

METODE PEMILIHAN MATERIAL TABUNG CNG MENGUNAKAN METODE PERFORMACE INDEXES

Rosid

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas
Singaperbangsa Karawang, Jl HS Ronggo Waluyo Teluk
Jambe Karawang Jawa Barat
rosid@staff.unsika.ac.id

Bangkit Indriyana

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas
Singaperbangsa Karawang, Jl HS Ronggo Waluyo Teluk
Jambe Karawang Jawa Barat
bangkitindriyana@staff.unsika.ac.id

Viktor Naubnome

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas
Singaperbangsa Karawang, Jl HS Ronggo Waluyo Teluk
Jambe Karawang Jawa Barat
viktornaubnome@ft.unsika.ac.id

Abstract—The compressed natural gas (CNG) cylinder pressure vessel become important in NGV fuel driving system because demand in CNG base as increase. The selection of material should be made effectively to reduce cost and to improve properties of the vessel. The choice of material cannot be made independently of the choice of process by which the material is to be formed, assembled, finished, and otherwise treated. Cost enters, both in the choice of material and in the way the material is processed. Fully metal CNG pressure vessel is cheap but it is the heaviest pressure vessel compare to other materials. Composite has become an alternative material for CNG pressure vessel since it properties can be modified based on market needed. In this paper, the process of material selection for CNG pressure vessel using performance indexes have been analyzed. The result showing that material AA 6061-T6/S-Glass full wrapped has the highest Performance Indexes point

Keyword: *compressed natural gas, composite, material selection, performance indexes.*

I. INTRODUCTION

Gas alam (*natural gas*) merupakan salah satu bahan bakar fosil yang melimpah di dunia. Gas alam diproduksi dari sumur gas atau bersamaan dengan proses pengolahan minyak mentah (*crude oil*). Kegunaan utama gas alam di berbagai negara saat ini adalah sebagai pembangkit listrik dan sumber energi untuk berbagai proses industri [1].

CNG merupakan salah satu sumber energi alternatif yang disimpan dalam tekanan tinggi dan mulai banyak digunakan sebagai bahan bakar kendaraan. CNG dapat mengurangi emisi

karbon dioksida (CO₂) hingga mencapai 30%, emisi karbon monoksida (CO) hingga 90% dan nitrogen oksida hingga 95% [2]. Alasan rendahnya emisi gas buang inilah yang menyebabkan CNG mulai digunakan sebagai bahan bakar kendaraan. Adanya tuntutan di beberapa negara tentang penggunaan energi alternatif dan pengurangan polusi di udara menyebabkan tingginya ketertarikan akan penggunaan gas alam dalam bidang transportasi. Perbandingan emisi gas yang dihasilkan dari berbagai bahan bakar, termasuk gas alam dapat dilihat pada tabel di bawah ini [3]:

Tabel I. Tingkat Emisi Dari Berbagai Bahan Bakar (*Pounds Per Billion Btu Of Energy Input*)

Polutan	Gas Alam	Minyak	Batu Bara
Karbon dioksida	117,000	164,000	208,000
Karbon monoksida	40	33	208
Nitrogen oksida	92	448	457
Sulfur dioksida	1	11222	2591
Partikulat	7	4	2744
Merkuri	0.000	0.007	0.016

Kandungan gas alam yang digunakan dalam CNG bisa berbeda antar satu wilayah dengan wilayah lainnya. Adanya perbedaan ini kemungkinan akibat pengaruh *processing* atau transmisi dari gas alam tersebut [4]. Namun, secara umum gas alam memiliki kandungan metana (CH₄) berkisar antara 80 sampai 95%. Selain itu, gas alam juga mengandung senyawa hidrokarbon lainnya, seperti etana dan propana serta gas-gas seperti nitrogen, helium, karbon dioksida *hydrogen sulfide* (H₂S) dan uap air. Pada kondisi murni, gas alam bersifat tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau (*odorless*). Untuk alasan keamanan, gas alam ditambahkan suatu zat pembau,

yaitu *Mercaptan*, agar dapat mendeteksi adanya kebocoran pada gas alam. Meskipun peranan dari gas alam ini masih belum bisa menggantikan peranan bahan bakar minyak sebagai sumber utama bahan bakar, namun pengembangan terus menerus dan semakin banyaknya stasiun bahan bakar gas diharapkan dapat mengakomodasi kebutuhan akan bahan bakar ini [5].

