

Desain LNG Storage Tank dan Sistem Refrigerasinya untuk Mobil Berbahan Bakar Gas

Rudianto¹, Muh. Anis Mustaghfirin², Perkik Mahardhika³

D4 Teknik Permesinan Kapal, Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia¹

D4 Teknik Permesinan Kapal, Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

D4 Teknik Perpipaan, Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia³

Email: rudiantonatalegawa@gmail.com¹; mustaghfirin@gmail.com²; pekikmahardhika@ppns.ac.id³

Abstract – LNG or liquified natural gas is gas that used as fuel in industrial sector. LNG gas has critical point -118°C . But when it's used on cramped vehicle, it's needed special cryogenic tank to keep LNG temperature. Therefore, it needs to be designed LNG storage tank in gas-fuelled car with PV elite software. Previous research has already been conducted on the LNG-fuelled truck. This study purpose to created a tank design support equipment and cascade refrigeration system with LMTD method. This tank was made to save and survive the existance of LNG fuel. The design calculation result of refrigeration system has obtained 4 stage cascade system. Refrigerant used is 134a, Ethane, methane, and Ethylane. Cooling load is very small 28,77 Watts, so can be used small compressor 1/10 PK. The heat exchanger design are obtained at stage bottom-up use $\frac{1}{4}$ in copper pipe wuth a leght 8,5 cm, 8,51 cm, 11,53 cm, and 18,58 cm. And capillary pipe design is obtained from bottom-up stage with diameter 0, 26 in, 0,31 in, 0,33 in, 0,31 in, and 0,59 in with leght 3,8 m, 1,2 m, 1,4 m, 1,9 m, and 4,6 m.

Keyword: Storage Tank, LNG, Cascade, Heat Exchanger,

Nomenclature

\dot{m}	mass flow rate
h	enthalphy
p	pressure
f	friction factor
ΔL	panjang tube
D	inner diameter tube
A	crosssectional-area inside of tube
v	volume spesifik
V	kecepatan refrigerant
w	mass flow rate
g	gravitasi
k	konduktivitas termal
ΔT	selisih temperature
N	jumlah pipa dalam tube
ρ	massa jenis
OD	outer diameter tube
μ	viskositas
α_{tp}	koefisien evaporasi dalam pipa
F	2 fase shell and tube
S	Chen boiling suppression factor
U_0	koefisien perpindahan panas total
A_0	luas panas
LMTD	log mean temperature different

1. PENDAHULUAN

Indonesia telah mempercepat pemanfaatan bahan bakar gas (BBG) untuk kendaraan transportasi jalan. Melalui peraturan menteri ESDM (2017), pada nantinya pemerintah mewajibkan Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) di daerah tertentu menyediakan sarana pengisian BBG CNG paling sedikit satu dispenser [1]. LNG atau liquified natural gas merupakan suatu gas yang mengandung komposisi kimia yang paling banyak yaitu methane (CH₄). Dibandingkan dengan bensin dan solar, LNG

lebih ramah lingkungan karena dapat mengurangi emisi sekitar 85%, Pertamina (2017) [2]. LNG memiliki nilai densitas energi 3 (tiga) kali lebih besar pada volume yang sama jika dibandingkan dengan CNG. LNG dapat disimpan dalam tekanan rendah (13 bar), dan memiliki jarak tempuh yang lebih panjang.

LNG digunakan sebagai bahan bakar di sektor industri antara lain pada industri pembangkit. Akan tetapi apabila digunakan pada kendaraan, maka diperlukan tanki cryogenic untuk mempertahankan suhu LNG. Riset mengenai desain LNG storage sudah pernah dilakukan oleh (Tang, 2016) [3], meneliti tentang Truk berbahan bakar LNG. Penelitian ini masih terdapat banyak kekurangan. Diantara kekurangan tersebut adalah LNG disimpan dalam bentuk cair dengan memasang pressure regulator yang digunakan saat proses regasifikasi. Akibatnya LNG tidak bisa disimpan dalam waktu lama. Pada penelitian ini akan didesain LNG storage tank pada mobil berbahan bakar gas yang memiliki ruang lebih sempit yang dapat disimpan secara long stored.

2. METODOLOGI

Refrigerasi merupakan proses perpindahan kalor dari media bertemperatur rendah ke media bertemperatur tinggi, dan memindahkan kalor tersebut ke suatu medium tertentu yang memiliki temperatur lebih rendah serta menjaga kondisi tersebut sesuai yang dibutuhkan. Sistem refrigerasi cascade merupakan sistem refrigerasi yang terdiri dari dua model atau lebih siklus refrigerasi tunggal. Pada tingkat pertama biasa disebut sebagai siklus temperatur tinggi (High Stage/HS) dan yang kedua disebut siklus temperatur rendah (Low Stage/LS).

