

ANALISIS VOLUME LNG IDEAL UNTUK *COOLING DOWN* FASILITAS LNG HUB

Dhian Nugraha^{1,*}, Harunsyah², Munawar³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Kimia Politeknik Negeri Lhokseumawe

24301 Lhokseumawe, Aceh, Indonesia

*e-mail: dhiannugraha97@gmail.com

Abstract

The LNG Receiving Hub facility is an existing facility that has not been used for a long time. In order for this facility can be used again, all equipment and piping systems must first be conditioned to a temperature close to the operational temperature of LNG, which is -160 °C. The purpose of this approach is to determine the theoretical and actual volume of LNG used for the cooling down process of the LNG Hub facility, as well as to compare it with the cooling down process for the regasification facility. An analytical approach is used in this study to determine the ideal amount of LNG needed for cooling down the facility and compare it with the actual amount of LNG that is being used for cooling down the facility. From the results of the analysis, the theoretical LNG volume needed for cooling down the LNG Hub facility is 8,176 m³ and the actual volume is 7,013.6620 m³, while the actual value for cooling down the regasification facility is 11,573.19 m³. The actual volume for the LNG Hub facility is smaller compared to regasification which can be caused by the smaller volume of pipelines and the difference in the cooling down mechanism in both facilities.

Keywords: *cooling down, LNG Hub, loading, regasification, unloading*

PENDAHULUAN

Gas alam cair (LNG) adalah zat cair, campuran hidrokarbon ringan terutama terdiri dari metana (CH₄, 85 s.d. 98% volume), dengan jumlah etana (C₂H₆) yang lebih kecil, propana (C₃H₈), hidrokarbon yang lebih tinggi (C₄⁺) dan nitrogen sebagai komponen *inert*. Komposisi LNG tergantung pada sifat sumber gas alam dan pengolahan gas di fasilitas pencairan, yaitu proses pemurnian dan pencairan, serta kondisi penyimpanan dan kebutuhan konsumen [1].

Terminal penyimpanan LNG dan regasifikasi membentuk elemen penting dalam LNG *value chain* dan bertindak sebagai fasilitas penyimpanan dan pemrosesan yang terdiri dari infrastruktur

loading dan unloading, tangki penyimpanan kriogenik, sistem regasifikasi, dan pengiriman gas pipa [2].

Dibandingkan dengan beberapa sumber energi lainnya, gas alam cair (LNG) memiliki keunggulan dalam hal kebersihan dan kapasitas penyimpanan [2]. Kapasitas terminal biasanya didedikasikan untuk pengguna jangka panjang sesuai dengan penggunaan kapasitas dan kontraknya [3].

Selain itu, LNG akan semakin sering digunakan sebagai bahan bakar transportasi darat, karena jenis bahan bakar ini memungkinkan pengurangan emisi partikel padat dan senyawa belerang dan secara signifikan mengurangi emisi nitrogen oksida dan CO₂ [4].

Dalam rantai bisnis LNG, LNG disimpan di tiga area utama di sepanjang

rantai bisnis hulu (di kilang pencairan LNG sebelum dimuat ke kapal pengangkut), di kapal pengangkut, dan terakhir di terminal penerimaan dan penyimpanan LNG [5].

Fasilitas penyimpanan LNG dilakukan dengan melalui tahapan penerimaan, pengiriman dan perubahan fasa menjadi gas apabila diperlukan. Diperlukan juga fasilitas LPG (propana dan butana) dengan tujuan untuk mengatur nilai kalor dari gas alam [6].

Fasilitas LNG Hub harus melalui beberapa perlakuan khusus sebelum dapat digunakan, yaitu *purging*, *pengeringan*, *cooling down* dan penyediaan *dead stock*.

Salah satu langkah awal dalam prosedur start-up adalah proses *oxygen purging*. *O₂ purging* tidak diperlukan untuk saluran perpipaan udara, saluran *steam*, dll. yang memang selalu mengandung oksigen. Namun, proses ini diperlukan untuk saluran perpipaan dan peralatan LNG dan BOG [6].

Sebelum dapat digunakan, fasilitas LNG Hub harus melalui beberapa perlakuan khusus, yaitu *purging*, *pengeringan*, *cooling down* dan penyediaan *dead stock*.

