



Desain dan Analisis Tanki ISO LNG Kapasitas 40 feet Menggunakan Teknik *Finite Element Analysis*

Design and Analysis of 40 feet ISO LNG Tank Using Finite Element Analysis Technique

Freddy Marpaung^{1*}, Endarto Tri Wibowo² dan Rudias Harmadi³

¹Senior Researcher Pusat Teknologi Industri Permesinan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
Building 251, Puspitek Serpong, Indonesia

²Junior Researcher Pusat Teknologi Industri Permesinan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
Building 251, Puspitek Serpong, Indonesia

³Specialist Researcher Pusat Teknologi Industri Permesinan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
Building 251, Puspitek Serpong, Indonesia

Informasi artikel

Diterima:
06/04/2022
Direvisi:
08/05/2022
Disetujui:
11/05/2022

Abstract

Development of liquified natural gas (LNG) ISO tank in Indonesia pays significant attention due to this product is still imported and it has high LNG market potential. In addition, this research is in line with national research priorities in the maritime sector to implement energy equality in Indonesia. As a first step in the research, the ISO tank model designed by using CATIA and structural testing using ANSYS software for finite element analysis. This simulation test is carried out to identify areas that receive high stress in the tank shell and the support structure of the tank. In addition, this virtual test was conducted to quantify the stress and safety factor of the ISO tank model. With this simulation, it is hoped that a more efficient and safer ISO tank design that meets existing regulatory standards can be obtained.

Keywords: ISO tank, hydrostatic test, static analysis, finite element analysis.

Abstrak

Pengembangan tanki ISO *liquified natural gas* (LNG) di Indonesia menarik perhatian yang signifikan dikarenakan produk ini masih diimpor serta potensi pasar LNG yang tinggi. Selain itu, riset ini sejalan dengan prioritas riset nasional di bidang kemaritiman untuk mewujudkan pemerataan energi di Indonesia. Sebagai langkah awal dalam pengembangan tersebut dilakukan pemodelan desain dari tanki ISO menggunakan CATIA dan pengujian struktur menggunakan ANSYS *software* untuk *finite element analysis*. Pengujian simulasi ini dilakukan untuk mengidentifikasi area-area yang menerima beban tinggi di dalam selubung tanki dan struktur pensupport tanki tersebut. Selain itu untuk mengkuantifikasi tegangan yang terjadi dan mengevaluasi faktor keselamatan dari tanki yang akan didesain. Dengan adanya simulasi ini diharapkan diperoleh desain tanki ISO yang lebih efisien dan aman serta memenuhi standar regulasi yang ada.

Kata Kunci: tanki ISO, tes hidrostatik, analisa statik, analisa *finite element*.

*Penulis Korespondensi. Tel: -; Handphone: +62 813 8048 0989
email : freddy.marpaung@bppt.go.id



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

1. PENDAHULUAN

Energi merupakan salah satu komponen vital dalam kehidupan manusia. Konsumsi energi di Indonesia menunjukkan peningkatan setiap tahunnya (DEN, 2019). Peningkatan tersebut dikarenakan pertumbuhan ekonomi, perkembangan teknologi dan perubahan gaya hidup. Hingga saat ini pemerintah masih mengimpor bahan bakar minyak untuk memenuhi kebutuhan energi nasional (ESDM, 2018). Disisi lain, Indonesia merupakan salah satu negara peng-ekspor terbesar gas alam cair atau *liquid natural gas* (LNG). LNG memiliki nilai pembakaran yang lebih tinggi dan polusi lingkungan yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar minyak dan batubara. Oleh karena itu, upaya untuk memenuhi kekurangan energi tersebut dapat dilakukan melalui penggunaan LNG sebagai sumber energi hijau pengganti bahan bakar minyak menarik untuk dikembangkan. Selain aspek tersebut, proses likuefaksi dapat mereduksi volume gas sekitar 600 kali lebih kecil sehingga menjadi lebih ekonomis penyimpanannya dibandingkan dengan penyimpanan dalam phasa gas (Laciak dkk., 2019).