Pada prinsipnya efek refrigerasi yang dihasilkan oleh evaporator high-stage dimanfaatkan untuk menyerap kalor yang dilepas oleh low-stage sehingga didapatkan temperatur yang sangat rendah. Pada cascade temperatur tinggi (HS) menghasilkan refrigerasi pada temperatur rendah tertentu. Cascade temperatur rendah (LS) menghasilkan refrigerasi temperatur lebih rendah dibandingkan HS. Dan perlu diperhatikan setiap cascade mempunyai refrigeran berbeda. Setiap refrigerant dapat dipilih berdasarkan kisaran temperatur yang diperlukan. Refrigerant yang digunakan adalah R134a, Ethane, Ethylene, dan Methane. Skematik diagram prototype bisa dilihat pada gambar 1.

Sistem ini menggunakan proses pendinginan pada umumnya yaitu dengan memanfaatkan beda temperature antara heat exchangenya dengan interval temperatur 10°C di setiap stage cascade. Sistem bekerja dari temperature high cascade stage 40°C. Pada condenser dan -118°C pada evaporator low cascade stage sehingga dapat mendinginkan LNG yang berada pada temperature -118 °C.

Pada saat start, refrigeran R 134a akan didinginkan oleh udara luar melewati condenser dengan temperatur udara luar 30°C. Selanjutnya, refrigeran berekspansi menuju heat exchanger untuk mendinginkan stage yang ada di bawahnya yang mempunyai refrigeran yang berbeda, sehingga range refrigerasinya besar dan kerja compresor jadi lebih kecil. Pada stage selanjutnya refrigeran dengan tipe yang berbeda akan bekerja dengan cara yang sama seperti sebelumnya.

2.1 Komponen Sistim Refrigerasi

Dalam buku perpindahan panas untuk politeknik (George, 2015) [4], komponen sistem refrigerasi meliputi:

a. Kompresor

$$W_{comp} = \dot{m}(h_2 - h_1) \quad (1)$$

b. Kondensor

$$\dot{Q}_c = \dot{m}(h_2 - h_3) \quad (2)$$

c. Evaporator

$$\dot{Q}_e = \dot{m}(h_1 - h_4) \quad (3)$$

d. Pipa Kapiler

$$\left[(p_1 - p_2) - f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{V^2}{D} \right] \times A = w \times (V_2 - V_1) \quad (4)$$

e. Heat Exchanger

Dalam buku Refrigeration and Conditioning (W. F. Stoecker, 1987) [5], desain heat exchanger dapat dihitung:

$$h_{cond} = 0,725 \times \left[\frac{g \times \rho^2 \times h f g \times k^3}{\mu \times \Delta T \times N \times OD} \right]^{1/4} \quad (5)$$

$$\alpha_{tp} = \alpha_{FZ} S + \alpha_L F \quad (6)$$

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{h_{cond}} + \text{resistance of tube} + \left(\frac{OD}{ID} \times \text{fouling number} \right) + \left(\frac{OD}{ID} \times \frac{1}{\alpha_{tp}} \right) \quad (7)$$

$$A_0 = \frac{Q_{cond}}{U_0 \times LM_{TD}} \quad (8)$$

$$L = \frac{A_0}{\text{jumlah tube} \times OD \times \pi} \quad (9)$$

2.2 Perpindahan Panas

Perpindahan konduksi pada lapisan silinder memiliki rumus tersendiri:

$$\dot{Q}_{Cond,cyl} = \frac{T_1 - T_2}{\frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi \cdot L \cdot k}} \quad (10)$$

2.3 Kriteria Perancangan

Jenis mobil yang digunakan adalah mobil tipe MVP. Dalam pendesainan ini dipilih mobil Toyota Inova yang mempunyai panjang x lebar x tinggi ruang bagasi 100 cm x 35 cm x 65 cm.

2.4 Pembuatan Prototype

Setelah tahap pendesainan selesai, maka dilakukan pembuatan prototype sistim tanki penyimpanan untuk mobil berbahan gas LNG. Pembuatan prototype dilakukan di Lab Fluida kampus Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Desain Tanki

Tanki didesain berbentuk silinder menggunakan software PV Elite. Material yang digunakan adalah stainless steel 304 dengan ketebalan 3 mm, kemudian di isolasi menggunakan insulasi udara vakum (*stagnant air space insulation*) dengan tebal 15 mm. Alasan digunakan udara vakum sebagai isolator karena udara vakum memiliki konduktivitas termal material sangat rendah yaitu 0,026. Insulasi jenis ini dapat menghemat tempat jika dibandingkan dengan insulasi lainnya seperti Polyurethane. Dimensi tanki ini yaitu memiliki lebar 50 cm dan lebar diameter dalam 30 cm. Desain tanki ditunjukkan pada gambar 2.

