

# Analisis Kekuatan Tangki CNG Ditinjau Dengan Material Logam Lapis Komposit Pada Kapal Pengangkut *Compressed Natural Gas*

Aulia Firmansah, Totok Yulianto

Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

*e-mail*: totoky@na.its.ac.id

**Abstrak**—Pada penelitian ini, dilakukan analisa perbandingan pada kekuatan *pressure vessel compressed natural gas*. *Pressure vessel* yang digunakan yaitu tipe satu dan tipe tiga, tipe satu adalah tabung menggunakan material logam yaitu Carbon Steel SA 516 Grade 70 dan Aluminium Alloy T6-6061. Pada tabung tipe tiga material menggunakan Aluminium Alloy T6-6061 dengan lapisan Komposit (Carbon Fibre – Epoxy) pada seluruh tabung (full wrapped). Sudut orientasi serat yang digunakan 54.7356° dan terdiri dari 4 lapis komposit yang membungkus aluminium. Variasi yang dilakukan pada tebal komposit yaitu 25% komposit, 50% komposit, dan 75% komposit. *Pressure vessel* mendapat perlakuan *internal pressure* sebesar 125 bar dan temperatur -30°C. Analisa dilakukan dengan dua metode yaitu dengan perhitungan manual dan *software finite element method* (NASTRAN 2010). Dari hasil perhitungan tersebut tabung tipe satu dengan material logam terbukti aman karena memenuhi dari faktor keamanan yang ditentukan tetapi *pressure vessel* sangat berat. Pada tabung tipe tiga lamina dengan komposisi 75% komposit dan 50% komposit dinyatakan aman karena memenuhi dari kriteria tegangan maksimum. Sedangkan pada komposisi 25% komposit lamina mengalami kegagalan yang disebabkan terlalu rendahnya lapisan komposit. Dari keseluruhan hasil perhitungan dan analisa didapatkan komposisi ideal *pressure vessel* yaitu 75% komposit dan 25% aluminium dari tebal keseluruhan sehingga menghasilkan tegangan yang sangat kecil dan memiliki berat yang paling ringan.

**Kata Kunci**—Bejana Tekan, Elemen Hingga, Komposit, Tegangan

## I. PENDAHULUAN

**G**AS ALAM terkompresi atau yang dikenal dengan *Compressed Natural Gas* adalah suatu bahan bakar gas yang dapat menggantikan bahan bakar minyak karena dinilai memiliki emisi gas buang yang jauh lebih bersih atau ramah lingkungan. Di Indonesia pasokan bahan bakar minyak sudah mulai menipis, hal ini disebabkan karena sumber daya minyak mentah telah masuk masa kritis, namun ladang gas alam diperkirakan cukup memiliki pasokan yang besar yang dapat mencukupi di masa-masa mendatang. Oleh karena itu, pemerintah memberikan arahan untuk beralih ke bahan bakar gas. Pendistribusian CNG dilakukan menggunakan kapal sebagai media transportasi ke daerah-daerah yang sulit dijangkau melalui sistem perpipaan dan jalur darat. Dengan tekanan sebesar 100 hingga 275 bar, tentunya penanganan CNG perlu dilakukan secara hati-hati. Tabung CNG dibuat

dengan menggunakan bahan-bahan khusus yang mampu membawa CNG dengan aman. Sejauh ini perkembangan desain tabung CNG terdapat empat tipe yaitu tipe pertama adalah seluruh tabung terbuat dari logam (baik baja atau aluminium), tipe kedua adalah tabung terbuat dari logam diperkuat dengan komposit (fiber glass atau serat karbon) sekitar tengah silinder, tipe ketiga adalah tabung terbuat dari logam diperkuat dengan komposit (fiber glass atau serat karbon) pada seluruh bagian tabung (full wrapped), dan tipe keempat adalah tabung keseluruhan terbuat dari plastik kedap gas yang dilapisi material komposit.

Pada penelitian sebelumnya dilakukan oleh Tomi Santoso yang berjudul “Desain Tangki dan Tinjauan Kekuatannya pada Kapal Pengangkut *Compressed Natural Gas* (CNG)”. Pada penelitian tersebut menganalisa tegangan yang terjadi pada *Cylindrical Vessel* dan *Hemispherical Head* dengan menggunakan perhitungan dinding tebal. Hasil yang didapatkan dari penelitian yang dilakukan dengan *hand calculation* adalah tegangan *shell* sebesar 15531,9 Psi dan tegangan pada *head* sebesar 9542,48 Psi. Sedangkan hasil yang diperoleh dengan *software finite element method* pada *shell* sebesar 15043 Psi dan pada *head* sebesar 9852,5 Psi [1].