Ketika tangki LNG dan saluran LNG dibangun, awalnya terisi dengan udara. Ketika gas metana pertama kali dimasukkan ke dalam tangki, ada risiko menciptakan campuran metana dan oksigen yang eksplosif. Udara perlu dibersihkan dan diganti dengan gas nitrogen untuk memastikan konsentrasinya tetap di bawah batas ledakan ketika gas metana ditambahkan. Pembersihan *O₂* dilakukan dengan cara menurunkan konsentrasi *O₂* dengan memasok nitrogen [6].

Udara lingkungan mengandung gas karbon dioksida dan oksigen serta uap air yang dapat membeku pada temperatur operasi LNG. Oleh karena itu, untuk mengusir karbon dioksida, oksigen dan uap air dari sistem perpipaan dan peralatan perlu dilakukan *purging* dengan menggunakan gas *inert* nitrogen [6].

Tangki penyimpanan LNG harus dikeringkan dan dibersihkan dengan nitrogen untuk memastikan bahwa *moisture*

dan kandungan oksigen dalam ruang gas berada di bawah angka yang ditentukan selama *commissioning* [7].

Untuk alasan ini, masalah seperti penyumbatan pipa dan kegagalan pompa dapat terjadi jika uap air tetap ada di dalam pipa, atau di bagian dalam tangki dan di tempat lainnya. Oleh karena itu, kelembaban harus dikurangi sampai tingkat dimana tidak ada tidak ada pengaruh buruk sebelum masuknya LNG dengan melalui proses *pengeringan* [6].

Setelah dilakukan proses *purging* dan *pengeringan*, maka proses *cooling down* menggunakan LNG dapat dilakukan. Proses pendinginan tangki bertujuan untuk menurunkan temperatur peralatan dan sistem perpipaan hingga mendekati temperatur operasi LNG. Ini membantu untuk menghindari adanya kerusakan pada struktur tangki dan perpipaan, yang berkaitan dengan ekspansi termal dari material [5].

Salah satu permasalahan yang dihadapi saat dimulainya proses *cooling down* yaitu adanya kemungkinan kebocoran pada *flange* pipa karena adanya *thermal bowing* pada saat LNG mulai dimasukkan kedalam pipa.

Fenomena *bowing* disebabkan karena bagian bawah pipa yang sudah didinginkan terjadi deformasi dan pipa menjadi melengkung karena adanya perbedaan kontraksi panas antara bagian atas dan bawah pipa ketika LNG mengalir ke pipa yang didinginkan. Jika deformasi ini melebihi tingkat toleransi, ada resiko deformasi tersebut kemungkinan tidak akan pulih sepenuhnya setelah pendinginan dan menciptakan kebocoran LNG [6].

Sistem perpipaan dan tangki yang sudah dilakukan proses *cooling down* harus dijaga temperaturnya demi menjaga kondisi peralatan pada saat hendak dioperasikan. Oleh karena itu, tangki LNG harus dijaga levelnya agar selalu mencapai batas minimumnya (*heel*). Volume LNG minimum yang disimpan dalam tangki untuk

memenuhi *heel* cairan minimum ini dikenal sebagai '*unpumpable*' atau '*dead stock*' [8].

Selama proses *cooling down*, hampir semua LNG yang digunakan akan mengalami penguapan menjadi gas karena perubahan temperatur. Gas ini tentu harus dikeluarkan dari peralatan dan perpipaan untuk menjaga tekanan dalam sistem.

Fasilitas cerobong ventilasi digunakan untuk melepaskan gas yang menyimpang dari standar kualitas atau untuk melepaskan gas jika tekanan di fasilitas seperti tangki LNG atau *vaporizer* meningkat secara tidak biasa karena beragam sebab. Jika tidak ada konsumen yang menggunakan kelebihan gas pada saat proses *startup*, kelebihan gas akan dikeluarkan dari cerobong ventilasi [5].

Selisih aman untuk berjaga-jaga agar volume LNG yang digunakan untuk *cooling down* tercukupi diperlukan, meskipun pada prosesnya kegiatan ini mengalami *losses* karena kegiatan pembuangan atau biasa disebut dengan *contingency margin* yang biasanya berkisar antara 5 s.d. 20%.

