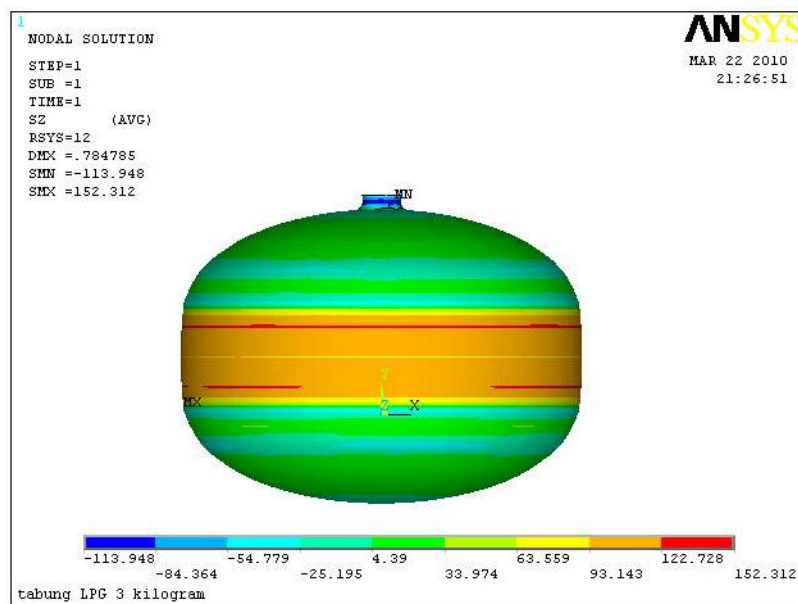
Analisis bagian kedua yaitu bagian tabung yang berbentuk silinder dengan koordinat RSYS, 12 dalam *software* ANSYS dapat dilihat dalam bentuk gambar tabung yang ditunjukkan Gambar 24, 25, dan 26.



Gambar 24. Distribusi tegangan arah radial untuk silinder.



Gambar 25. Distribusi tegangan *hoop* untuk silinder.



Gambar 26. Distribusi tegangan arah *axial* untuk silinder.

Dari gambar diketahui untuk daerah silinder tegangan maksimum terjadi pada arah σ_{θ} (*Hoop Stress*) yang diperlihatkan pada Gambar 25 dengan nilai sebesar 143,04 MPa pada jarak 35 mm arah aksial. Nilai detail dari distribusi tegangan yang terjadi pada daerah silinder dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Distribusi tegangan pada silinder.

Node	X (mm)	Y (mm)	S	σ_r (MPa)	σ_{θ} (MPa)	σ_{θ} (MPa)
244	130	0	0	-2.1574	-65.277	-38.884
1349	130	5	5	1.71E-02	7.0815	60.244
1365	130	10	10	0.15285	63.332	109.91
1366	130	15	15	0.24545	101.7	123.68
1367	130	20	20	0.30146	124.91	118.46
1368	130	25	25	0.33131	137.28	106.87
1369	130	30	30	0.34483	142.88	96.963
1370	130	35	35	0.34868	144.47	93.215
1371	130	40	40	0.34522	143.04	97.03
1372	130	45	45	0.33213	137.62	107.05
1373	130	50	50	0.30273	125.43	118.93
1374	130	55	55	0.2472	102.43	124.55

Lanjutan.

Node	X (mm)	Y (mm)	S	σ_r (MPa)	σ_θ (MPa)	σ_z (MPa)
1375	130	55	60	0.15508	64.255	111.52
1376	130	60	65	1.97E-02	8.1761	62.73
1377	130	65	70	-2.3285	-63.098	-36.465

Dari Tabel 2, dapat dilihat bahwa pada titik *apex* nilai tegangan adalah 65,277 MPa pada *hoop stress* yang merupakan tegangan tekan.