Pada penelitian yang dilakukan oleh Riany Chandra Setiadi yang berjudul “Analisa Tegangan pada *Pressure Vessel* Horizontal dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga”, *pressure vessel* yang dibahas adalah *pressure vessel* horizontal tipe *hemispherical*. Hasil yang didapatkan dari penelitian yang dilakukan dengan *hand calculation* adalah tegangan *shell* sebesar 13544,497 Psi dan *head* sebesar 7591,316 Psi. Sedangkan hasil yang diperoleh dengan perhitungan *software finite element method* pada *shell* sebesar 14172 Psi dan pada *head* sebesar 9746,7 Psi [2].

Dari beberapa penelitian yang telah dilakukan maka tugas akhir ini melakukan perbandingan pada kekuatan *pressure vessel compressed natural gas*. *Pressure vessel* yang digunakan tipe satu yaitu seluruh tabung terbuat dari logam (baik baja atau aluminium), dan tipe tiga adalah tabung terbuat dari logam diperkuat dengan komposit (fiber glass atau serat karbon) pada seluruh bagian tabung (full wrapped).

II. URAIAN PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan langkah pengerjaan penelitian ini. Seperti halnya identifikasi masalah, *input design, material selection*, menghitung ukuran utama dan kekuatan *pressure vessel*.

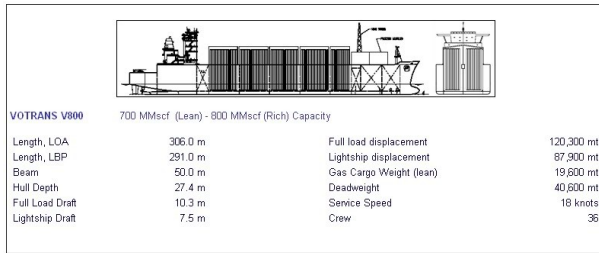
A. Identifikasi Masalah

Tabung tipe satu adalah tabung CNG terbuat dari bahan material Carbon Steel SA 516 Gr 70 dan Aluminium Alloy T6-6061, tipe tiga adalah tabung CNG terbuat dari bahan material Aluminium Alloy T6-6061 dilapisi komposit (Carbon Fiber - Epoxy) pada seluruh *body* tabung. Pada lapisan komposit tersebut dilakukan variasi mengenai tebal komposit yang akan memperkuat Aluminium Alloy:

1. Aluminium Alloy 75 % dan Komposit 25 %.
2. Aluminium Alloy 50 % dan Komposit 50 %.
3. Aluminium Alloy 25 % dan Komposit 75 %.
4. Komposit terdiri dari 4 *Layer*.

B. *Input Design*

1. Ukuran Utama Kapal Pengangkut Tabung CNG



Gambar 1 : Kapal VOTRANS V800

2. Tekanan Operasional 125 bar.
3. Temperatur Operasional -30°C.
4. Corrosion Allowance 0,125 In.
5. Joint Efficiency 0,8 [3].
6. Allowable Stress
  - Carbon Steel : 20000 Psi
  - Aluminium Alloy : 24000 Psi
7. Material Properties
  - Carbon Steel SA 516 Gr 70
    - Elastisitas Modulus : 2,90E+07 Psi
    - Poisson Ratio : 0,29
    - Shear Modulus : 1,16E+07 Psi
    - Density : 7,30E-04 lbf s<sup>2</sup>/in<sup>4</sup>
    - Tensile Strength : 70000 Psi
  - Aluminium Alloy T6-6061
    - Elastisitas Modulus : 1,00E+07 Psi
    - Poisson Ratio : 0,33
    - Shear Modulus : 3,77E+06 Psi
    - Density : 2,53E-04 lbf s<sup>2</sup>/in<sup>4</sup>
    - Tensile Strength : 48000 Psi
  - Carbon - Epoxy
    - E. Modulus 1 : 1,911E+07 Psi
    - E. Modulus 2 : 1,617E+06 Psi
    - Poisson Ratio : 0,27
    - Shear Modulus : 8,085E+05 Psi
    - Density : 1,12E-04 lbf s<sup>2</sup>/in<sup>4</sup>

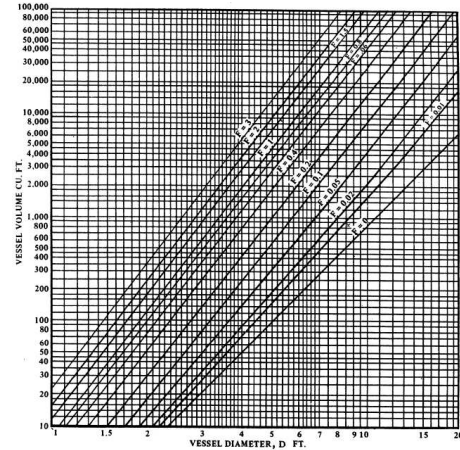
- Derajat Orientasi : (±) 54,7356° [4]

C. Perhitungan Dimensi *Pressure Vessel*

Langkah berikutnya adalah menghitung dimensi *pressure vessel* dengan standar ASME dan *Pressure Vessel Handbook*. Berikut menghitung dimensi *pressure vessel*.