Detail dimensi tanki:

Diameter tanki	: 300 mm	= 0,3 m
Lebar tanki	: 500 mm	= 0,5 m
Tebal stainlesssteel	: 3 mm	= 0,003 m
Tebal insulasi	: 15 mm	= 0,015 m

b. Perhitungan tahanan termal tanki

Setiap material mempunyai konduktivitas thermal sendiri, semakin rendah nilai konduktivitas thermal (h) suatu material maka semakin baik digunakan sebagai insulasi. Hasil Perhitungan tahanan termal tanki disajikan pada tabel 1. Sehingga didapatkan beban (Q) dari tanki LNG storage sebesar 95,4 Watt.

c. Perhitungan sistim pendingin

Setelah di ketahui beban panas (Q) pada tanki tahap selanjutnya adalah menghitung sistem cascade yang dibutuhkan untuk mencapai suhu -118°C. Hasil perhitungan sistem pendingin, heat exchanger, dan pipa kapiler dimulai dari stage paling bawah dengan menggunakan refrigeran, methane, Ethylene, Ethane, dan R134a ditunjukkan pada table 2.

d. Pembuatan Prototype

Tujuan pembuatan prototype adalah untuk membuktikan bahwa sistem pendinginan cascade mampu menurunkan suhu secara signifikan. Pembuatan prototype pada perancangan ini meliputi pembuatan *heat exchanger*, pemilihan kompresor, pemilihan pipa kapiler. Pada pembuatan prototype dipilih kompresor dengan daya 1/10 Pk atau 0,0746 Kw. Setelah didapatkan kompresor lalu dilakukan pembuatan heat exchanger bertipe cross flow. Baru kemudian memilih pipa kapiler. Pipa kapiler pada stage atas berdiameter 0,042 in dengan panjang 1,5 m. Sedangkan untuk stage bawah berdiameter 0,07 in dengan panjang 4,5 m.

e. Pengujian Prototype

Prototype sistem cascade 2 tingkat kemudian dilakukan pengujian. Hasil dari pengujian ini yang nantinya akan digunakan untuk menentukan apakah prototype ini mempunyai kinerja yang sudah sesuai dengan desain. Hasil pengujian ini didapatkan suhu cukup rendah meskipun hanya dua tingkat cascade sistem dengan memakai R134a saja. Hasil pengujian prototype dapat dilihat pada table 3. Dari hasil pengujian pada stage pertama desain -10°C pada saat pengujian hasilnya didapatkan suhu -13,3°C pada stage pertama desain -10°C pada saat pengujian hasilnya. Sedangkan pada stage kedua didapatkan -22,7°C, padahal suhu yang direncanakan untuk stage kedua seharusnya -48°C. Hal ini karena refrigeran yang dipakai pada stage kedua menggunakan R134a bukan ethylene.

3.1 Tabel

Tabel 1: Hasil Perhitungan Tahanan Termal

Tahanan Termal	Nilai Tahanan Termal
<i>Convection boiling condensation gases</i>	0,00925
<i>Thermal conduction staillessteel</i>	0,00021
<i>Thermal conduction udara vakum</i>	0,5198
<i>Thermal conduction stainlessateel</i>	0,001025
<i>Free convection natural gas</i>	1,001
Tahanan total	1,6

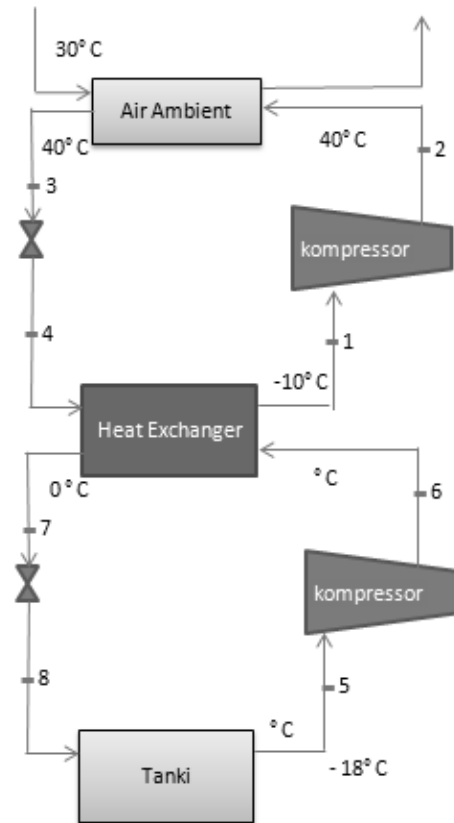
Tabel 2: Hasil Perhitungan Sistem Pendingin, Heat Exchanger dan Pipa Kapiler

