

Optimasi Ketebalan Serat Cotton untuk Silinder Liner Baja dan Aluminium pada COPV menggunakan Pendekatan Elemen Hingga

Dedi Lazuardi^{1,*}, Rifqi Muhammad Al Ghifari¹ dan Agus Sentana¹

¹Universitas Pasundan - Bandung

*Korespondensi: dedi.lazuardi@unpas.ac.id

Abstrak. Bejana tekan untuk gas alam bertekanan (*Compressed Natural Gas – CNG*) yang sepenuhnya terbuat dari bahan logam akan memiliki bobot yang sangat berat, karena faktor tekanan yang tinggi. Resiko tersebut dapat dikurangi menggunakan pemilihan bejana tekan *composite overwrapped pressure vessel (COPV)*. Bejana COPV terdiri dari dua lapisan, lapisan pertama biasanya terbuat dari logam yang berfungsi mencegah kebocoran, sedangkan lapisan kedua terbuat dari komposit yang berfungsi menahan tekanan yang diterima oleh bejana tekan. COPV dirancang dengan harapan dapat mengurangi bobot bejana tekan tanpa mengurangi daya tahan terhadap tekanan tinggi. Lapisan komposit yang digunakan untuk bejana tekan COPV biasanya serat karbon. Serat karbon memiliki kekuatan lebih baik dibandingkan serat kaca, namun dalam pembuatan serat karbon ini terbilang mahal dibandingkan dengan serat lain. Untuk menekan harga dan lebih ramah lingkungan serta ketersediaan yang banyak, maka pada penelitian ini dipilih *cotton fiber* sebagai alternatif bahan pelapis pembuatan COPV. Ketebalan lapisan serat komposit pada COPV dapat menentukan besar tekanan gas yang dapat ditahan. Bejana tekan untuk CNG perlu didesain sedemikian rupa agar mampu menahan tekanan internal yang sangat besar dari CNG. Tekanan operasi untuk bejana tekan CNG berkisar 200 bar dan tekanan pengujian atau tekanan desain untuk tabung tersebut ditambahkan sekitar 20-50 bar atau minimal ditambah 10 persen dari tekanan operasi. Untuk itu perlu dilakukan analisis optimasi ketebalan serat komposit pada tabung COPV dikarenakan tekanan yang tinggi. Telah dilakukan analisa dengan metoda elemen hingga untuk COPV dengan material silinder liner baja dan aluminium, dari hasil analisa, menunjukkan bahwa silinder liner aluminium lebih adaptif untuk COPV. Dengan menggunakan metode silinder elastis, dapat dilakukan optimasi ketebalan silinder secara keseluruhan.

Kata kunci: COPV, CNG, cotton fibre, silinder liner

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Ketebalan lapisan serat komposit pada COPV dapat menentukan besar tekanan bejana tekan tersebut. Bejana tekan untuk CNG perlu didesain sedemikian rupa agar mampu menahan tekanan internal yang sangat besar dari CNG. Tekanan operasi untuk bejana tekan CNG berkisar 200 bar dan tekanan pengujian atau tekanan desain untuk tabung tersebut ditambahkan sekitar 20-50 bar atau minimal ditambah 10 persen dari tekanan operasi. Untuk itu perlu dilakukan analisis optimasi ketebalan serat komposit pada tabung COPV.

Permasalahan utama yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana menentukan ketebalan serat komposit dan cylinder liner untuk tabung COPV dengan material yaitu aluminium-cotton fiber dan baja karbon-cotton fiber dengan tekanan operasi sebesar 200 bar sehingga dapat diperoleh desain bejana tekan yang aman.