Tabel 2 Komposisi Kimia Yang Terkandung Dalam Gas Alam

Senyawa dalam CNG	Rumus Kimia	% CNG content
<i>Methane</i>	CH ₄	70-90%
<i>Ethane</i>	C ₂ H ₆	0-20%
<i>Propane</i>	C ₃ H ₈	0-20%
<i>Butane</i>	C ₄ H ₁₀	0-20%
<i>Carbon Dioxide</i>	CO ₂	0-8%
<i>Oxygen</i>	O ₂	0-0.2%
<i>Nitrogen</i>	N ₂	0-5%
<i>Hydrogen Sulphide</i>	H ₂ S	0-5%
<i>Rare Gas</i>	A,He,Ne,Xe	Trace

Metana berada dalam fasa gas pada suhu di atas -161°C [1]. Metana merupakan gas yang sangat ringan dengan nilai *specific gravity* sebesar 0.55. Karena sifatnya yang sangat ringan, gas metana dapat terdispersi di dalam udara. Sifat fisik dari metana sering dibandingkan dengan bahan bakar lainnya. *Specific gravity* untuk gas alam secara umum bernilai 0.6.

A. Tangki CNG

Untuk digunakan sebagai bahan bakar pada kendaraan, gas alam harus dikompresi (atau dicairkan) untuk mengurangi kebutuhan storage volume. Besarnya tekanan pada CNG umumnya 2400, 3000 dan 3600 psi atau 165, 206 dan 248 bar. Pada tekanan dan suhu atmosfer, gas alam berada pada fasa gas dan memiliki densitas yang rendah. Gas alam disimpan pada kondisi yang dikompresi dengan tekanan yang tinggi pada suatu *pressure vessel* karena nilai *volumetric energy density* (Joule/m³) yang rendah.

Meskipun berbagai jenis kendaraan dapat menggunakan gas alam sebagai bahan bakar, baik dalam bentuk gas maupun *liquid*, kebanyakan kendaraan menggunakan fasa gas yang telah dikompresi dengan tekanan sekitar 200 bar (2.06×10^7 Pa) [5]. Silinder atau tangki CNG memiliki ketebalan dinding yang lebih tebal daripada tangki bahan bakar minyak sehingga jumlah bahan bakar yang dapat tersimpan dalam tangki CNG menjadi lebih kecil. Skema desain tangki untuk CNG dapat dilihat pada gambar di bawah ini:

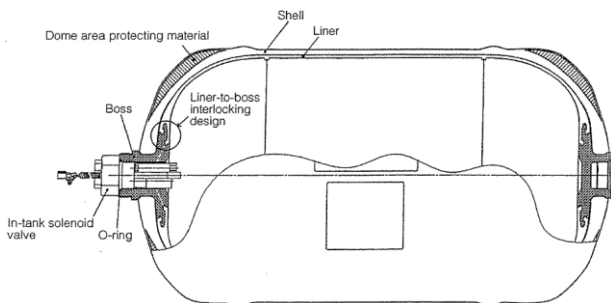


Fig 1 Skema desain tangki CNG [7]

Bejana bertekanan (*pressure vessel*) untuk CNG dibuat di bawah standar internasional seperti ISO 11439:2000, ANSI/IAS NGV 2-1998, ISO 9809-1/1999, ASME Section VIII Div (1) dan lain-lain. Standar-standar ini digunakan agar memenuhi syarat suatu bejana bertekanan digunakan sebagai tangki penyimpanan CNG. Persamaan dari berbagai standar tersebut adalah adanya mekanisme “*leakage-before-break*” pada kondisi operasi yang normal. Hal ini dilakukan agar tangki dapat tetap beroperasi sesuai umur desainnya dan hanya dapat *failure* jika terjadi kebocoran (*leakage*). Jika terjadi kebocoran pada tangki CNG, kemungkinan penyebabnya adalah akibat penjalaran retak fatik [8]. Berbagai pengujian harus dilakukan sebelum tangki CNG ini dapat digunakan.

II. METHOD

A. Pembentukan Tabung CNG

Tabung CNG umumnya dibentuk melalui beberapa proses, yaitu seperti pada gambar 1 dan 2 dibawah ini[4].