1. F atau optimum *L/D ratio*

$$F = \frac{P}{CSE} \tag{1}$$



Gambar 2: *Chart For Determining The Optimum Vessel Size*

2. Tebal *Pressure Vessel*

Standar *American Society Of Mechanical Engineers* [5].

$$t_{shell} = \frac{PR_i}{SE - 0.6P} \tag{2}$$

$$t_{head} = \frac{PL}{2SE - 0.2P} \tag{3}$$

3. Panjang *Pressure Vessel*

$$L = \frac{4V}{\pi D^2} \tag{4}$$

4. Diameter Luar (*Do*) *Pressure Vessel*

$$Do = Di + 2t_{shell} \tag{5}$$

D. Perhitungan Kekuatan *Pressure Vessel*

Perhitungan ini menggunakan dua metode yaitu dengan perhitungan manual dan menggunakan *software finite element method* atau NASTAN 2010.

1. Tegangan pada *Shell*

- Tegangan circumferential

$$\sigma_{hoop} = \frac{P}{a^2 - 1} \left( 1 + \frac{Ro^2}{r^2} \right) \tag{6}$$

- Tegangan longitudinal

$$\sigma_{long} = \frac{P}{a^2 - 1} \tag{7}$$

- Tegangan radial

$$\sigma_{rad} = \frac{P}{a^2 - 1} \left( 1 - \frac{Ro^2}{r^2} \right) \tag{8}$$

- Tegangan Ekuivalen Von Mises pada *Shell*

$$\sigma_e = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{[(\sigma_{hoop} - \sigma_{long})^2 + (\sigma_{long} - \sigma_{rad})^2 + (\sigma_{rad} - \sigma_{hoop})^2]} \quad (9)$$

2. Tegangan pada Head

- Tegangan tangensial

$$\sigma_t = \sigma_m = \frac{P}{a^3 - 1} \left[ 1 + 0.5 \left( \frac{Ro^3}{r^3} \right) \right] \quad (10)$$

- Tegangan radial

$$\sigma_r = \frac{P}{a^3 - 1} \left[ 1 - \left( \frac{Ro^3}{r^3} \right) \right] \quad (11)$$

- Tegangan Ekuivalen Von Mises pada Head

$$\sigma_e = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{[(\sigma_t - \sigma_m)^2 + (\sigma_m - \sigma_r)^2 + (\sigma_r - \sigma_t)^2]} \quad (12)$$

Keterangan :

- F* = Optimum L/D ratio
  - P* = Pressure Design [Psi].
  - C* = Corrosion Allowance [in].
  - S* = Allowable Stress [Psi].
  - E* = Efisiensi sambungan.
  - t* = Tebal pelat minimum [in].
  - σ<sub>long</sub>* = Tegangan kearah memanjang *pressure vessel* [Psi].
  - σ<sub>hoop</sub>* = Tegangan kearah melingkar *pressure vessel* [Psi].
  - σ<sub>rad</sub>* = Tegangan kearah tebal *pressure vessel* [Psi].
  - Ro* = Jari-jari luar [in].
  - Ri* = Jari-jari dalam [in].
  - a* = Perbandingan jari-jari luar terhadap jari-jari dalam
- $$= \frac{Ro}{Ri}$$

E. Safety Factor

Faktor keamanan merupakan hal yang terpenting dalam menghitung kekuatan *pressure vessel*, hal ini dikarenakan agar *pressure vessel* tidak terjadi kebocoran dan meledak. Faktor keamanan merupakan perbandingan antara *ultimate tensile strength* material dan tegangan ekuivalen von mises.

$$N = \frac{Su}{\sigma_e} \geq 2,14 \quad (13)$$

Keterangan :

- Su* = Ultimate Tensile Strength
- σ<sub>e</sub>* = Tegangan Von Mises [Psi].

F. Kekuatan Lamina Komposit

Lamina komposit yang bertujuan untuk memperkuat aluminium juga harus diperhatikan kekuatannya. Apakah lamina yang dibentuk dengan sudut 54.7356<sup>o</sup> aman atau tidak dapat dilihat pada ketiga syarat teori tegangan maksimum.

$$\text{Syarat 1 : } \sigma_x < \frac{X}{\cos^2 \theta}$$

$$\text{Syarat 2 : } \sigma_x < \frac{Y}{\sin^2 \theta}$$

$$\text{Syarat 3 : } \sigma_x < \frac{S}{\sin \theta \cos \theta}$$

Keterangan :

- X* = Kekuatan Tarik arah longitudinal = 323400 Psi
- Y* = Kekuatan Tarik arah transversal = 9555 Psi
- S* = Kekuatan Geser = 10290 Psi
- σ<sub>l</sub>* = Tegangan aplikasi arah longitudinal
- σ<sub>2</sub>* = Tegangan aplikasi arah transversal
- τ<sub>12</sub>* = Tegangan aplikasi geser
- Sin<sup>2</sup> θ* = 0,6667
- Cos<sup>2</sup> θ* = 0,3333
- Sin θ x Cos θ* = 0,4714
- Syarat 1 = *σ<sub>x</sub>* < 970199,5059 Psi
- Syarat 2 = *σ<sub>x</sub>* < 13230,0034 Psi
- Syarat 3 = *σ<sub>x</sub>* < 21828,3836 Psi