Dari data tabel yang dihasilkan dapat dilihat dalam bentuk grafik tak berdimensi yang digambarkan dalam Gambar 27. Nilai pada grafik didapat dari perhitungan dengan membagi nilai dari tegangan yang terjadi pada arah radial, *hoop*, dan *axial* dengan nilai hasil perhitungan dari persamaan (13):

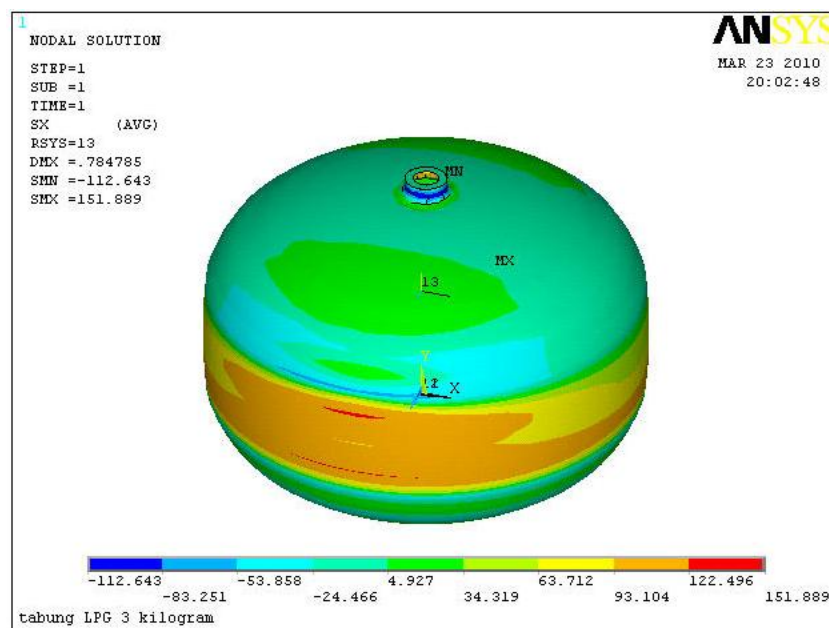
$$\sigma_h = \frac{2.1 \text{ MPa} \times 130 \text{ mm}}{2.3 \text{ mm}} = 118.7$$



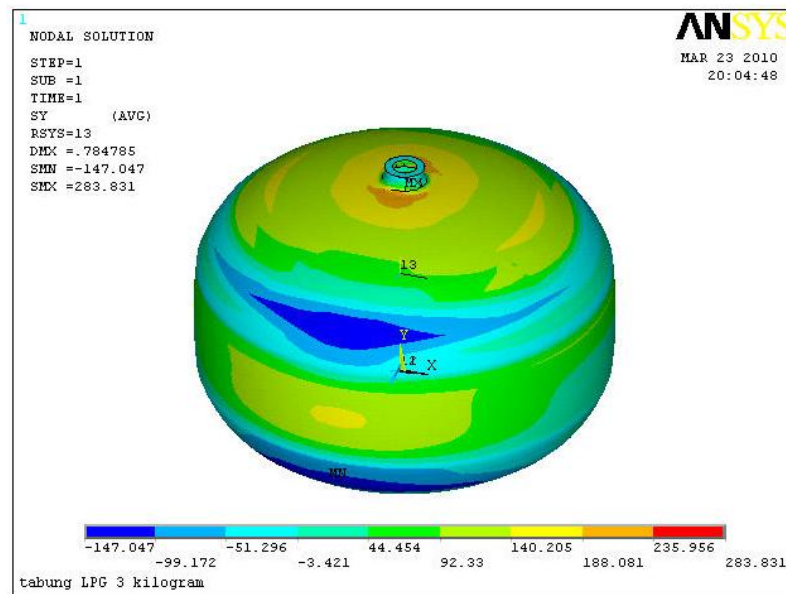
Gambar 27. Grafik distribusi tegangan pada bagian silinder

Dari Gambar 27, dapat dilihat bahwa daerah *apex* pada *ellips* yaitu pada jarak 0,0 dan 70 mm kearah *axial* merupakan daerah perubahan tegangan. Mulai dari jarak 5 mm sampai jarak 65 mm pada arah *axial* tidak lagi terjadi bending *stress* dan hanya terjadi *membrane stress*.