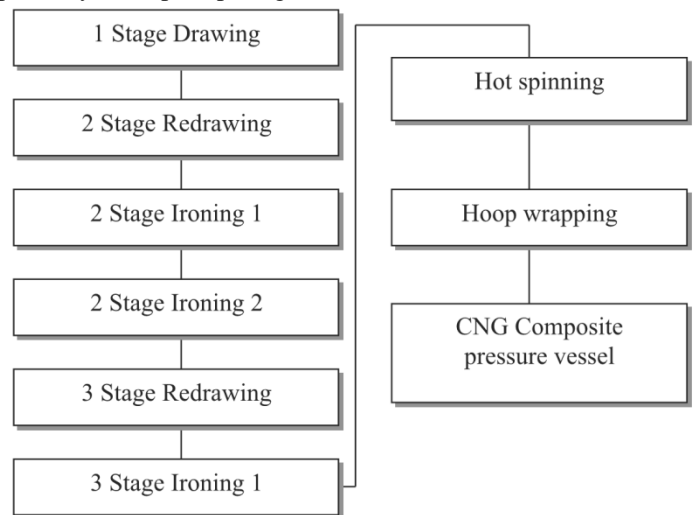


Fig 2 Alur proses produksi tabung CNG [4]

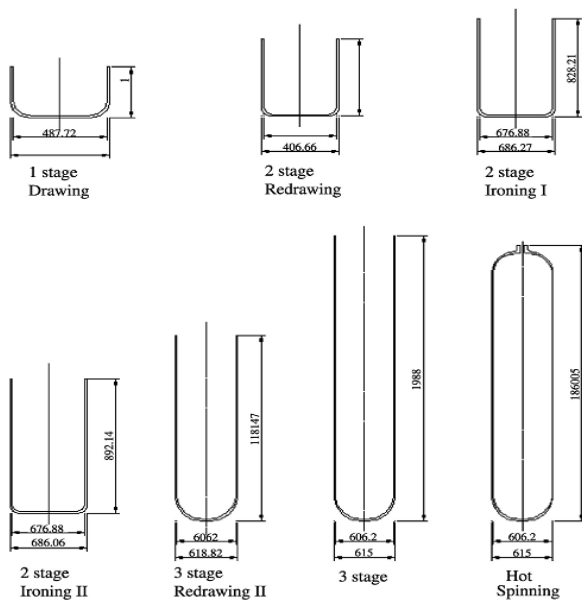


Fig 3 Ilustrasi proses produksi tabung CNG [4]

B. Cara Kerja Tabung CNG

Berikut ini merupakan cara kerja tabung CNG [7,8]:

1. CNG dimasukkan ke dalam silinder tekanan tinggi (200-300 bar/3600-3800 Psi) melalui suatu saluran penyaringan gas.
2. Ketika mesin membutuhkan energi, CNG meninggalkan silinder penyimpanan dan melewati katup *shut-off*.
3. CNG memasuki ruang mesin melalui *stainless steel line* bertekanan tinggi yang berfungsi sebagai regulator.
4. Regulator ini menerima CNG dan mengurangi tekanan dari 3.600 psi ke tekanan atmosfer.
5. CNG bercampur dengan udara dan mengalir melalui karburator atau sistem injeksi bahan bakar dan memasuki ruang pembakaran mesin.

C. Pengujian Tabung CNG

Pengujian-pengujian yang dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat dasar tabung CNG antara lain:

1. *Hydraulic pressure cycle testing*
Pengujian dengan menggunakan air dan mekanisme perpatahan yang terjadi harus *leaking*, bukan *rupture*.
2. *Hydraulic pressure cycle testing*
Pengujian dengan menggunakan air dan mekanisme perpatahan yang terjadi harus *leaking*, bukan *rupture*.
3. *Low temperature pressure cycling*
Pengujian tekanan hidrolik yang dilakukan pada suhu -40°F (-40°C) lalu dipanaskan hingga suhu 149°F (65°C) dan kembali dilakukan pengujian tekanan.
4. *Drop impact testing*
Tangki dijatuhkan dari ketinggian 1.8 m dengan posisi horizontal, vertikal dan pada sudut 45°.
5. *Bonfire test of hydrogen tank*

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan gas dapat keluar sebelum silinder mengalami *rupture* ketika terekspos panas atau api.

6. *Environmental exposure test*

Pengujian ini biasanya dilakukan terhadap tangki tipe 3 yang diletakkan di dalam *salt bath* dan terekspos larutan dengan berbagai konsentrasi. Ketika terekspos, tangki juga diberi tekanan dengan fluida sebagai simulasi *filling* dan *emptying*.

7. *CNG permeation test*

Menghitung besarnya CNG yang mengalami permeasi di dalam *sealed chamber*.