LNG didistribusikan ke pengguna akhir pada temperatur *cryogenic* sekitar -165°C . Sehingga hanya material tertentu yang dapat digunakan untuk menyimpan fluida pada temperatur ekstrim tersebut (Włodek, 2017). Pemilihan material *cryogenic* tersebut harus dilakukan secara hati-hati dikarenakan akan terjadi perubahan sifat material yang sangat drastis ketika diekspos pada temperatur rendah ekstrim (Qiu dkk., 2021). Material yang biasanya bersifat duktil pada temperatur atmosfer dapat menjadi sangat getas ketika dikondisikan pada temperatur yang sangat rendah, sementara material *cryogenic* keuletannya lebih meningkat. Beberapa jenis material yang biasa digunakan pada temperatur *cryogenic* adalah baja *stainless steel* (SS) 316L (Sas, Weiss dan Jung, 2015), SS 304L (Gupta, 2017), baja 9% Nikel (Hany dkk., 2014), baja Invar (Anoop dkk., 2021), dan aluminium AL 5052 (Gang, Lee dan Nam, 2009).

Proses transfer LNG ke pengguna akhir biasanya menggunakan bejana tekan yang didesain mampu bertahan pada temperatur ekstrim sekitar -165°C dan tekanan 13 bar, salah

satu contohnya adalah tanki ISO. Penyimpanan gas alam portable tersebut mempermudah proses distribusi gas ke wilayah-wilayah yang belum tersambung jaringan pipa gas dan lokasinya jauh dari sumur gas. Dimana, tanki ISO umumnya digunakan pada terminal penerima LNG diberbagai daerah, gedung komersial yang belum terkoneksi dengan pipa gas. Tanki ISO umumnya memiliki dua *barrier*, yaitu *primary barrier* yang terbuat dari material *cryogenic* dan *secondary barrier* yang terbuat dari komposit atau metal foil yang berfungsi sebagai permukaan konstruksi *sandwich* untuk insulasi panas. Bahan insulasi panas biasanya terdiri dari beberapa lapis material diantaranya *polyurethane*, serat kaca tahan impact (*resilient fiber glass*) dan perlite untuk mencegah kebocoran panas (Bhattacharyya dan Hazra, 2013).

Penguasaan teknologi tanki ISO di Indonesia menarik perhatian untuk dikembangkan dikarenakan produk ini masih diimpor 100% dan belum tersedia standard acuan yang dapat digunakan untuk standarisasi desain produk tanki ISO dalam negeri. Oleh karena itu perlu dilakukan studi desain tanki ISO yang memiliki kualitas yang baik dari sisi kekuatan struktur menggunakan *finite element analysis*.

Pada studi ini fokus kajian yang dilakukan adalah simulasi statik struktur tanki ISO kapasitas 40 feet menggunakan *software* ANSYS 17.1. Pengujian simulasi pada artikel ini digunakan untuk memperoleh informasi terkait dengan perilaku model tanki ISO yang di desain ketika dikondisikan bekerja pada beban struktur yang ditentukan.

2. METODOLOGI

Metode perhitungan desain tanki ISO LNG pada artikel ini menggunakan kode desain ASME Selection VIII division I (ASME, 2019) dan II (ASME, 2019). Desain tanki ISO dimodelkan dengan menggunakan *software* Catia. Selanjutnya dilakukan pengujian struktur menggunakan *software* ANSYS 17.1.

2.1. Perhitungan Kapasitas Tanki ISO

Perhitungan kapasitas tanki ISO pada penelitian ini dijelaskan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. *Boundary condition* simulasi

Parameter	Nilai	Satuan
Kapasitas Bersih (Q)	44,6	m ³
Ruang uap yang diizinkan dalam tanki	5	%
Kapasitas kotor	46,83	m ³
Diameter dalam inner shell	2350	mm
Jari-jari inner shell	1175	mm
Volume dari inner head	6,8	m ³
Volume silinder (inner shell)	40,03	m ³
Panjang silinder	9	m
Panjang tanki (inner shell)	11,58	m