Association for the Advancement of Cost Engineering mendefinisikan kontingensi sebagai suatu nilai yang ditambahkan sebagai estimasi untuk memungkinkan suatu item, kondisi atau peristiwa yang keadaan, kejadian atau efeknya tidak pasti dan berdasarkan pengalaman menunjukkan kemungkinan akan terjadi, secara agregat, dalam biaya tambahan. Biasanya diestimasi menggunakan analisa statistik atau penilaian berdasarkan aset di masa lalu atau pengalaman suatu proyek [9].

Sebelum pengamatan ini dilakukan, terlebih dahulu dibandingkan dengan penelitian-penelitian mengenai topik terkait yang telah ada sebelumnya dan didapatkan ada dua penelitian tentang *cooling down*.

Kedua penelitian terdahulu ini mempunyai *research gap* dengan penelitian ini. penelitian yang dilakukan oleh Hairil Anwar berfokus untuk *cooling down* satu unit peralatan saja yaitu *loading arm* [10]. Sedangkan penelitian ini mencakup seluruh

peralatan dan sistem perpipaan di fasilitas LNG Hub dan tidak termasuk *loading arm*.

Sedangkan untuk kajian yang dilakukan oleh Kulitsa dan Wood berfokus pada *cooling down* tangki kapal LNG. Proses pendinginan ini dilakukan sesaat sebelum sampai di pelabuhan untuk menerima LNG [11].

Akan tetapi, proses *cooling down* yang dilakukan tersebut bukanlah proses *cooling down* dari temperatur ambien, melainkan sudah hampir mencapai temperatur operasional LNG (-160 °C) yaitu berkisar antara sekitar -70 °C sampai -120 °C [11].

Kajian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah melakukan *cooling down* pada seluruh peralatan dan sistem perpipaan fasilitas LNG Hub pada temperatur ambien, sehingga berbeda dengan kajian terdahulu yang telah dilakukan.

METODE

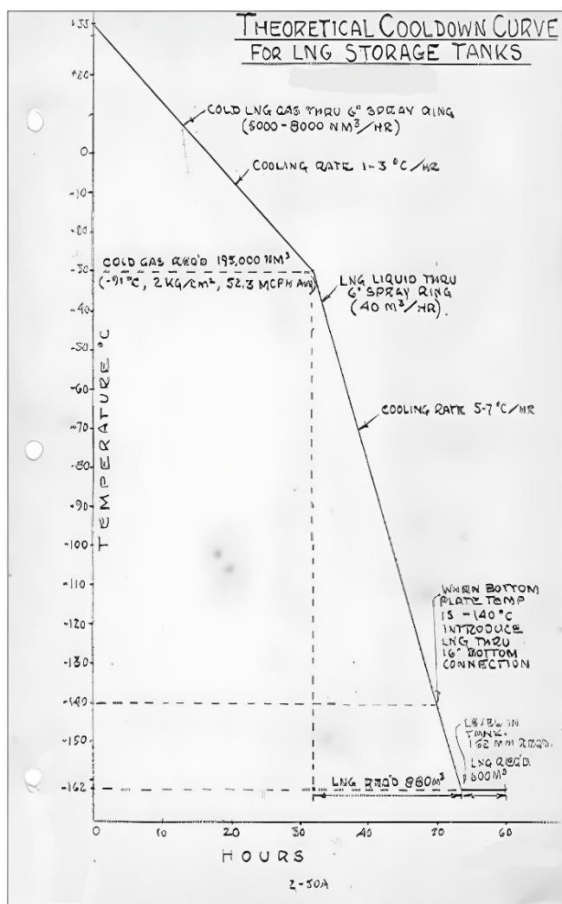
Proses *cooling down* dilakukan dengan cara mengalirkan LNG menuju dua tangki penyimpanan LNG, kemudian setelah temperatur tangki sudah mencapai temperatur operasionalnya dan level LNG sudah terakumulasi dalam tangki, kemudian LNG dialirkan ke sistem perpipaan hingga menuju pelabuhan.

Pengambilan Data

Data yang diperlukan dalam kajian ini yaitu spesifikasi pipa (diameter dan panjang) dan kurva *cooling down* tangki LNG teoritis. Data diameter dan panjang pipa digunakan untuk menghitung volume sistem perpipaan, sedangkan kurva digunakan untuk perhitungan volume LNG *cooling down* sesuai dengan anjuran manufaktur seperti ditampilkan pada Gambar 1.

Menentukan Volume Perpipaan

Volume pipa dan luas selimut dihitung dengan menggunakan rumus luas tabung dengan menggunakan data diameter dan panjang pipa.