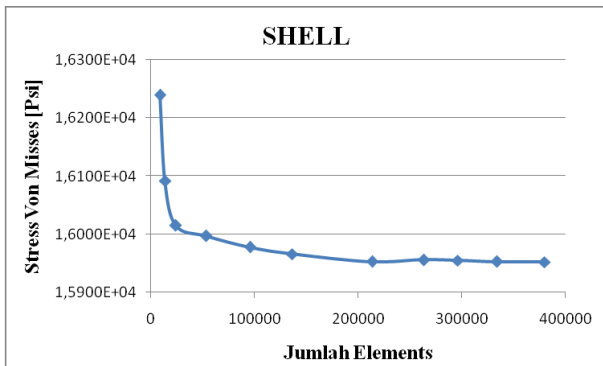
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan mengenai dimensi, kekuatan *pressure vessel* tipe satu dan tipe tiga. Material yang digunakan yaitu Carbon Steel SA 516 Gr 70, Alluminium Alloy T6-6061, dan Aluminium Alloy lapis komposit (Carbon – Epoxy). Dari ketiga material tersebut memiliki kekuatan dan faktor keamanan yang berbeda. Tabung tipe satu dilakukan konvergensi elemen yang bertujuan untuk mendapatkan hasil yang mendekati sebenarnya dan jumlah elemen tersebut digunakan dalam variasi berikutnya. Selain variasi dari ketiga material tersebut, dilakukan pula variasi mengenai *constraint* dan dimensi.

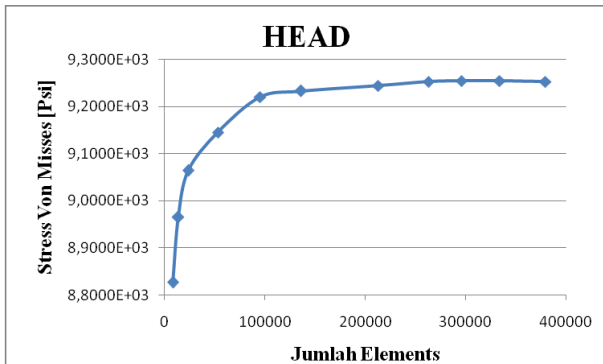
A. Carbon Steel SA 516 Grade 70

Dari proses iterasi dan interpolasi yang dilakukan maka didapatkan harga *F* sebesar 0,9971. Merujuk ke (2) sampai (5) untuk menghitung dimensi *pressure vessel* dengan material carbon steel maka didapatkan diameter dalam (*Di*) sebesar 3,5643 *ft* = 42,7715 *In* dengan jumlah tabung sebanyak 4800 tabung atau 200 module. Tebal *shell* sebesar 2,881 *In*, tebal *head* sebesar 1,3496 *In*, panjang sebesar 1522,9611 *In* dan diameter luar sebesar 48,5335 *In*.

Untuk perhitungan manual kekuatan *pressure vessel* merujuk ke (6) sampai (12), maka didapatkan kekuatan *shell* *σ<sub>hoop</sub>* untuk jari-jari dalam 15863,4998 Psi dan untuk jari-jari luar 13869,2308 Psi. *σ<sub>long</sub>* didapatkan sebesar 6934,6154 Psi dan *σ<sub>rad</sub>* untuk jari-jari dalam -1994,2690 Psi dan untuk jari-jari luar 0 Psi. Dari data tersebut dapat menghitung tegangan von mises yaitu untuk jari-jari dalam sebesar 15465,2814 Psi dan untuk jari-jari luar sebesar 12011,1062 Psi. Sedangkan untuk kekuatan *head* *σ<sub>tangensial</sub>* untuk jari-jari dalam 7485,5103 Psi dan untuk jari-jari luar 6488,3758 Psi dan *σ<sub>rad</sub>* untuk jari-jari dalam -1994,2690 Psi dan untuk jari-jari dalam 0 Psi. Dari data tersebut dapat menghitung tegangan von mises yaitu untuk jari-jari dalam sebesar 9479,7793 Psi dan untuk jari-jari luar sebesar 6488,3758 Psi.