8. *Hydraulic crush test*

Pengujian biasanya dilakukan untuk tangki CNG tipe 3 yang menggunakan *hydraulic ram* untuk percobaan membenturkan (*crush*) tangki bertekanan. Pengujian diakhiri pada beban 150,000 kgf (1.47 MN) ketika dinding beton pada kedua sisi dari *ram* retak atau hancur.

Tangki untuk CNG berbentuk silinder pada bagian dinding serta bentuk *dome* pada kedua ujungnya. Silinder CNG dibuat dengan dinding yang tebal dari material yang memiliki kekuatan yang tinggi seperti baja, aluminium atau komposit yang mampu menahan gaya bertekanan tinggi di dalam tangki. Material-material tersebut didesain agar memiliki ketahanan terhadap tekanan tinggi, di atas tekanan *service* yang normal. Biasanya material-material ini didesain dengan *safety factor* lebih besar dari 2 [9]. Sampai dengan saat ini, ada empat jenis material yang digunakan sebagai tangki CNG, yaitu: Tipe 1, 2, 3 dan 4 dimana tipe 1 merupakan material yang tersusun atas logam sedangkan tipe 2,3 dan 4 menggunakan material komposit yang lebih ringan sekaligus mengurangi proporsi dari logam itu sendiri [10-11]. Penggunaan material logam dan atau komposit sebagai tangki CNG sangat memperhatikan proporsi tekanan yang dapat ditanggung oleh masing-masing material. Silinder komposit yang digunakan biasanya tersusun atas serat dengan kekuatan tinggi yang digulung (*wrapped*) di sekitar *cylinder liner* dan diikat dengan menggunakan resin seperti epoksi. Kombinasi antar serat dan resin ini dapat menghasilkan sifat yang sangat kuat.

III. RESULT AND DISCUSSION

Pressure vessel atau bejana bertekanan (dalam hal ini adalah tangki CNG), didesain untuk menahan gas atau *liquid* pada tekanan yang jauh berbeda dengan tekanan normal. Berbagai bentuk tangki yang selama ini digunakan sebagai bejana bertekanan antara lain *spheres*, *cylinders* dan *cones*. Namun, karena sulitnya manufaktur bentuk lingkaran atau *sphere*, maka desain dengan bentuk silinder lebih banyak digunakan. Besarnya tegangan pada dinding tangki yang tipis dapat didapat dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{pR}{2t} \quad (1)$$

Dimana:

- t : ketebalan dinding
 p : tekanan

Untuk mengurangi biaya dan massa, dinding bejana dibuat tipis.

memastikan keamanan dari tangki CNG. Untuk memastikan keamanan, retak dibuat cukup besar sehingga dapat menembus permukaan dalam dan luar ketika bejana berada dalam kondisi stabil sehingga kita dapat mendeteksi adanya kebocoran dan melakukan langkah antisipasi. Oleh karena itu, kondisi ini hanya akan tercapai apabila *working stress* selalu kurang dari sama dengan *stress* (σ_f).

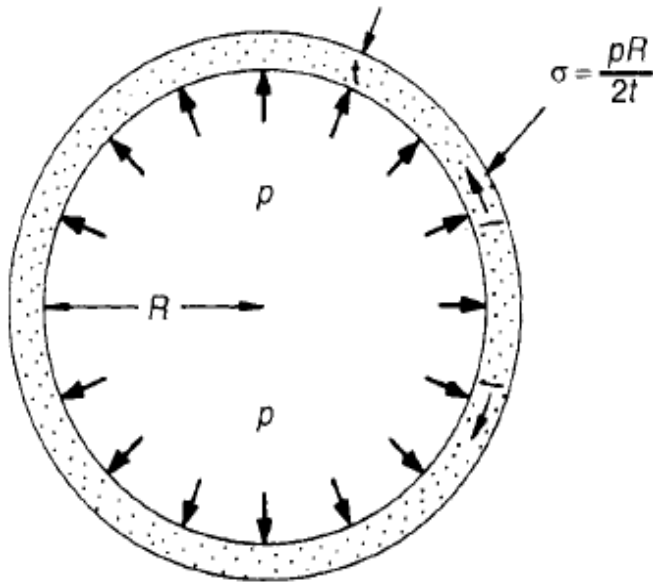


Fig 4 Skema dinding bejana CNG

$$\sigma = \frac{CK_1c}{\sqrt{\pi t/2}} \quad (2)$$

Diameter dari retak yang dapat menyebabkan kebocoran harus sama dengan t . namun, kita tetap harus memperhatikan constrain bahwa *working stress* harus selalu kurang dari sama dengan σ_f . Ini berarti:

$$t \geq \frac{pR}{2\sigma_f} \quad (3)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (2) dan (3) akan menghasilkan (dimana $\sigma = \sigma_f$):

$$\frac{\pi p R}{4} = \left[\frac{K_1^2 c}{\sigma_f} \right] C^2 \quad (4)$$

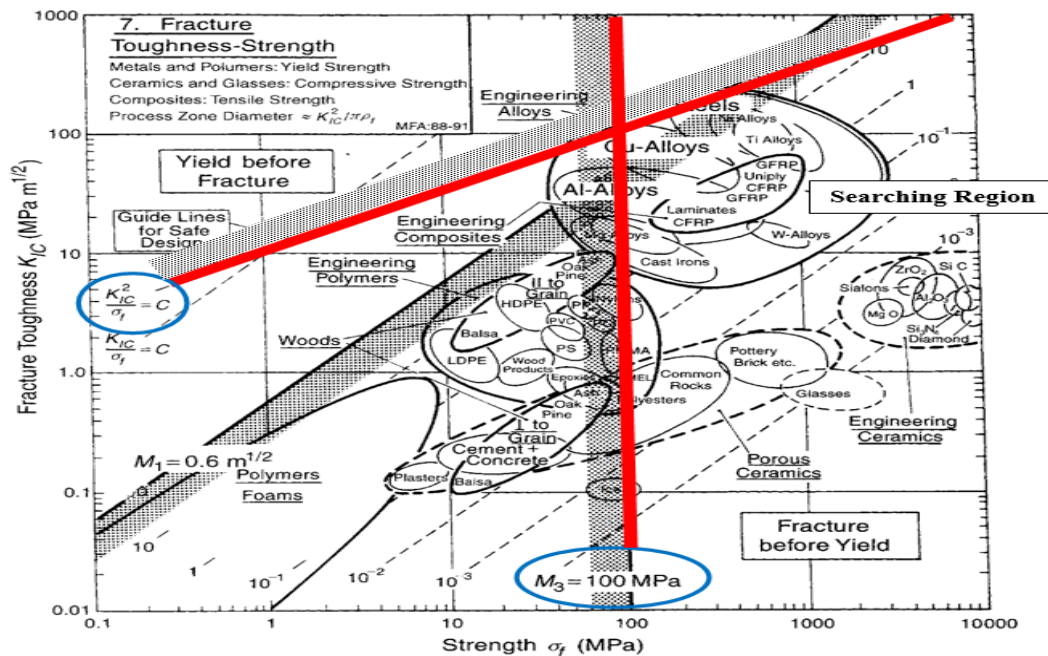


Fig 5 Chart material untuk pressure vessel [12]

Kondisi yang harus dipenuhi oleh tangki CNG (*safety requirements*) adalah sebagai berikut:

1. Untuk **bejana bertekanan kecil**, harus mengalami **yield before break**;
2. Untuk **bejana bertekanan besar**, harus mengalami **leak before break** (tangki CNG).

Tangki CNG tergolong bejana bertekanan tinggi dan harus memiliki mekanisme *leak-before-break*. Pada kasus ini, retak dapat bergerak dengan lambat karena adanya korosi atau beban siklik sehingga butuh adanya inspeksi berkala untuk

Berdasarkan persamaan (4), tekanan maksimum yang dapat ditanggung secara aman oleh material ditentukan oleh *performance index* (M), yaitu:

$$M_1 = \frac{K_1^2 c}{\sigma_f} \quad (5)$$

Untuk mengakomodir masalah ekonomi (*cost*), tangki diusahakan untuk tetap ringan sehingga ukuran dinding tangki dibuat menjadi kecil atau tipis. Berdasarkan persamaan (1),

ukuran dinding yang tipis dapat dicapai dengan nilai σ_f yang besar, sehingga:

$$M_2 = \sigma_f \quad (6)$$

Dengan menggunakan persamaan (5) dan (6), kita dapat mencari material apa yang cocok digunakan sebagai tangki CNG dengan menggunakan diagram pada Gambar 5.