Metode Penelitian

Untuk optimasi ketebalan serat komposit pada COPV, digunakan geometri dan dimensi desain

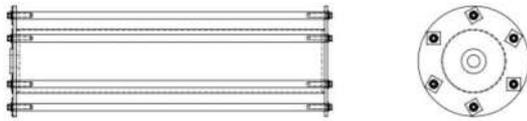
bejana tekan yang sudah dilakukan pada penelitian sebelumnya [1]. Kemudian dilakukan pemodelan dengan bantuan perangkat lunak SolidWorks untuk selanjutnya disimulasikan dengan pembebanan berupa tekanan sebesar 220 bar. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi perangkat lunak dengan perhitungan manual.

Dari hasil simulasi, dilakukan analisa apakah tegangan struktur masih di bawah tegangan yang diizinkan atau tidak. Iterasi dilakukan beberapa kali percobaan simulasi dengan mengubah besar ketebalan liner, flens dan komposit sampai tegangan struktur di bawah tegangan yang diizinkan dan nilai Factor of Safety (FOS) lebih besar sama dengan 3.5. Hasil dari desain yang telah memenuhi kriteria selanjutnya dikumpulkan untuk dianalisa dan kemudian dipilihlah desain dengan tambahan kriteria dengan massa yang paling ringan.

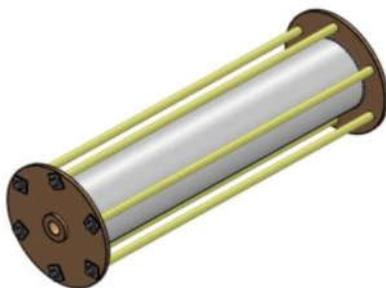
Adapun desain dan geometri bejana tekan awal yang menjadi objek penelitian ditunjukkan oleh gambar 1 dan gambar 2, dengan dimensi utama sebagai berikut:

- a) Cylinder Liner
Panjang (l) : 1000 mm

- Diameter Dalam (di) : 101,6 mm
- Diameter Luar (do) : 103,2 mm
- b) Flens
 - Material : AISI 304
 - Tebal (l) : 10 mm
 - Diameter (d) : 180mm
- c) Batang Penguat
 - Diameter (d) : 10 mm
 - Panjang (l) : 1110mm



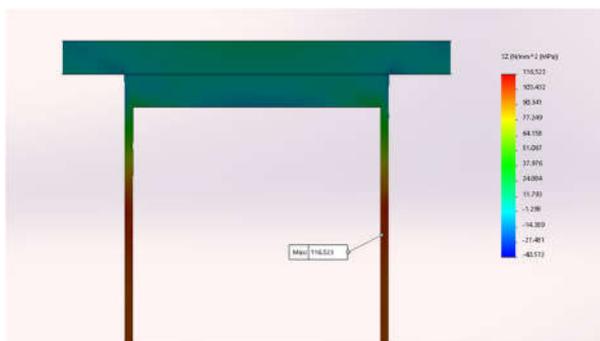
Gambar 1. Tabung liner, flens, dan penguat



Gambar 2. Gambar 3D bejana tekan

Validasi dilakukan untuk mengetahui apakah metode FEA (Finite Element Analysis) yang dilakukan sudah sesuai dan benar. Hal ini dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan sederhana secara manual dengan hasil pemodelan dan simulasi di komputer dengan menggunakan software SolidWorks.

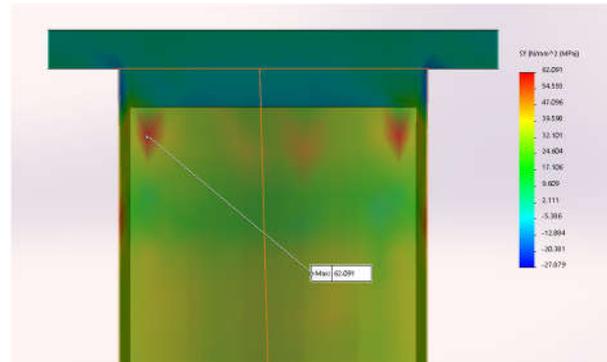
Gambar 3 menunjukkan hasil pemodelan atau simulasi untuk tegangan arah hoop sebesar 116.523 MPa, sementara hasil dari perhitungan didapatkan nilai tegangan sebesar 105 MPa. Untuk tegangan arah longitudinal, gambar 4 menunjukkan hasil simulasi sebesar 62.091 MPa sedangkan berdasarkan hasil perhitungan didapat nilai tegangan sebesar 52.5 MPa.