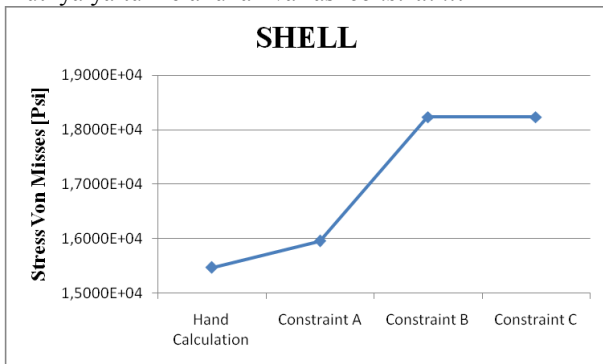


Grafik 1 : Konvergensi pada Shell

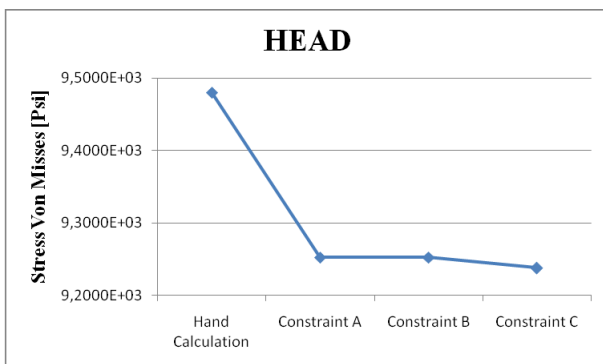


Grafik 2 : Konvergensi pada Head

Hasil yang dipakai sebagai acuan yaitu pada 263135 elemen. *Maximum stress* pada shell 1,5956E+4 Psi pada node 2291 dan head 9,2525E+3 Psi pada node 728. Langkah berikutnya yaitu melakukan variasi *constraint*.



Grafik 3 : Perbandingan Stress Hand Calculation dan 3 Constraints



Grafik 4 : Perbandingan Stress Hand Calculation dan 3 Constraints

Dari grafik 3 dan 4 dapat dilihat bahwa *constraint A* memiliki tegangan yang sangat kecil daripada *constraint B* dan

*constraint C*. Dan *constraint A* yang mendekati dengan perhitungan manual.

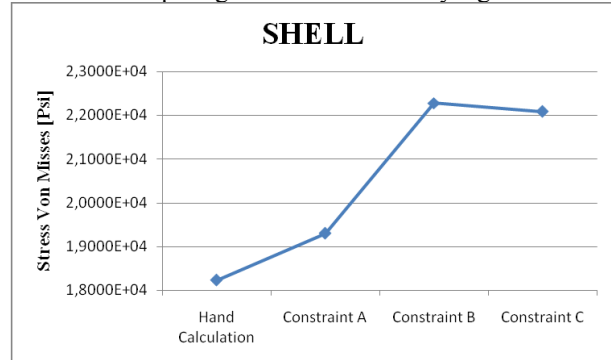
Setelah didapatkan nilai tegangan von mises maka langkah berikutnya menghitung faktor keamanan untuk mengetahui apakah *pressure vessel* aman atau gagal. Faktor keamanan pada perhitungan manual adalah *shell* sebesar 4,5263 dan *head* sebesar 7,3841, sedangkan pada *software finite element method* dihasilkan *shell* sebesar 4,3871 dan *head* sebesar 7,5655. Dari hasil faktor keamanan tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa *pressure vessel* aman karena *safety factor* lebih dari 2,14.

B. Aluminium Alloy T6-6061

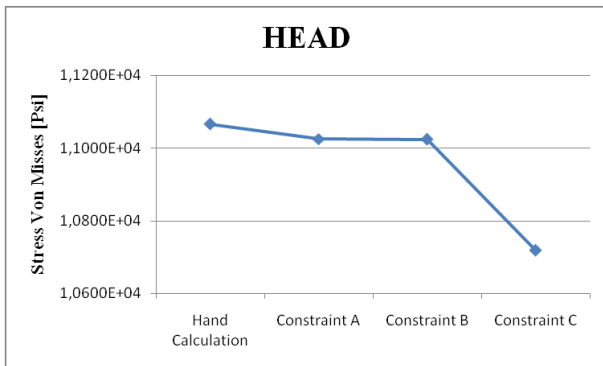
Aluminium Alloy T6-6061 merupakan variasi material berikutnya. Dari proses iterasi dan interpolasi yang dilakukan maka didapatkan harga F sebesar 0,8309. Merujuk ke (2) sampai (5) untuk menghitung dimensi *pressure vessel* dengan material aluminium alloy maka didapatkan diameter dalam (Di) sebesar 3,8823 ft = 45,8681 In dengan jumlah tabung sebanyak 4320 tabung atau 180 module. Tebal *shell* sebesar 2,5404 In, tebal *head* sebesar 1,2036 In, panjang sebesar 1471,4058 In dan diameter luar sebesar 50,9490 In.

Untuk perhitungan manual kekuatan *pressure vessel* merujuk ke (6) sampai (12), maka didapatkan untuk kekuatan *shell* hoop untuk jari-jari dalam 19052,9019 Psi dan untuk jari-jari luar 17058,6329 Psi. σlong didapatkan sebesar 8529,3165 Psi dan σrad untuk jari-jari dalam -1994,2690 Psi dan untuk jari-jari dalam 0 Psi. Dari data tersebut dapat menghitung tegangan von mises yaitu untuk jari-jari dalam sebesar 18227,3847 Psi dan untuk jari-jari luar sebesar 14773,2095 Psi. Sedangkan untuk kekuatan *head* σtangensial untuk jari-jari dalam 9071,4270 Psi dan untuk jari-jari luar 8074,2926 Psi dan σrad untuk jari-jari dalam -1994,2690 Psi dan untuk jari-jari dalam 0 Psi. Dari data tersebut dapat menghitung tegangan von mises yaitu untuk jari-jari dalam sebesar 11065,6960 Psi dan untuk jari-jari luar sebesar 8074,2926 Psi. Perhitungan menggunakan *software finite element method* dengan NASTRAN 2010.