Sistem Pendingin	Beban Kompresor	Diameter HE	Panjang HE	Diameter Pipa Kapiler	Panjang Pipa Kapiler
Stage 1	0,028 kW	¼ in	8,5 cm	0,26 in	3,8 m
Stage 2	0,031 kW	¼ in	8,6 cm	0,31 in	1,2 m
Stage 3	0,386 kW	¼ in	11,53 cm	0,33 in	1,4 m
Stage 4	0,057 kW	¼ in	18,5 cm	0,26 in	1,9 m
Stage 5	0,072 kW	¼ in	-	0,59 in	4,9 m

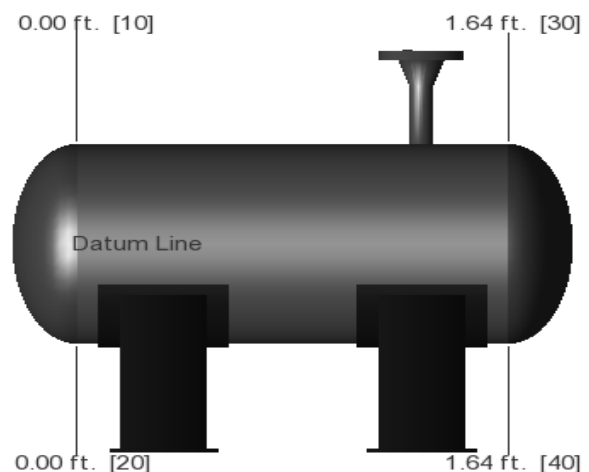
Tabel 3: Hasil Pengujian Prototype

Stage	Reftigeran	Suhu Desain	Suhu Pengujian
Pertama	R 134a	-10 ⁰ C	-13,3 ⁰ C
Kedua	R 134a	-18 ⁰ C	-22,7 ⁰ C
Kedua	Ethylene	-48 ⁰ C	-

3.2 Ilustrasi dan Foto/Gambar



Gambar 1. Skematik diagram cascade



Gambar 2. Desain Tanki Tampak Samping Menggunakan PV Elite

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang didapatkan:

1. Dari hasil desain PV Elite tanki didesain menggunakan material stainlesssteel berinsulasi udara vakum dengan ketebalan masing-masing 3 mm dan 1,5 cm. Desain tanki dilengkapi dengan saddle sebagai penyangga tanki dengan ketinggian 12,6 cm dari floor.
2. Dari hasil perhitungan sistim refrigerasi, didapatkan 4 stage sistim pendinginan cascade. Refrigeran yang digunakan adalah R134a, Ethane, Ethylane, dan Methane. Beban pendinginan tanki cukup kecil yaitu 28,77 watt. Sehingga dapat memakai kompresor kecil berdaya 1/10 PK untuk memkasimal ruang di bagasi mobil. Didapatkan desain heat exchanger pada stage bawah ke atas menggunakan pipa tembaga $\frac{1}{4}$ in dengan panjang 8,5 cm, 8,51 cm, 11,53 cm, dan 18,58 cm. Dan didapatkan desain pipa kapiler dari stage bawah ke atas dengan diameter pipa 0,26 in, 0,31 in, 0,33 in, 0,31 in, dan 0,59 in dengan panjang 3,8 m, 1,2 m, 1,4 m, 1,9 m, 4,6 m.

6. PUSTAKA

- [1] Kementrian ESDM, [Online], Available: <http://www.migas.esdm.go.id/post/read/peraturan-menteri-esdm-nomor-25-tahun-2017-tentang-percepatan-pemanfaatan-bahan-bakar-gas-untuk-transportasi-jalan> [28 Oktober 2017]
- [2] Pertamina, [Online], Available: <https://www.pertamina.com/id/viewarchive/news-release/pertamina-rintis-pemanfaatan-lng-untuk-transportasi-dan-rumah-tangga> [23 Oktober 2017]
- [3] Tang Qijun, (2016). Performance Improvement of Liquefied Natural Gas (LNG) Engine Through Intake Air Supply. Human University. China.
- [4] George Endri K., (2015). Perpindahan Panas untuk Politeknik. Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Surabaya.
- [5] W. F. Stoecker, (1987). Refrigeration and Air Conditioning. University of Illinions at Urbana-Campaign. Amerika