Gambar 1. Kurva *cooling down* teoritis untuk tangki penyimpanan LNG

Menentukan Kebutuhan LNG untuk *Cooling Down*

Perhitungan ini meliputi volume LNG untuk menurunkan temperatur sistem perpipaan dan dua unit tangki LNG hingga mendekati temperatur operasional LNG berdasarkan kurva *cooling down* teoritis.

Langkah ini meliputi perhitungan berikut ini.

- a. *Cooling down* melalui 6” *spray ring* dengan LNG gas (33°C s.d. -30°C).

- b. *Cooling down* dengan LNG liquid melalui 6” *spray ring* (-30°C s.d. -140°C).
- c. *Cooling down* dengan LNG liquid melalui *line bottom* (-140°C s.d. -158°C).
- d. LNG yang dibutuhkan untuk mengisi 152 mm level tangki.
- e. *Cooling down* sistem perpipaan.

Menentukan Kebutuhan LNG untuk *Dead Stock* Tangki dan Perpipaan

Perhitungan ini meliputi jumlah LNG yang diperlukan untuk menjaga agar level tangki LNG mencapai *heel* (minimum level LNG dalam tangki) dan kebutuhan LNG untuk sirkulasi dapat tercapai.

Membandingkan Hasil Perhitungan Teoritis dengan Kondisi Aktual

Dalam langkah ini dilakukan perbandingan antara hasil perhitungan kebutuhan volume LNG secara teoritis dan dibandingkan dengan volume LNG yang digunakan untuk *cooling down* pada kondisi aktual.

Selain itu, dilakukan juga analisa tentang perubahan metode *cooling down* fasilitas LNG Hub ini dengan fasilitas regasifikasi dan pengaruhnya terhadap jumlah volume LNG dan waktu yang dibutuhkan untuk proses *cooling down* ini berlangsung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Volume LNG untuk *Cooling Down* Sistem Perpipaan

Volume perpipaan fasilitas LNG Hub ini meliputi volume perpipaan yang dilalui oleh cairan LNG dan maupun perpipaan *Boil Off Gas* (BOG).

Dengan menggunakan data panjang dan diameter perpipaan LNG maka didapatkan volume perpipaan cairan LNG seperti ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Volume perpipaan fasilitas LNG Hub

Keterangan	Volume (m ³)
Volume perpipaan LNG	2.302,9525
Volume perpipaan BOG	95,8514
Total	2.398,8017

Dengan mengasumsikan jumlah volume LNG yang diperlukan untuk *cooling down* perpipaan sebanding atau sama dengan volume sistem perpipaan maka diperoleh total volume LNG yang diperlukan untuk *cooling down* sistem perpipaan fasilitas LNG Hub sebesar 2.398,8017 m³, atau dibulatkan menjadi 2.400 m³.

Perhitungan Volume LNG untuk Cooling Down Teoritis dan Aktual

Perhitungan volume LNG teoritis dilakukan dengan menggunakan kurva *cooling down* teoritis untuk tangki LNG serta ditambah dengan total volume perpipaan seperti dalam Tabel 1, maka diperoleh hasil perhitungan volume LNG yang diperlukan untuk *cooling down* yang ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan LNG teoritis yang diperlukan untuk *cooling down*

No	Deskripsi	Volume LNG (m ³)
1	Initial Cooldown (Cold BOG)	853,3333
2	Cooling down dengan LNG liquid melalui 6" spray ring dua unit tangki	1.440
3	Cooling down dengan LNG liquid melalui line bottom untuk dua unit tangki	920
4	LNG dibutuhkan untuk 152 mm level untuk dua unit tangki	1.200
5	Cooling down sistem perpipaan	2.400
	Total	6.813,3333
	Dengan Contingency Margin 20%	8176

Secara aktual, jumlah volume LNG yang digunakan untuk *cooling down* dapat dihitung dengan menggunakan prinsip neraca massa, yaitu dengan mendapatkan

total inventori volume LNG yang berkurang selama periode *cooling down* dan dikurangi dengan SOG (*Send Out Gas*) yang disalurkan konsumen.