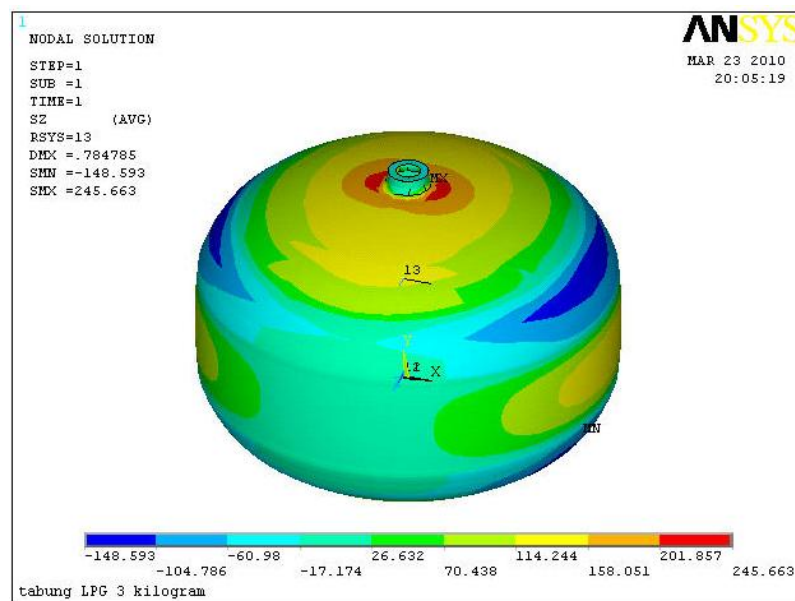
Analisis selanjutnya dilakukan pada *ellips* bagian atas yang pada *software* ANSYS terletak pada koordinat RSYS, 13. Untuk *ellips* bagian atas, nilai tegangan maksimum sama seperti *ellips* bagian bawah terjadi pada *hoop stress*. Distribusi tegangan yang terjadi pada model tabung dapat dilihat pada Gambar 28, 29 dan 30.



Gambar 28. Distribusi tegangan arah radial untuk *ellips* atas.



Gambar 29. Distribusi tegangan *hoop* untuk *ellips* atas.



Gambar 30. Distribusi tegangan arah *meridional* untuk *ellips* atas.

Dari Gambar 30, diketahui nilai tegangan *hoop* terbesar terjadi pada dekat daerah pertemuan antara *ellips* dengan daerah bukaan katup dengan nilai tegangan pada *range* antara 201,857-245,663 MPa.

Untuk lebih jelas mengenai data hasil analisis pada bagian *ellips* atas dapat dilihat pada Tabel 3.

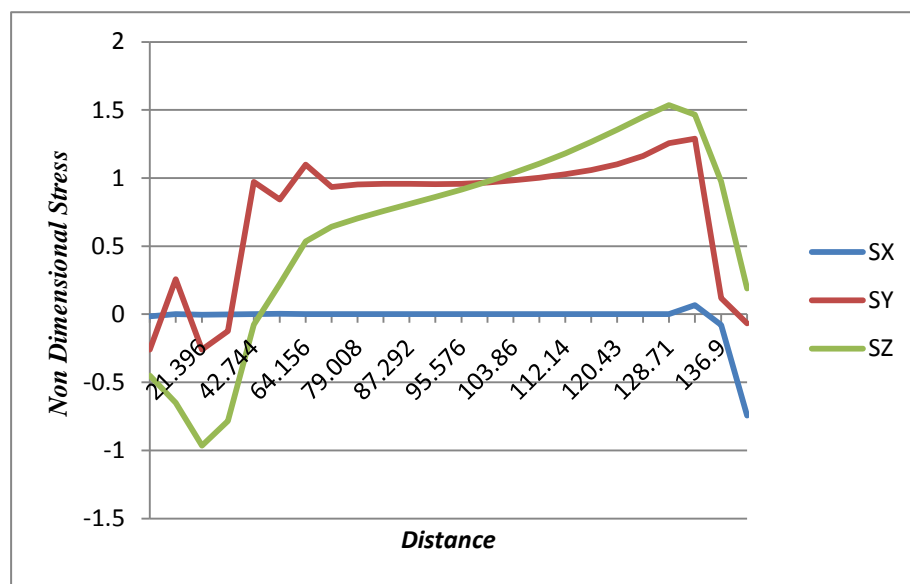
Tabel 3. Distribusi tegangan pada *ellips* bagian atas.