*Maximum stress* pada *shell* 1,9298E+4 Psi dan *head* 1,1025E+4 Psi. Langkah berikutnya yaitu melakukan variasi *constraint*. Terdapat tiga variasi *constraint* yang dilakukan.



Grafik 5 : Perbandingan Stress Hand Calculation dan 3 Constraints

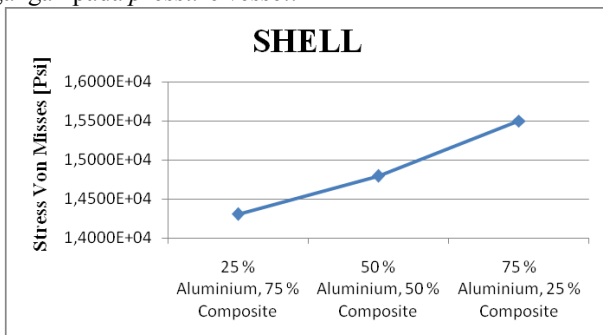


Grafik 6 : Perbandingan Stress Hand Calculation dan 3 Constraints

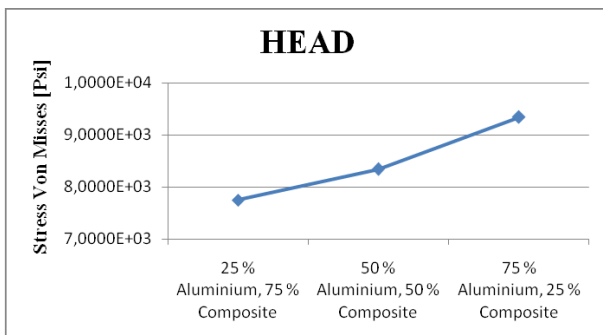
Dari grafik 5 dan 6 dapat dilihat bahwa *constraint A* memiliki tegangan yang sangat kecil. Faktor keamanan pada perhitungan manual adalah *shell* sebesar 2,6334 dan *head* sebesar 4,3377, sedangkan pada *software finite element method* dihasilkan *shell* sebesar 2,4873 dan *head* sebesar 4,3537. Dari hasil faktor keamanan tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa *pressure vessel* aman.

C. Aluminium Alloy T6-6061 Lapis Komposit

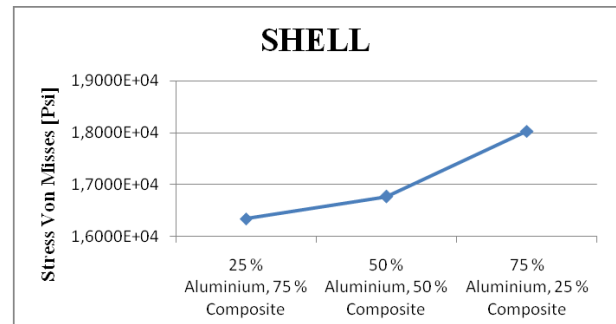
Untuk variasi tebal aluminium alloy 75% dan tebal komposit 25% dengan tebal total 2,5404 In terbagi atas tebal aluminium alloy 1,9053 In dan tebal tiap lapisan komposit 0,1588 In. Untuk tebal aluminium alloy 50% dan tebal komposit 50% terbagi atas tebal aluminium alloy 1,2702 In dan tebal tiap lapisan komposit 0,3176 In. Untuk tebal aluminium alloy 25% dan tebal komposit 75% terbagi atas tebal aluminium alloy 0,6351 In dan tebal tiap lapisan komposit 0,4763 In. Dari grafik 7 sampai 12 disimpulkan bahwa semakin besar komposisi komposit maka semakin kecil pula tegangan pada *pressure vessel*.