Adapun hasil perhitungan jumlah volume LNG aktual yang digunakan untuk proses *cooling down* fasilitas LNG Hub ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil perhitungan volume LNG aktual untuk *cooling down*

	Deskripsi	Total (m ³)
A	Inventori LNG 19 Maret 2019	199.092,8000
B	Inventori LNG 1 April 2019	118.740,0600
C	Selisih Inventori	80.352,7400
D	Send Out Gas	73.339,0780
	Volume LNG Untuk Cooling Down (A-B-C-D)	7.013,6620

Perhitungan volume LNG aktual yang digunakan untuk *cooling down* didapatkan sebesar 7.013,6620 m³. Secara teoritis, jumlah volume LNG yang diperlukan untuk *cooling down* sebesar 6813,3333 m³ atau dengan jumlah kontingensi margin 20% menjadi 8176 m³, sedangkan nilai aktual didapatkan sebanyak 7.013,6620 m³.

Selisih antara jumlah volume LNG teoritis dan aktual didapatkan 1.162,3380 m³ apabila dibandingkan dengan nilai teoritis yang telah ditambahkan kontingensi margin 20% seperti ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan volume LNG untuk *cooling down* aktual dan teoritis

No	Deskripsi	Volume (m ³)
1	Teoritis	6.813,3333
2	Teoritis dengan kontingensi 20%	8.176
3	Aktual	7.013,6620
	Selisih (2 - 3)	1.162,3380

Volume aktual didapatkan lebih besar dari volume teoritis sebelum ditambahkan dengan kontingensi. Jumlah volume aktual ini dapat dikatakan wajar karena masih dalam nilai teoritis dengan kontingensi margin 20%. Nilai volume LNG aktual

hanya berselisih kurang dari 3% saja sebelum ditambahkan dengan kontingensi.

Dalam suatu proyek, kontingensi margin ini ditambahkan untuk berjaga-jaga jika ada suatu keadaan yang membuat adanya losses atau biaya yang dikeluarkan suatu proyek menjadi lebih besar dari biaya awal. Maka, jumlah losses selama proses *cooling down* fasilitas LNG Hub ini disimpulkan dapat ditoleransi karena masih berada dalam estimasi.

Perhitungan Volume LNG untuk Dead Stock

Setelah mencapai temperatur operasional LNG, tangki dan sistem perpipaan yang sudah dilakukan *cooling down* harus dijaga temperturnya demi menjaga kondisi peralatan agar dapat dioperasikan. Oleh karena itu tangki LNG harus dijaga levelnya agar tetap di atas batas minimum. Sistem perpipaan juga harus dilakukan sirkulasi secara kontinyu untuk menjaga kondisi tangki dan sistem perpipaan.

Jumlah LNG yang diperlukan untuk menjaga minimum level tangki dan kebutuhan untuk sirkulasi ini disebut *dead stock*. Dari hasil perhitungan diperoleh volume yang dibutuhkan untuk *dead stock* pada sistem perpipaan dan dua unit tangki LNG seperti ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil perhitungan LNG yang diperlukan untuk *dead stock*

No	Dead Stock	Volume LNG (m ³)
1	Tangki F-01	11.550
2	Tangki F-02	11.550
3	Pipeline LNG	2.302,9525
	Total	25.402,9525

Dari hasil perhitungan, didapatkan volume *dead stock* untuk satu unit tangki LNG sebesar 11.550 m³, maka untuk dua unit tangki LNG didapatkan sebesar 23.100 m³. Sementara volume *dead stock* pada sistem perpipaan diperoleh sebesar

2.302,9525 m³. Sehingga total volume LNG yang diperlukan untuk menjaga minimum level tangki dan keperluan sirkulasi (*dead stock*) fasilitas LNG Hub sebesar 25.402,9525 m³.

Perbandingan Volume LNG Aktual untuk Cooling Down Fasilitas LNG Hub dengan Regasifikasi

Sebelum dilakukan proses *cooling down* fasilitas LNG Hub, perusahaan pengelola fasilitas LNG Hub sudah terlebih dahulu melakukan proses *cooling down* fasilitas regasifikasi. Kemudian, volume LNG yang digunakan untuk *cooling down* fasilitas regasifikasi dan LNG Hub dibandingkan seperti ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan volume LNG untuk *cooling down* aktual fasilitas LNG Hub dan regasifikasi

No	Fasilitas	Volume (m ³)
1	LNG Hub	7.013,6620
2	Regasifikasi	11.573,1900
	Selisih	4.559,5280

Dari Tabel 6 didapatkan bahwa jumlah volume LNG yang digunakan untuk *cooling down* fasilitas regasifikasi lebih banyak yaitu 11.573,1900 m³ dibandingkan volume LNG aktual dengan selisih sebesar 4.559,5280 m³. Fasilitas regasifikasi menggunakan volume LNG lebih banyak dapat disebabkan oleh beberapa hal, diantaranya karena volume perpipaannya lebih besar dan juga karena perbedaan mekanisme *cooling down*nya.