Sesuai dengan range material pada diagram di atas, material yang cocok digunakan sebagai tangki CNG adalah *engineering alloys* (baja dan atau aluminium paduan) dan komposit seperti yang telah dibahas sebelumnya pada bagian tangki CNG. Permasalahannya sekarang adalah menentukan di antara keempat tipe material untuk tangki CNG tersebut mana yang lebih baik digunakan dari segi ekonomis dan sifat mekanis. Proses pemilihan material dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

A. Criteria of Material

Material yang dibutuhkan untuk tangki CNG umumnya ringan tapi tetap memenuhi standar keamanan untuk pressure vessel. Standar yang digunakan untuk tangki CNG sebagai bahan bakar kendaraan (*Natural Gas Vehicle*, NGV) diatur dalam ISO 11439, ECE R110 dan NGV 2000. Kriteria material yang digunakan sebagai tangki CNG berdasarkan standar-standar tersebut antara lain:

- ✓ Memiliki **umur fatik** yang melebihi *specified service life*;
- ✓ Ketika *failure* terjadi, mekanisme yang diinginkan adalah **kebocoran (leak) bukan rupture**;
- ✓ Ketika dilakukan *hydrostatic burst tests*, memiliki *stress ratio factor* yang melebihi nilai yang dimiliki oleh material yang digunakan;
- ✓ **Safety factor** ≥ 2 ;
- ✓ *Cylinder metal liner* terbuat dari **pipa yang seamless**;
- ✓ **Service pressure**: **200 bar** (2900 psi) atau **245 bar** (3600 psi);
- ✓ **Service conditions**: memiliki *service pressure* 1000 kali per tahun dari *service life*-nya (maksimum 20 tahun), **suhu operasi -40°C sampai 65°C** dengan **toleransi suhu** yang meningkat sampai **82°C**;
- ✓ **Burst pressure**:

- ✓ **Stress ratio**: *stress* pada serat pada *specified minimum burst pressure* dibagi dengan *stress* pada serat saat *working pressure*. Sedangkan **burst ratio**: *actual burst pressure* dari silinder dibagi dengan *working pressure*.
- ✓ **Cycle performance**: tangki silinder tidak boleh gagal sebelum mencapai **specified service life dalam setahun dikali dengan 1000 siklus**. Silinder yang melebihi nilai tersebut gagal hanya dengan mekanisme *leakage*, bukan *rupture*. Jadi, silinder dengan umur 15 tahun harus memiliki minimal 15000 siklus untuk beroperasi dan mengalami *leakage* ketika siklus ini terlewati.
- ✓ **Composite Flaw Tolerance**: pembuat tangki menentukan ukuran cacat maksimum yang diperbolehkan pada dinding silinder logam. Ukuran cacat ini di-*machining* pada dinding silinder dan harus dapat terdeteksi oleh *Non-Destructive Examination* (NDE).
- ✓ **Damage Resistance**: ketika dilakukan *drop test*, baik dalam proses instalasi atau *service*, gas hanya boleh mengalami *leakage* dan tidak mengalami *bursting*.
- ✓ **Bonfire Test**: tangki silinder dan *fitting* harus tetap aman ketika tangki mengalami pemanasan pada suhu tinggi atau terekspos api.
- ✓ **Penetration Test**: tangki silinder tidak boleh mengalami pecahan *fragment* ketika diberikan penetrasi dalam bentuk impak.
- ✓ **Environmental Test**: tangki bertekanan dialiri fluida dengan konsentrasi tertentu serta pada suhu dan siklus tertentu. Larutan uji yang digunakan antara lain: NaOH, *methanol* atau *gasoline*, dan NH_4NO_3 . Tekanan yang diberikan antara 20 sampai 260 bar pada suhu ruang, suhu tinggi (82°C) dan suhu rendah (-35°C). Hasil yang nantinya diperoleh harus memiliki nilai *burst pressure* lebih dari 1.8 kali dari *service pressure*.

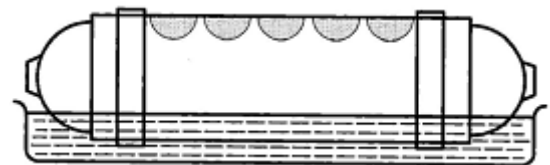


Fig 6. Skema *environmental test* untuk tangki CNG

Tabel 4. *Burst Presure*

Tipe Tabung	Penguat Fiber	Min. Burst Ratio	Min. Stress ratio
Type 1 - Seamless Steel and Aluminum CNG Cylinder	-	2.25	N/A
Type 2 – Hoop Wrapped CNG Cylinder	Glass Fiber	2.50	2.75
	Aramid Fiber	2.35	2.35
Type 3 – Fully Wrapped CNG Cylinder with metal liner	Carbon Fiber	2.35	2.35
	Glass Fiber	3.50	3.65
Type 4 – Fully Wrapped CNG Cylinder with metal liner	Aramid Fiber	3.00	3.10
	Carbon Fiber	2.35	2.35
Type 4 – Fully Wrapped CNG Cylinder with metal liner	Glass Fiber	3.65	3.65
	Aramid Fiber	3.10	3.10
	Carbon Fiber	2.35	2.35