Node	X (mm)	Y (mm)	S	σ_r (MPa)	σ_θ (MPa)	σ_ϕ (MPa)
1349	130	70	0	-2.3285	-36.465	-63.098
1573	12.5	129.51	10.699	-1.03E-04	36.059	-91.124
2366	75	114.92	21.396	-0.5678	-36.413	-135.4
2385	85.128	111.44	32.036	-0.29656	-17.351	-110.01
2386	95.08	107.5	42.744	6.26E-02	136.21	-10.618
2387	104.52	102.44	53.454	0.41786	118.26	31.001
2388	113.73	96.991	64.156	8.95E-02	153.98	75.14
2389	121.24	89.448	74.866	0.13579	130.99	90.117
2390	126.38	80.069	79.008	2.30E-02	133.52	98.888
2505	71.017	116.06	83.15	2.18E-02	134.49	106.44
2506	67.013	117.12	87.292	2.10E-02	134.19	113.53
2507	62.99	118.11	91.434	1.98E-02	133.9	120.8
2508	58.95	119.02	95.576	1.82E-02	134.27	128.54
2509	54.893	119.86	99.719	1.72E-02	135.54	136.7
2510	50.823	120.63	103.86	1.72E-02	137.84	145.44
2511	46.74	121.32	108	1.79E-02	140.74	155.04
2512	42.646	121.96	112.14	1.87E-02	144.14	165.76
2513	38.544	122.53	116.29	1.97E-02	148.53	177.38
2514	34.433	123.04	120.43	2.07E-02	154.53	189.95
2515	30.315	123.48	124.57	2.21E-02	163.08	203.17
2516	26.191	123.87	128.71	2.50E-02	176.24	215.59
2517	22.062	124.2	132.86	9.51	180.72	205.66
2518	17.929	124.47	136.9	-11.089	16.589	136.62
2519	14.12	125.82	140.92	-104.41	-9.5139	26.366

Dari Tabel 3, dapat dilihat bahwa tegangan paling besar terjadi pada *meridional stress* (σ_ϕ) dengan nilai sebesar 215,59 MPa terjadi pada jarak 26,191 mm arah sumbu panjang dan 123,87 arah sumbu pendek. Sedangkan *hoop stress* (σ_θ) tegangan terbesar terjadi pada jarak 124,2 mm dengan nilai tegangan sebesar 180,72 MPa. Data pada Tabel 3 dapat dilihat dalam bentuk grafik tak berdimensi

pada Gambar 31. Angka grafik tak berdimensi tersebut didapat dari perhitungan dengan membagi nilai dari tegangan yang terjadi pada arah radial, *hoop*, dan *meridional* dengan nilai hasil perhitungan dari persamaan (16) sebagai berikut:

$$\sigma_{\phi} = \frac{2.1 \text{ MPa} \times 130^2 \text{ mm}}{2 \times 2.3 \text{ mm} \times 5.5 \text{ mm}} = 140.28$$



Gambar 31. Grafik distribusi tegangan pada bagian *ellips* atas.