2.1. Perhitungan Selubung dalam Tanki ISO

Perhitungan ketebalan selubung dalam *inner shell*) dalam kondisi bertekanan. Ketebalan selubung dalam berdasarkan ASME Section VIII Div 1 (ASME, 2019) sebagai berikut:

$$t = (PxRi)/(SE - 0.6P) + C.A + T.A \quad (1)$$

dimana:

- P = Tekanan desain (12 bar ≈ 1,2 MPa)
- t = Ketebalan *shell* (mm)
- E = Joint efficiency (E=1)
- S = Tekanan yang diijinkan (137,89 MPa)
- D = Diameter tanki (2,35 meter)
- C.A = 0 ; T.A = 0

Dengan menggunakan persamaan (1), maka dihasilkan ketebalan *shell* sebesar 10 mm.

2.2. Perhitungan Selubung Ujung Tanki ISO

Perhitungan ketebalan ujung selubung tanki juga mengadopsi ASME Section VIII Div. 1 (ASME, 2019), dimana ujung selubung tersebut berbentuk bola. Ketebalannya dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$t = (PxRi)/(SE - 0.2P) + C.A + T.A \quad (2)$$

dimana:

- P = Tekanan desain (12 bar ≈ 1,2 MPa)
- t = Ketebalan *shell* (mm)
- E = Joint efficiency (E=1)
- S = Tekanan yang diijinkan (137,89 MPa)
- D = Diameter tanki (2,35 meter)
- C.A = 0 ; T.A = 1

Dengan menggunakan persamaan (2), maka ketebalan dari kedua ujung selubung tanki adalah 12 mm.

2.3. Desain Silinder Dalam Tanki ISO

Silinder dalam menggunakan baja *cryogenic* SS 304L. Sifat-sifat material tersebut ditunjukkan pada Tabel 2 (Bhattacharyya dan Hazra, 2013).

Tabel 2. *Material properties* SS 304L

Parameter	Nilai	Satuan
<i>Density</i>	7900	kg/m ³
<i>Modulus Young</i>	200	GPa
<i>Poissons's ratio</i>	0,30	-
Yield strength (σ_y)	250	MPa
Ultimate tensile strength (σ_u)	720	MPa
Koefisien film konveksi	0,0025	W/mm ³ °C
Thermal conductivity	15	W/m K
Specific heat capacity	500	J/kg K

- Diameter external (Do) = 2350+(2x10) = 2370 mm
- Ketebalan dari inner shell = 10 mm
- Panjang dari shell silinder = 9230 mm
- Effective length = 9230+2(Rd/3) = 10014 mm
- Do/t = 230,75
- L/Do = 4,224

Berdasarkan ASME Section VIII Div. 1 (ASME, 2019), bahwa Nilai faktor A dari grafik sebesar 0.000022, tekanan (Pa) diperoleh menggunakan persamaan (3):

$$P_a = 2AE/3x(Do/t) \quad (3)$$

$$= 0,267 \text{ psi}$$

dimana tekanan eksternal = tekanan atmosfer = 15 psi. Karena $P_a < P$ desain tidak aman sehingga harus digunakan *stiffner ring*.

2.4. Desain Selubung Luar Tanki ISO

Silinder luar menggunakan baja karbon ASTM A 516 Grade 70. Sifat-sifat material baja karbon tersebut ditunjukkan pada Tabel 3 (Fahy dan Tiernan, 2001).

- Ketebalan insulasi = 100 mm
- Ketebalan *outer shell* = 10 mm
- Diameter *outer shell* = (2370)+(2x90)+(2x20) = 2590.55 mm
- *Corrosion allowance* = 3.0
- Panjang dari *shell* silinder luar = 11690 mm

- $Effective\ length = 11690 + 2(Rd/3) = 12554$ mm
- $Do/t = 259$
- $L/Do = 4,85$

Tabel 3. Material properties ASTM A 516

Parameter	Nilai	Satuan
Density	7800	kg/m ³
Modulus Young	200	GPa
Poissons's ratio	0,29	-
Yield strength (σ_y)	260	MPa
Ultimate tensile strength (σ_u)	483	MPa
Modulus geser	80	GPa
Thermal conductivity	52	W/m K

Berdasarkan ASME Section VIII Div. 1 (ASME, 2019), besar nilai factor A dari grafik sebesar 0.000018, tekanan (P_a) diperoleh menggunakan persamaan (3), yaitu sebesar 0.195 psi, dimana tekanan eksternal = tekanan atmosfer = 15 psi. Karena $P_a < P$ desain tidak aman sehingga harus digunakan *stiffner ring*.