Gambar 3. Simulasi untuk tegangan hoop

Perbedaan yang diperoleh antara perhitungan manual dan simulasi perangkat lunak tidak signifi-

kan, sehingga dapat disimpulkan bahwa metode pemodelan untuk pengujian yang dilakukan sudah benar.



Gambar 4. Simulasi untuk tegangan longitudinal

Data material yang digunakan untuk kasus ini ditunjukkan oleh tabel 1.

Tabel 1. Properties Material

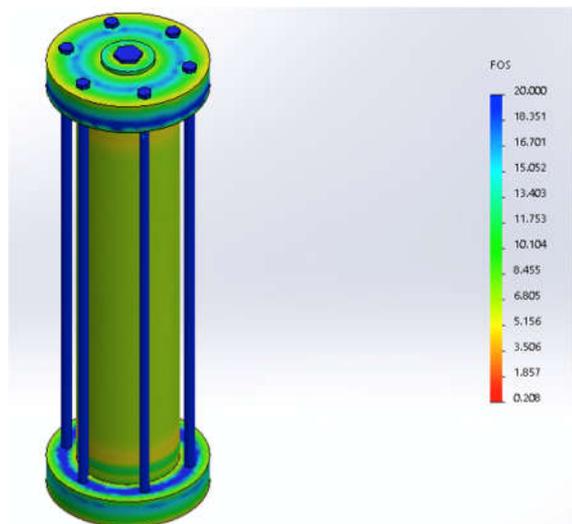
Material	Elastic Modulus (N/m ²)	Poisson's Ratio	Shear Modulus (N/m ²)	Mass Density (kg/m ³)	Tensile Strength (N/m ²)	Yield Strength (N/m ²)	Thermal Expansion (K ⁻¹)	Thermal Conductivity (W/m.K)	Specific Heat (J/kg.K)
Aluminium Alloy (6061)	6.0e+10	0.33	2.6e+10	2700	12408400	5514850	2.4e-005	170	1300
ST-37 (DIN 10490)	2.1e+10	0.28	7.9e+09	7800	3.7e+08	2.75e+08	1.1e-005	14	440
Cotton Fiber (with epoxy)	1.85e+08	0.35	3.189e+08	1540	4.753e+07	3049000	232	0.2256	1386

Langkah awal pada pemodelan elemen hingga adalah meshing. Untuk kasus ini, meshing yang dilakukan menggunakan elemen segitiga seperti ditunjukkan oleh gambar 5.

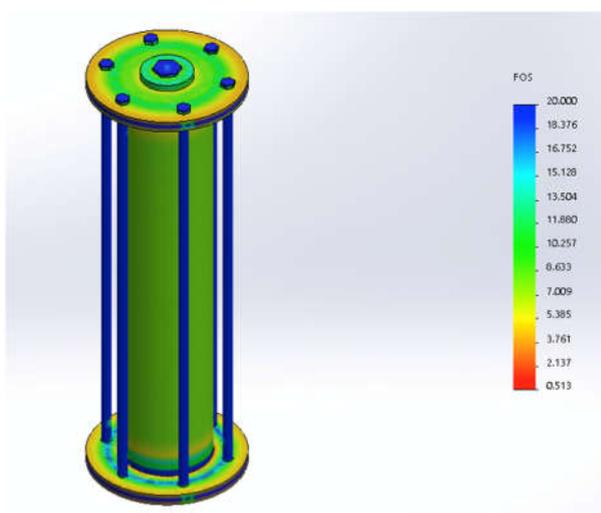


Gambar 5. Meshing

Setelah meshing selesai, maka dilakukan simulasi, untuk tabung aluminium, yang contoh hasilnya ditunjukkan oleh gambar 5, sedangkan gambar 6 dan 7 adalah contoh simulasi masing-masing untuk tabung aluminium dan baja.