B. Pairwise Comparison

Setelah menentukan sifat material yang diperlukan untuk material tabung/tangki CNG, selanjutnya masing-masing sifat dibandingkan satu sama lain untuk menentukan nilai prioritas sifat material.

Tabel 5 Pairwise Comparison Sifat Material

Ruang Lingkup Standar	Property	Angka Keputusan															
Sifat Mekanis	Ketangguhan Material	1	1	1	1	1	1										
	Kekuatan Impak	0					1	1	1	1							
	Kekuatan Tarik		0				0		1	1	1						
	Modulus Young			0			0		0		1	0	0				
Kekuatan Fatik				0			0		0	0	0	0	0	1			
Sifat Umum	Densitas				0			0		0	0	1	1	1			
Sifat Kimia	Ketahanan Korosi					0			0		0	1	0	0			

C. Faktor Pembobotan

Setelah menentukan sifat material yang diperlukan untuk material tabung/tangki CNG, selanjutnya masing-masing sifat diberikan bobot nilai dengan menggunakan yang sesuai dengan kebutuhannya. Nilai pembobotan tersebut dapat dilihat pada Tabel 7 di bawah ini.

Tabel 6. Pembobotan Nilai Terhadap Sifat Material

Sifat	Positive Decision	Faktor Pembobotan
Ketangguhan	6	0.28
Kekuatan Impak	5	0.24
Kekuatan Tarik	4	0.19
Modulus Young	1	0.05
Kekuatan Fatik	1	0.05
Densitas	3	0.14
Ketahan Korosi	1	0.05

D. Kandidat Material

Setelah memberikan bobot nilai pada masing-masing sifat, pilihlah material yang memungkinkan untuk digunakan untuk tabung CNG. Pilihan material terdapat pada Tabel 8 dibawah ini.

Tabel 7 Kandidat Material Untuk Tabung Cng Beserta Sifatnya

Material	Ketangguhan (Mpa √m)	Kekuatan Impak (J/mm ²)	UTS (Mpa)	Modulus Young (Gpa)	Kekuatan Fatik (Mpa)	Densitas (g/cm ³)	Ketahan Korosi *
AISI 4140	42	54.5	655	190	195	7.8	1
AISI 4130	48	87	670	210	225	8.03	2
AA 6061-T6	29	49.6	310	69.7	97	2.7	3
Al-Mg-Si/E-GFRP (Hoop Composite)	72.8	65.6	2187	77.4	188.35	2.61	3
Al-Mg-Si/S-GFRP (Full Wrapped Composite)	83	70.56	3647	83.46	243.4	2.51	3
Nylon 66@/GFR Epoxy Composite	67	53	200	160	254	1.59	3

HDPE/CFRP-Epoxy	58	42	3404	165.8	220	1.6	2
E&E-CFR Glass Composite	93.79	78	2600	83	310	2.68	4
HyPer-Tex ® (GFRP 79% Composite)	95.5	84	3400	91	420	2.34	4

Note: (*) Poor: 1; Medium: 2; Good: 3; Excellent: 4 (berdasarkan ASM Handbook Vol 13: Corrosion)

E. Sifat Berdasarkan Skala dan Indeks Pembobotan

Tabel 8. Weighted Properties Of The Materials

Material	Scaled Properties							Indeks Pembobotan Sifat
	1	2	3	4	5	6	7	
AISI 4140	44	65	18	90	46	20	25	42.2
AISI 4130	50	104	18	100	54	19	50	55.3
AA 6061-T6	30	59	9	33	23	58	75	38.9
Al-Mg-Si/E-GFRP (Hoop Composite)	76	78	60	37	45	60	75	67.7
Al-Mg-Si/S-GFRP (Full Wrapped Composite)	87	84	100	40	58	62	75	80.8
Nylon 66@/GFR Epoxy Composite	70	63	5	76	60	100	75	60.4
HDPE/CFRP-Epoxy	61	50	93	79	52	98	50	69.5
E&E-CFR Glass Composite	98	93	71	40	74	58	100	82.1
HyPer-Tex ® (GFRP 79% Composite)	100	100	93	43	100	67	100	91.2