Dari Gambar 31, dapat dilihat pada titik awal *apex* sampai jarak 42,744 mm terjadi tegangan bending. Untuk *hoop stress* dari jarak 42,744 mm pada *ellips* atau pada jarak 95,08 mm arah sumbu panjang dan jarak 107,5 mm arah sumbu pendek nilai tegangan terus meningkat sampai 215,59 MPa pada jarak 128,71 mm permukaan *ellips* atau pada jarak 26,191 mm arah sumbu panjang dan 123,87 mm arah sumbu pendek pada koodinat kartesius.

B. Pembahasan

Dari hasil analisis perhitungan dengan menggunakan metode elemen hingga didapat besaran nilai tegangan yang terjadi pada tabung. Untuk mempermudah dalam melakukan analisis, pemodelan tabung dibagi menjadi tiga bagian yaitu *ellips* bawah, silinder dan *ellips* bagian atas. Oleh sebab itu nilai tegangan tidak sama satu sama lain, tergantung pada bagian mana analisis dilakukan.

Untuk bagian analisis pertama, yaitu bagian *ellips* bawah tabung tegangan paling besar terjadi pada arah σ_{θ} (*sircumferensial*) atau disebut dengan *hoop stress*. *Hoop stress* adalah tegangan yang terjadi pada arah keliling *ellips* tabung. Pada daerah *ellips* nilai tegangan untuk *hoop stress* (σ_{θ} dan σ_{ϕ}) akan lebih besar dibanding arah radial. Dari Tabel 1, dapat dilihat bahwa nilai tegangan pada titik *apex* untuk *hoop stress* pada *ellips* bawah lebih besar dibanding tegangan *meridional*. Dari titik *apex* sampai jarak 108,69 mm pada *ellips*, selisih penurunan nilai tegangan *hoop* tidak terlalu signifikan karena tidak ada bending *stress*. Pada jarak 117,13 mm nilai tegangan mulai turun sampai 14,281 MPa dan mulai terjadi bending *stress*. Untuk arah sumbu panjang efek bending *stress* mulai hilang pada jarak 108,69 mm yang menyebabkan perubahan tegangan dari 10,456 MPa dan terus meningkat pada jarak 150,84 mm sampai 65.277 MPa.

Tegangan *hoop* akan meningkat seiring berkurangnya ukuran garis lintang atau garis *latitudinal* pada *ellips*. Hal ini dikarenakan menurut perhitungan dengan menggunakan persamaan (17) dan (18) pada daerah yang berbentuk *ellips* karena adanya penurunan ukuran panjang garis maka nilai tegangan juga akan semakin besar.

Untuk analisis kedua yang dilakukan pada daerah silinder tabung nilai tegangan maksimum terjadi pada *hoop stress* dengan nilai sebesar 144,47 MPa pada jarak 35 mm (tengah silinder). Untuk daerah silinder masih sama halnya dengan daerah *ellips* bawah tabung bahwa nilai tegangan maksimum terjadi pada arah keliling silinder atau *hoop stress*. Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa pada titik *apex* silinder *hoop stress* merupakan tegangan tekan yang terjadi karena pengaruh bending *stress*.

Analisis yang terakhir dilakukan pada *ellips* bagian atas. Pada bagian ini tegangan maksimum terjadi pada arah σ_{θ} (*meridional stress*) sebesar 215,59 MPa dengan jarak 26,191 mm arah sumbu panjang dan 123,87 mm arah sumbu pendek pada koordinat kartesius. Hal ini terjadi karena bagian *ellips* atas memiliki bukaan katup sehingga terdapat bagian *ellips* yang berbentuk diskontinu, hal ini mengakibatkan adanya bending dan momen, ini mengakibatkan tegangan yang terjadi menjadi lebih besar dibandingkan dengan *ellips* bagian bawah yang tidak memiliki bukaan katup.

Dari data yang diperoleh digambarkan dalam bentuk grafik tak berdimensi, hal ini bertujuan agar data hasil analisis dapat bersifat umum. Akan tetapi tidak ada perubahan bentuk yang terjadi pada gambar grafik. Gambar grafik yang ditampilkan sama seperti grafik hasil analisis dengan *software* ANSYS.