Mekanisme *cooling down* fasilitas regasifikasi dilakukan mulai dari tangki kapal LNG menuju tangki LNG. Tahapan ini membuat losses lebih banyak karena proses *cooling down* harus melalui pipa dengan panjang lebih dari 1.500 m sebelum masuk ke tangki LNG.

Proses *cooling down* LNG Hub dimulai dari tangki LNG menuju pelabuhan sehingga *liquid* LNG sudah terakumulasi

terlebih dahulu selanjutnya dialirkan ke perpipaan secara perlahan.

Sedangkan untuk fasilitas regasifikasi, LNG yang mengalir lebih banyak menguap dan harus dibuang terlebih untuk mencegah tekanan berlebihan dalam pipa sebelum terakumulasi dalam tangki LNG.

KESIMPULAN

1. Volume LNG yang diperlukan untuk *cooling down* sistem perpipaan dan peralatan fasilitas LNG Hub adalah 2.400 m³.
2. Volume LNG yang digunakan untuk *cooling down* dua unit tangki fasilitas LNG Hub secara teoritis adalah sebesar 8.176 m³ dan aktual sebesar 7.013,6620 m³.
3. Volume LNG yang diperlukan untuk *dead stock* dua unit tangki dan sistem perpipaan adalah sebesar 25.402,9525 m³.
4. Volume LNG aktual yang digunakan untuk *cooling down* regasifikasi sebesar 11.573,1900 m³. Terdapat selisih sebesar 4.559,5280 m³ antara volume LNG aktual untuk *cooling down* fasilitas regasifikasi dengan fasilitas LNG Hub.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dobrota Đ., B. Lalić, and I. Komar, 2013. *Problem of boil-off in LNG supply chain*. Transactions on maritime science, Vol. 2, No. 02, pp. 91-100.
- [2] Clews R., 2016. *Project finance for the international petroleum industry*. 2016: Academic Press.
- [3] Yang Z., H. Chen, and M. Shao, 2017. *The behavior of liquefied natural gas in storage tanks*. Petroleum Science and Technology, Vol. 35, No. 2, pp. 206-210.
- [4] Kalbarczyk-Jedynak A. and W. Ślaczka, 2018. *Dimensioning of danger zones emerging as a domino effect of an LNG explosion for industrial plants located in the vicinity of inland transport fairways*. New Trends in Production Engineering, Vol. 1, No. 1, pp. 73-79.
- [5] Ezzarhouni, A., 2015. *Behind the design – outline how a sump well design can be used to increase LNG tank asset monetisation*. Gaztransport & Technigaz (GTT), Saint-Rémy-lès-Chevreuse.
- [6] Morise, T., Shirakawa, Y., Meguro, T., 2007. *Applying optimum commissioning technology of LNG receiving terminal*. Gas Technology Institute, Barcelona.
- [7] Yuanling, S., 2019. *Nitrogen drying and purging dynamic simulation of 200,000 m³ LNG storage tank*. IGT International Liquefied Natural Gas Conference Proceedings, Shanghai.
- [8] Piasecki, T., Bejger, A., Wieczorek, A., 2021. *Experimental studies of cargo tank cooldown in an LNG carrier*. European Research Studies Journal Volume XXIV, No. 3B, 886-895.
- [9] Bakhshi P. and A. Touran, 2014. *An overview of budget contingency calculation methods in construction industry*. Procedia Engineering, Vol. 85, pp. 52-60.
- [10] Anwar, H., 2016. *Optimasi proses cooling down LNG liquid loading arms di loading dock #2 PT Badak NGL*. Politeknik Negeri Samarinda, Samarinda.
- [11] Kulitsa M. and D.A. Wood, 2020. *Boil-off gas balanced method of cool down for liquefied natural gas tanks at sea*. Advances in Geo-Energy Research, Vol. 4, No. 2, pp. 199-206.