F. Peringkat Material

Tahap selanjutnya adalah memberikan peringkat kepada material berdasarkan sifat-sifat material yang telah dievaluasi pada tahap sebelumnya. Ranking of material untuk material CNG dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Peringkat Material

Material	Relative Cost	Cost of Unit Strength x 100	Weighted Property Index	Figure of Merit	Rank
AISI 4140	1.00	1.345	42.2	31.38	7
AISI 4130	1.17	1.554	55.3	35.59	6

Penulis mengucapkan terima kasih kepada redaksi Musamus Journal of Electro & Mechanical Engineering (MJEME) Fakultas Teknik Universitas Musamus Merauke, Papua serta seluruh rekan dosen Fakultas Teknik Universitas Singaperbangsa Karawang.

REFERENCES

- [1] *Gas Engineers Handbook*. 1965: Industrial Press, Inc.
- [2] *The Advantages of Compressed Natural Gas*, U.S.d.o. Energy, Editor. 2010: Nebraska.
- [3] 3. Administration, E.I. *Natural Gas Issues & Trends*. 1998; Available from: www.eia.doe.gov.
- [4] Christopher F. Blazek, J.G., Patricia Freeman, *Fuel Composition Effects On Natural Gas Vehicle Emissions*. National Renewable Energy Laboratory.
- [5] Semin, A.I., Rosli Abu Bakar, *An Overview of Compressed Natural Gas as an Alternative Fuel and Malaysian Scenario*. European Journal of Scientific Research, 2009. **34**: p. 6-15.
- [6] GmbH, M.I., *CNG Cylinders: High-tech for Storage, Transportation and Power*: Germany.
- [7] Divisions, O., *Auto Fire with Compresses Natural Gas (CNG) Fuel Tank Explosion*. 2007, Fire Department of Seattle: Seattle.
- [8] *Gas cylinders — High pressure cylinders for the on-board storage of natural gas as a fuel for automotive vehicles*. 2000, ISO 11439:2000.
- [9] Nelson, S.C., *Overview of the Safety Issues associated with the Compressed Natural Gas Fuel System and Electric Drive System in A Heavy Hybrid Electric Vehicle*. 2002, Oak Ridge National Laboratory
- [10] *Compressed Natural Gas Storage Optimization for Natural Gas Vehicles*. 1996, Gas Research Institute.
- [11] R. Wilcox, e.a., *Risk-Based Technology Methodology for the Safety Assessment of Marine Compressed Natural Gas Fuel System*, in *International Cooperation on Marine Engineering Systems/The Society of Naval Architects and Marine Engineers*. 2000.
- [12] Ashby, M.F., *Materials Selection in Mechanical Design*, 2nd edition. 1999, Oxford: Butterworth-Heinemann.

AA 6061-T6	1.67	1.630	38.9	23.86	8
Al-Mg-Si/E-GFRP (Hoop Composite)	2.83	0.376	67.7	180.17	4
Al-Mg-Si /S-GFRP (Full Wrapped Composite)	2.50	0.191	80.8	422.61	1
Nylon 66@/GFR Epoxy Composite	3.00	3.684	60.4	22.79	9
HDPE/CFRP-Epoxy	3.50	0.183	69.5	380.14	3
E&E-CFR Glass Composite	4.17	0.477	82.1	172.04	5
HyPer-Tex ® (GFRP 79% Composite)	3.00	0.229	91.2	397.54	2

IV. CONCLUSION

Material yang paling direkomendasikan untuk menjadi material tabung CNG adalah aluminium (Seri 6061: Al-Mg-Si) yang diperkuat oleh fiber glass atau disebut juga Al-Mg-Si /S-GFRP (*Full Wrapped Composite*). Material Al-Mg-Si /S-GFRP memiliki kombinasi sifat mekanis, harga, kemampuan untuk diproduksi, dan densitas yang baik untuk digunakan sebagai material tabung CNG. Material komposit ini memiliki densitas yang rendah sehingga menguntungkan dari segi konsumsi bahan bakar jika digunakan untuk material tabung CNG untuk alat transportasi massal. Selain itu, material tipe-3 tabung CNG ini memang telah banyak dikembangkan oleh beberapa industri sebagai pengganti logam (baja dan aluminium) yang umumnya berat.