2.5. Perhitungan Ring Stiffner Bagian Inner Shell Di Bawah Tekanan Eksternal

Perhitungan *ring stiffner* pada ISO tank kapasitas 40 ft ini mengacu pada ASME II Part D (ASME, 2019). Dimana ISO tank ini didesain menggunakan 3 buah *ring stiffner* sehingga terdapat 4 ruang yang sama besar didalam tanki tersebut.

- Diameter *inner shell* = 2370 mm
- Corrosion allowance = 0
- Panjang dari *shell* silinder = 9230 mm
- Panjang antar *ring stiffner* = 3860 mm
- $Do/t = 230,7$
- $L/Do = 1,64$

Berdasarkan ASME II Part D (ASME, 2019), besar nilai faktor A dari grafik adalah 0.00024. Sementara dari grafik factor B diperoleh nilainya 3000. Tekanan (P_a) diperoleh menggunakan persamaan (4):

$$P_a = 4B/3(Do/t) \quad (4)$$

$$= 17.33\text{ psi}$$

Dimana tekanan eksternal = tekanan atmosfer, yaitu: 15 psi. Karena $P_a > P$, maka dimensi desain dari hasil perhitungan tersebut aman.

2.6. Perhitungan Ring Stiffner Bagian Outer Shell Di Bawah Tekanan Eksternal

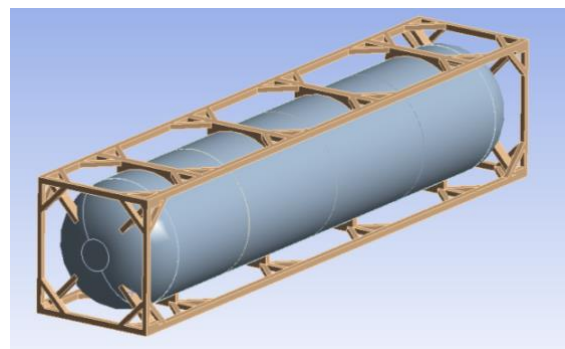
Pada bagian *outer shell* juga didesain menggunakan 3 buah *ring stiffner* sehingga terdapat 4 ruang yang sama besar di dalam tanki tersebut.

- Diameter *outer shell* = 2590.55 mm
- Corrosion allowance = 3.0
- Panjang dari *shell* silinder = 12553 mm
- Panjang antar *ring stiffner* = 4185 mm
- $Do/t = 252.2$
- $L/Do = 1.62$

Berdasarkan ASME II Part D (ASME, 2019), besar nilai faktor A dari grafik adalah 0.0002, tekanan (P_a) diperoleh menggunakan persamaan (4), yaitu sebesar: 15.33 psi, dimana tekanan eksternal (P) = 15 psi. Karena $P_a > P$ maka dimensi desain hasil perhitungan mampu menahan tekanan eksternal tersebut.

2.7. Pemodelan Tanki ISO

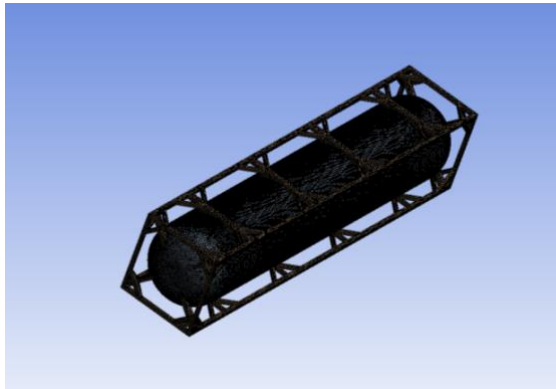
Komponen utama dari tanki ISO terdiri dari *inner tank*, *outer tank*, *insulation*, *ring stiffner* dan *frame*. Pemodelan tanki dilakukan dengan menggunakan *software* Catia. Untuk menggabungkan masing-masing komponen tersebut, setiap kontak permukaan dibuat dan dihubungkan dengan menggunakan *tie constraints* yang menyatukan dua permukaan terpisah sehingga tidak ada gerakan relative diantara mereka. Gambar 1 merupakan model geometri dari tanki ISO 40 feet.