Gambar 6. simulasi COPV Al-Cotton.



Gambar 7. Simulasi COPV ST-Cotton

Optimasi ketebalan tabung COPV dilakukan dengan melakukan iterasi untuk berbagai variasi ketebalan, baik ketebalan *liner* maupun ketebalan kompositnya. Tabel 2, menunjukkan hasil untuk COPV Al-Cotton, sedangkan tabel 3, menunjukkan hasil beberapa simulasi COPV ST-Cotton.

Tabel 2. Hasil iterasi COPV Al-Cotton

No	Tebal Flens (mm)	Tebal Liner (mm)	Tebal Komposit (mm)	Stress (MPa)	Strain	Displacement (mikron)	FOS	Massa (kg)
1	15	2	2	191.364	0.00838	812.97	0.25	3.47
2	38	2	8	32.32	0.00830	367.74	1.48	6.98
3	50	4	8	15.947	0.00350	169.78	3.00	9.24
4	50	3	7	14.95	0.00489	237.80	3.20	9.13
5	50	4	7	12.93	0.00300	170.23	3.70	9.93

Tabel 3. Hasil iterasi COPV ST-Cotton

No	Tebal Flens (mm)	Tebal Liner (mm)	Tebal Komposit (mm)	Stress (MPa)	Strain	Displacement (mikron)	FOS	Massa (kg)
1	15	1	1	226.65	0.00559	569.73	1.10	7.16
2	15	2	2	191.78	0.00305	344.03	1.30	8.57
3	32	2	2	67.38	0.00256	125.50	3.70	12.66
4	34	1	5	99.73	0.00536	222.43	2.50	12.80
5	34	2	3	60.81	0.00261	126.86	4.10	13.44

Melihat dari hasil iterasi untuk menentukan ketebalan *liner*, *flens* dan komposit pada bejana tekan dengan material Aluminium-Cotton Fiber, dipilihlah iterasi nomor lima dengan tebal *flens* 50 mm, tebal *liner* 4 mm dan tebal komposit 7 mm. Pemilihan tersebut dikarenakan melihat hasil dari *stress*, *strain*, *displacement*, FOS dan massa dari bejana tekan dengan ketebalan tersebut. Standar untuk FOS *pressure vessel* yaitu 3.5. Pada iterasi ke-5 nilai FOS yaitu 3.7 dan hanya itu yang memenuhi syarat dan paling dekat dengan standar FOS *pressure vessel* yaitu 3.5. Walaupun tebal *flens* sama pada iterasi 3 sampai dengan 5, namun dengan ketebalan *liner* dan komposit yang berbeda, menghasilkan nilai yang berbeda pula, selain itu tidak selamanya semakin tebal komposit akan semakin optimal.

Sedangkan untuk COPV St-Cotton, dipilihlah hasil iterasi nomor tiga dengan tebal *flens* 32 mm, tebal *liner* 2 mm dan tebal komposit 2 mm. Pemilihan tersebut dikarenakan melihat hasil dari *stress*, *strain*, *displacement*, FOS dan massa dari bejana tekan dengan ketebalan tersebut. Standar untuk FOS *pressure vessel* yaitu 3.5. Walaupun iterasi ke-5 memiliki nilai FOS lebih besar, namun apabila melihat pada massa, *stress* dan *displacement*-nya, ketebalan yang optimal yaitu pada iterasi ke-3.