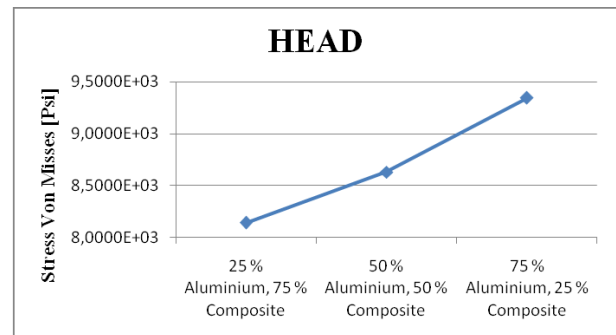
Grafik 7 : Perbandingan Variasi Tebal pada Shell (Constraint A)



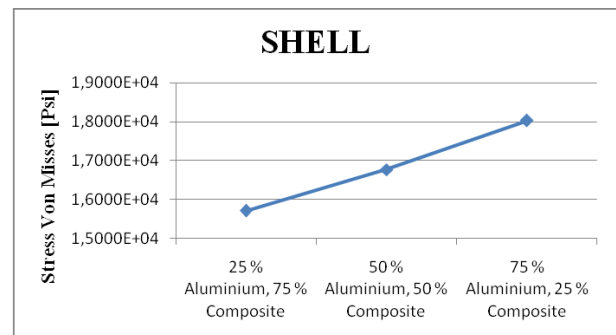
Grafik 8 : Perbandingan Variasi Tebal pada Head (Constraint A)



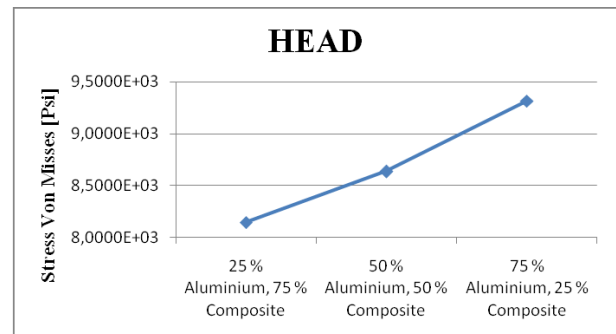
Grafik 9 : Perbandingan Variasi Tebal pada Shell (Constraint B)



Grafik 10 : Perbandingan Variasi Tebal pada Head (Constraint B)



Grafik 11 : Perbandingan Variasi Tebal pada Shell (Constraint C)

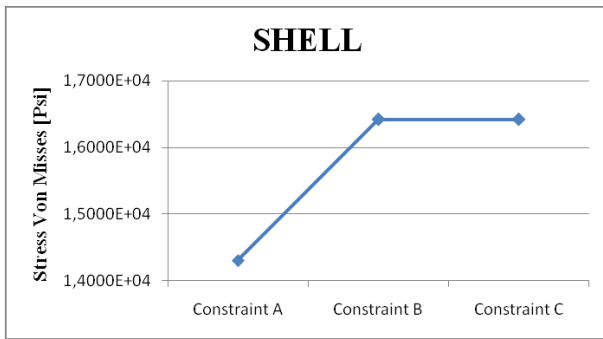


Grafik 12 : Perbandingan Variasi Tebal pada Head (Constraint C)

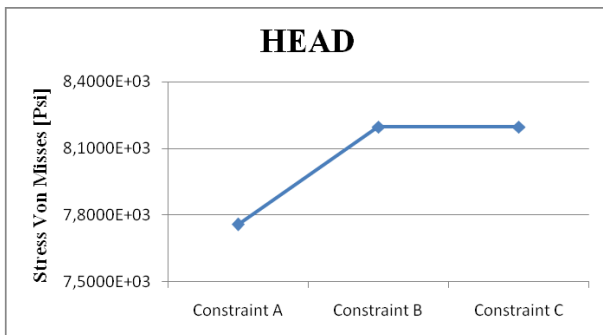
D. Variasi Dimensi

Pada variasi dimensi satu, dengan panjang 1557,2067 In, diameter dalam 23,6456 In, tebal 2,6193 In, terbagi atas tebal aluminium alloy 0,6548 In dan tebal tiap lapis komposit 0,4911 In. Dan dimensi dua dengan panjang 1256,2698 In, diameter dalam 21,0607 In, tebal 2,3329 In terbagi atas tebal aluminium alloy 0,5832 In dan tebal tiap lapis komposit 0,4374 In.

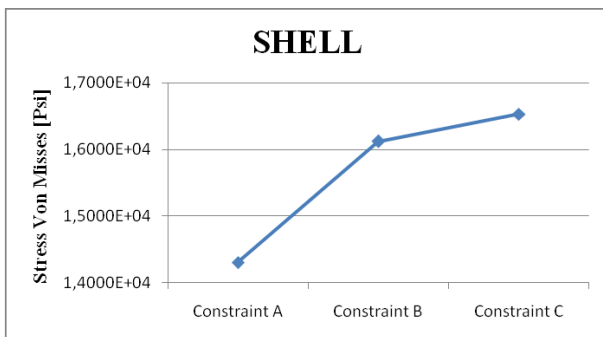




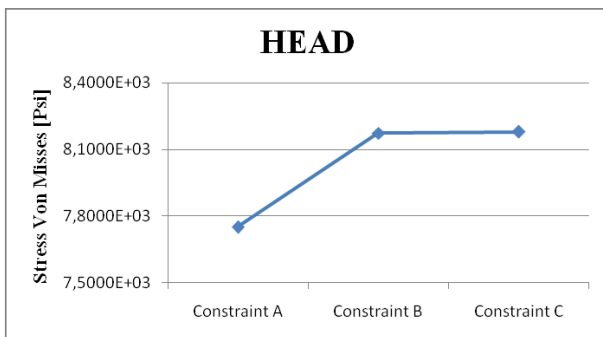
Grafik 13 : Perbandingan *Max. Stress Shell* pada Variasi Dimensi 1