Gambar 1. Desain tanki ISO 40 feet

Untuk mendapatkan hasil *finite element analysis* yang lebih akurat dari model yang dibuat dilakukan proses *meshing* yang sesuai.

Umumnya proses *meshing* biasa yang pertama digunakan, selanjutnya dilakukan proses *meshing* lebih halus pada area tertentu atau area dengan konsentrasi tegangan tertinggi. Jumlah element dan *node* hasil proses *meshing* menggunakan software ANSYS berturut-turut sebesar 1773719 dan 902192.



Gambar 2. Meshing tanki ISO 40 feet

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan standar ISO, tanki ISO harus memenuhi standar desain dan persyaratan konstruksi serta harus mampu menahan serangkaian pengujian. Pengujian ini secara detail disebutkan didalam ISO 1496-3: 1995E section 6.2 dan 6.3 (ISO, 1995). Dalam tulisan ini fokus pengujian statis mencakup:

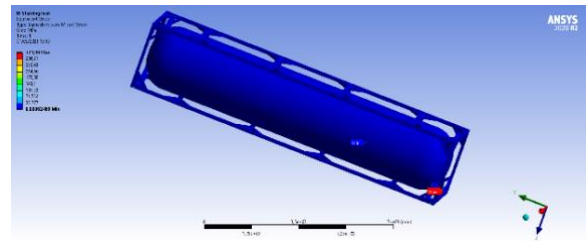
- *Stacking test* (section 6.2)
- *Lifting from four top corner fitting tests* (section 6.3)
- *Pressure test* (section 6.13)

3.1. Stacking Test

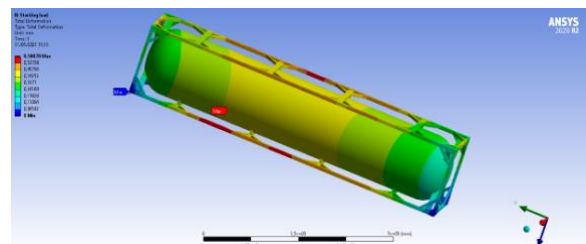
Pengujian *stacking test* dilakukan untuk mengetahui kekuatan struktur *frame* ketika iso tank di tumpuk dalam beberapa lapis di dalam kapal pengangkut. Pada simulasi ini diberikan beban masing-masing sebesar 800000 N pada keempat ujung struktur tanki ISO (Bhattacharyya dan Hazra, 2013).

Berdasarkan Gambar 3 dan Gambar 4 untuk pengujian *Stacking*, terjadi tegangan *Von Mises* maksimum pada sisi kanan bawah *frame* sebesar 321,98 MPa. Sementara Total *Deformation* maksimum (0,58878 mm) terjadi pada *frame* bagian tengah bawah. Dari hasil pengujian *Stacking test* tersebut, *frame* struktur ISO tank

perlu dilakukan penambahan ketebalan *frame support*.



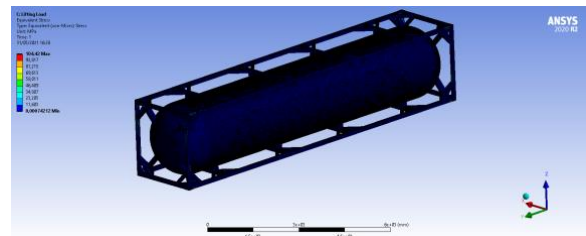
Gambar 3. Stacking test von mises stress