Kesimpulan

Setelah melakukan simulasi pada software SolidWorks untuk mengoptimasi desain bejana tekan COPV dengan material Aluminium-Cotton Fiber yang dikenai tekanan kerja sebesar 220 bar, diperoleh massa tabung sebesar 9.93 kg dengan volume sebesar 3.19 liter. Sementara dimensi yang diperoleh di antaranya, cylinder liner memiliki panjang sebesar 500 mm, diameter dalam sebesar 92 mm dan tebal sebesar 4 mm. Flens atas dan flens bawah memiliki dimensi yang sama yaitu diameter terluar sebesar 180 mm dan tebal total sebesar 50 mm. Sementara dimensi yang diperoleh untuk lapisan komposit meliputi panjang sebesar 500 mm, diameter dalam sebesar 100 mm dan tebal sebesar 7 mm.

Sedangkan hasil dari optimasi desain bejana tekan COPV dengan material ST 37-Cotton Fiber yang dikenai tekanan kerja sebesar 220 bar, diperoleh massa tabung sebesar 12.66 kg dengan volume sebesar 3.45 liter. Sementara dimensi yang diperoleh di antaranya, cylinder liner memiliki panjang sebesar 500 mm, diameter dalam sebesar 96 mm dan tebal sebesar 2 mm. Flens atas dan flens bawah memiliki dimensi yang sama yaitu diameter terluar sebesar 180 mm dan tebal total sebesar 32

mm. Sementara dimensi yang diperoleh untuk lapisan komposit meliputi panjang sebesar 500 mm, diameter dalam sebesar 100 mm dan tebal sebesar 2 mm.

Referensi

- [1] Information on <http://www.prosesindustri.com/2015/02/definisi-compressed-natural-gas-cng.html>. 20 Oktober 2016.
- [2] Anonim. 2015. *Definisi Compressed Natural Gas (CNG)*.
- [3] Information on: <http://www.repastrepost.com/2012/04/finite-element-method-fem.html>. 21 Oktober 2016.
- [4] Bramantyo, Edo. 2012. *Finite Element Method (FEM)*.
- [5] Informasi on: <http://devengineers.co.in>. 24 Oktober 2016.
- [6] Dev Engineers. 2016. *Pressure Vessel*.
- [7] Effendi, Riki. 2014. *Optimasi Kekuatan Horizontal Vessel Menggunakan Analisis Elemen Hingga*. Jakarta: Universitas Muhammadiyah.
- [8] Funck, Ralph dan Hans-Peter Fuchs. 1996. *Development of All-Composite Compressed Natural Gas (CNG) Pressure Vessel for Vehicle Use*. Kaiserslautern: Comat Composite Materials GmbH.
- [9] Laswardi, Auriga. 2016. *Perancangan Pressure Vessel*. Serang: Sultan Agung Tirtayasa.
- [10] McLaughan, Pat, Scott Forth dan Lorie Grimes-Ledesma. 2011. *Composite Overwrapped Pressure Vessel, A Primer*. Houston: National Aeronautics and Space Administration.
- [11] Nowak, Tomasz and Jerzy Schmidt. 2013. *Non-Linear Mechanical Analysis Of The Composite Overwrapped Cylinder For Hydraulic Application*. Cracow : Cracow University Of Technology.
- [12] Information on: <http://bmi-eng.blogspot.co.id/2015/08/cng-compressed-natural-gas.html>. 20 Oktober 2016.
- [13] P.T. Berkah Mirza Insani. 2015. *Compressed Natural Gas (CNG)*.
- [14] Sulaiman S, S Borazjani dan S H Tang. 2013. *Finite element analysis of filament-wound composite pressure vessel under internal pressure*. Selangor: Universiti Putra Malaysia.
- [15] Tam, Walter. H and Paul S Griffin. 2002. *Design And Manufacture Of A Composite Overwrapped Pressure Tank Assembly*. San Francisco : American Institute Of Aeronautics And Astronautics.
- [16] Information on: <http://www.appliancedesign.com/articles/94628-boosting-performance-without-breaking-the-bank>. 8 November 2016. Wollan, Eric. 2015. *Boosting Performance without Breaking the Bank*.