Grafik 14 : Perbandingan *Max. Stress Head* pada Variasi Dimensi 1



Grafik 15 : Perbandingan *Max. Stress Shell* pada Variasi Dimensi 2



Grafik 16 : Perbandingan *Max. Stress Head* pada Variasi Dimensi 2

Dari variasi yang dilakukan disimpulkan bahwa pada dimensi utama dan *constraint A* yang memiliki tegangan terkecil dan komposisi tebal yang ideal adalah 25% logam dan 75% komposit karena menimbulkan tegangan yang terkecil dan berat yang sangat ringan

**E. Kekuatan Lamina**

Komposit Lamina dengan komposisi 75% komposit dan 50% komposit dinyatakan aman, sedangkan pada komposit 25% mengalami kerusakan, hal ini disebabkan karena

kandungan komposit yang sangat kecil sehingga *stress* besar.

Tabel 1 : *Longitudinal Stress*

Aluminium Alloy T6-6061 Lapis Komposit	Longitudinal Stress ( $\sigma_x$ )		
L = 37.3737 m ; Ri = 0.5825 m ; T = 0.0645 m	Shell [Psi]	Head [Psi]	
	Constraint A		
	25% Aluminium, 75% Composite	1.215E+04	8.241E+03
50% Aluminium, 50% Composite	1.284E+04	8.814E+03	
75% Aluminium, 25% Composite	1.390E+04	9.897E+03	
Constraint B	Shell [Psi]	Head [Psi]	
	25% Aluminium, 75% Composite	1.215E+04	8.275E+03
	50% Aluminium, 50% Composite	1.284E+04	8.814E+03
75% Aluminium, 25% Composite	1.390E+04	9.897E+03	
Constraint C	Shell [Psi]	Head [Psi]	
	25% Aluminium, 75% Composite	1.200E+04	8.281E+03
	50% Aluminium, 50% Composite	1.268E+04	8.797E+03
75% Aluminium, 25% Composite	1.364E+04	9.878E+03	
Variasi Dimensi 1 L = 39.5531 m ; Ri = 0.6006 m ; T = 0.0665 m	Shell [Psi]	Head [Psi]	
	Constraint A	1.216E+04	8.280E+03
	Constraint B	1.216E+04	8.338E+03
Constraint C	1.201E+04	8.339E+03	
Variasi Dimensi 2 L = 31.9093 m ; Ri = 0.5349 m ; T = 0.0593 m	Shell [Psi]	Head [Psi]	
	Constraint A	1.215E+04	8.241E+03
	Constraint B	1.215E+04	8.312E+03
Constraint C	1.201E+04	8.318E+03	

**IV. KESIMPULAN**

Carbon Steel SA 516 Gr 70 dan Aluminium Alloy T6-6061

*Pressure vessel* dengan menggunakan material carbon steel dan aluminium alloy aman karena memiliki *safety factor* diatas 2,14. Carbon Steel terbukti memiliki kekuatan *pressure vessel* yang baik karena memiliki *tensile strength* yang tinggi dari aluminium.

Aluminium Alloy T6-6061 Lapis Komposit

Aluminium alloy dengan komposisi komposit 75% dan 50% dengan sudut orientasi serat 54.7356<sup>0</sup> dinyatakan aman karena memenuhi kriteria tegangan maksimum. Kekuatan komposit dipengaruhi oleh tebal *layer*, jumlah *layer*, dan sudut orientasi.

Variasi Dimensi dan Constraint

Variasi dimensi tidak terlalu signifikan pada kekuatan *pressure vessel*. Perbedaan dimensi hanya mempengaruhi jumlah module pada pengangkutan tabung. Variasi *constraint* yang baik yaitu pada sambungan antara *head* dengan *shell*

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Santoso, Tomi. (2009). Desain Tabung Dan Tinjauan Kekuatannya Pada Kapal Pengangkut *Compressed Natural Gas* (CNG). Tugas Akhir Jurusan Teknik Perkapalan ITS.
- [2] Setiadi, Riany Chandra ST. (2008). Analisa Tegangan Pada *Pressure Vessel* Horizontal Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga. Tugas Akhir Jurusan Teknik Mesin Petra.
- [3] Megyesy, Eugene F. (2012). *Pressure Vessel Handbook* [14<sup>th</sup> Edition]. Tulsa : Pressure Vessel Publishing, Inc.
- [4] Vasiliev, Valery V. (2009). Composite *Pressure Vessel*. United States of America : Bull Ridge.
- [5] The American Society Of Mechanical Engineers. (2007). *ASME Boiler And Pressure Vessel Code: Section VIII Rules For Construction Of Pressure Vessels*. New York : Three Park Avenue.