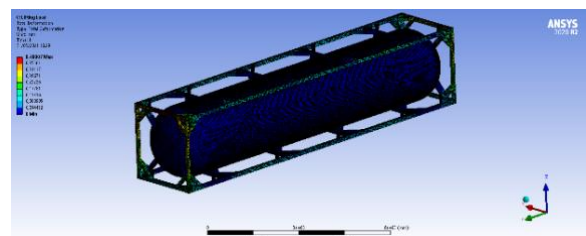
Gambar 4. Stacking test deformation

3.2. Lifting Load Tests

Pengujian *lifting* dilakukan untuk mengetahui kemampuan struktur *frame* untuk menahan beban *lifting* pada keempat sisi atas ujung *frame*. Beban *lifting load* yang diberikan adalah 600.000 N terdistribusi pada ke empat ujung sisi atas *frame*.



Gambar 5. Lifting load von mises stress

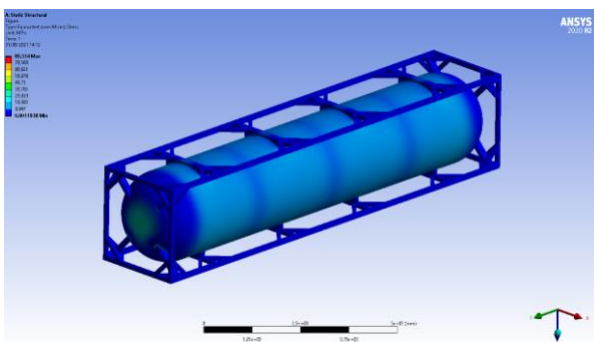


Gambar 6. Lifting load deformation

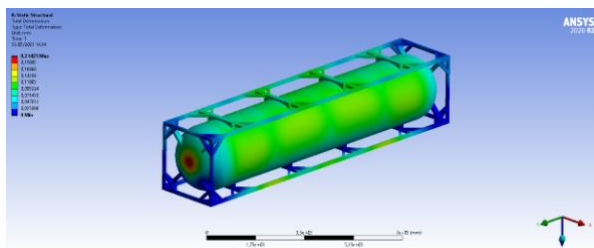
Pada Gambar 5 diperlihatkan tegangan maksimum terjadi pada sambungan sisi *frame* bagian bawah, yaitu sebesar 104,2 MPa dengan deformasi maksimum sebesar 0,40007 mm (lihat Gambar 6).

3.3. Hydrostatic Test

Pengujian *hydrostatic* dilakukan pada tekanan yang lebih tinggi dari tekanan *design* (*design pressure*). Dimana dalam ASME B31.1, tekanan hidrostatik pada *pressure vessel* tidak boleh kurang dari 1,5 tekanan desain yaitu 18 bar. Besarnya tekanan yang diterima oleh selubung tanki ISO maksimum sebesar 89 MPa sementara deformasi yang terjadi adalah 0,21425 mm. Tegangan *von mises* tersebut masih berada di bawah *allowable stress* dari material SS 304L seperti simulasi yang diperlihatkan pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Hydrostatic test von mises stress



Gambar 8. Hydrostatic test deformation

Tabel 4. Hasil pengujian tanki ISO LNG

Pengujian	Tegangan Maksimum (MPa)	Deformasi Maksimum (mm)
Stacking test	321,98	0,58878
Lifting Load Tests	104,2	0,40007
Hydrostatic Test	89	0,21425

Tabel 4 merupakan rangkuman hasil pengujian dari ketiga jenis pembebanan pada tanki ISO LNG tersebut, dimana tegangan terbesar terjadi ketika struktur tanki ISO LNG menerima beban *stacking*, kemudian diikuti dengan beban *lifting* dan beban hidrostatik.

4. SIMPULAN

Desain ISO tank yang dimodelkan telah dilakukan pengujian simulasi berdasarkan standar pengujian statis dan pengujian hidrostatik. Dari hasil pengujian hidrostatik, tegangan dan deformasi dapat diidentifikasi dan dikuantifikasi. Dimana sisi bagian head selubung tanki ISO mengalami stress maksimum. Sementara pada pengujian *stacking* dan *lifting*, frame ujung bagian bawah menerima stress maksimum. Untuk alasan tersebut perlu diperbaiki desainnya agar meningkatkan *safety allowance* dengan cara menambahkan bracket atau support pada sisi horizontal dan vertikal. Diharapkan pada riset selanjutnya dilakukan pengujian *non-linear buckling* analisis dengan menggunakan metode *finite element*.

DAFTAR PUSTAKA

- Anoop, C.R. dkk. (2021) ‘A review on steels for cryogenic applications’, *Materials Performance and Characterization*, 10(2), hal. 16-88.
- ASME, American Society of Mechanical Engineers. (2019) *BPVC Section II-Materials-Part D-Properties-(Customary)* - ASME. Available at: <https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/bpvc-ii-d-bpvc-section-ii-materials-part-d-properties> (diakses: 9 July 2021).[Cetak].
- ASME, American Society of Mechanical Engineers. (2019) *BPVC Section VIII-Division 1 - Rules for Construction of Pressure Vessels* - ASME. Available at: <https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/bpvc-viii-1-bpvc-section-viii-rules-construction-pressure-vessels-division-1> (diakses: 9 July 2021).[Cetak].
- ASME, American Society of Mechanical Engineers. (2019) *BPVC Section VIII-Division 2 - Alternative Rules* - ASME. Available at: <https://www.asme.org/codes-standards/find-codes-standards/bpvc-viii-2-bpvc-section-viii-rules-construction-pressure-vessels-division-2-alternative-rules/2021/print-book> (diakses: 9 July 2021).[Cetak].
- Bhattacharyya, R. dan Hazra, A. (2013) ‘A study on stress analysis of ISO tank container’, in *58th Congress of The Indian Society of Theoretical and Applied Mechanics.*, hal.1-5. Available at: https://www.researchgate.net/publication/316320046_A_study_on_stress_analysis_of_ISO_tank_container (diakses: 9 July 2021).

- DEN, Dewan Energi Nasional. (2019) *Outlook Energi Indonesia (OEI) 2019*. Dewan Energi Nasional. Available at: <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-outlook-energi-indonesia-2019-bahasa-indonesia.pdf>. [Cetak].
- ESDM, Kementerian Energi dan Sumber Daya Manusia. (2018) *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia 2018*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Available at: <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-handbook-of-energy-and-economic-statistics-of-indonesia-2018-final-edition.pdf>. [Cetak].
- Fahy, M. dan Tiernan, S. (2001) 'Finite element analysis of ISO tank containers', *Journal of Materials Processing Technology*, 119(1-3), hal. 293-298.
- Gang, U.G., Lee, S.H. dan Nam, W.J. (2009) 'The evolution of microstructure and mechanical properties of a 5052 aluminium alloy by the application of cryogenic rolling and warm rolling', *Materials transactions*, 50(1), hal. 82-86.
- Gupta, P. (2017) *Effect of Cryogenic Treatment on Mechanical and Metallurgical Properties of SS 304 L*. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/Effect-of-Cryogenic-Treatment-on-Mechanical-and-of-Gupta/79f178058f91ff8f00674336f6c6d2ee50056f47> (diakses: 9 July 2021).
- Hany, S. dkk. (2014) 'Microstructural and mechanical properties of 9% Ni steels used for the construction of LNG storage tanks', in *Advanced Materials Research*. Trans Tech Publ, hal. 1953-1957.
- ISO, International Organization for Standardization. (1995) 'Series 1 freight containers - Specification and testing - Part 3: Tank containers for liquids, gases and pressurized dry bulk'. [Cetak].
- Laciak, M. dkk. (2019) 'Possibilities of Liquefied Natural Gas (LNG) use for power generation', in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, hal. 012138.
- Qiu, Y. dkk. (2021) 'Research progress of cryogenic materials for storage and transportation of liquid hydrogen', *Metals*, 11(7), hal. 1101.
- Sas, J., Weiss, K.P. dan Jung, A. (2015) 'The Mechanical and material properties of 316LN austenitic stainless steel for the fusion application in cryogenic temperatures', in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. IOP Publishing, hal. 012003.
- Włodek, T. (2017) 'Prediction of boil off rate in liquefied natural gas storage processes', *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 17(1.5), hal. 405-413.

