

EFEK PENAMBAHAN ANTI-SLOSHING PADA TANGKI KOTAK BERMUATAN LNG AKIBAT GERAKAN ROLLING KAPAL

SatrioAgi Nugraha¹, Murdjito²

^{1,2}Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Surabaya

¹agigatama@gmail.com; ²murdjito@oe.its.ac.id

Abstract

Sloshing can be interpreted as the free movement of liquid fluid in a container. The problem of sloshing becomes an important phenomenon in an analysis of fluid motion because it can cause damage to the structure in the tank. This study explains the effect of the addition of anti-sloshing to the amount of pressure in the LNG tank box due to the influence of rolling movements that occur on the ship. Tank modeling is done by simplifying the GT NO.96 membrane-type LNG tank into a rectangular tank with a length (B) 39.36 m and a height (H) 27.89 m using mesh modeling software. There are several variations carried out in this study, namely, variations in the loading of tank loads with a height of 20%, 40%, 50%, and 80% of tank height, variations in the addition of vertical anti-sloshing, variations in the dimensions of horizontal anti-sloshing with variations in the ratio -sloshing (W) and tank length (B), W / B ratio is 0.2 and 0.3, horizontal anti-sloshing dimension variation with a variation of anti-sloshing plate distance to a tank top (h) and tank height (H), h ratio / H are 0.4 and 0.5, the variation of the anti-sloshing dimensions with the variation of the anti-sloshing plate angle (θ) to the horizontal direction is 0o, 5o, and 10o, and the variation of tank movements with periods (T) 17 s, 18 s, 20 s, 21 s, and 25 s. The simulation process is carried out using the Computational Fluid Dynamic (CFD) method using the software. From the simulation results, it can be concluded that the addition of a horizontal anti-sloshing plate is not more effective to reduce the amount of pressure that occurs in the tank when compared to the addition of a vertical anti-sloshing plate.

Keywords : Anti-Sloshing, CFD, LNG, Mesh, Sloshing, box-tank

Abstrak

Sloshing dapat diartikan sebagai gerakan bebas dari fluida cair di dalam sebuah wadah. Masalah sloshing menjadi fenomena penting dalam sebuah analisis gerakan fluida, karena dapat menyebabkan kerusakan pada struktur dalam tangki. Penelitian ini menjelaskan pengaruh adanya penambahan anti-sloshing terhadap besarnya pressure pada tangki kotak bermuatan LNG akibat pengaruh gerakan rolling yang terjadi pada kapal. Pemodelan tangki dilakukan dengan menyederhanakan tangki LNG berjenis membrane GT NO.96 menjadi tangki kotak (rectangular tank) dengan ukuran panjang (B) 39.36 m dan tinggi (H) 27.89 m menggunakan software permodelan mesh. Terdapat beberapa variasi yang dilakukan dalam penelitian ini yaitu, variasi pengisian muatan tangki dengan ketinggian 20%, 40%, 50%, dan 80% dari tinggi tangki, variasi penambahan anti-sloshing vertikal, variasi dimensi anti-sloshing horizontal dengan variasi perbandingan panjang anti-sloshing (W) dan panjang tangki (B), rasio W/B adalah 0.2 dan 0.3, variasi dimensi anti-sloshing horizontal dengan variasi jarak plat anti-sloshing terhadap bagian atas tangki (h) dan tinggi tangki (H), rasio h/H adalah 0.4 dan 0.5, variasi dimensi anti-sloshing dengan variasi sudut plat anti-sloshing (θ) terhadap arah horizontal adalah 0°, 5°, dan 10°, serta variasi gerakan tangki dengan periode (T) 17 s, 18 s, 20 s, 21 s, dan 25 s. Proses simulasi dilakukan dengan metode Computational Fluid Dynamic (CFD) menggunakan bantuan software. Dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa penambahan plat anti-sloshing horizontal tidak lebih efektif untuk mengurangi besarnya pressure yang terjadi di dalam tangki apabila dibandingkan dengan penambahan plat anti-sloshing vertikal.

Kata Kunci : Anti-Sloshing, CFD, LNG, Mesh, Sloshing, Tangki Kotak

1. PENDAHULUAN

Sloshing adalah sebuah fenomena gerakan fluida cair dimana cairan dalam sebuah tangki yang memiliki permukaan bebas bergerak mengenai dinding muatan akibat dari gerakan osilasi. Dalam analisis gerakan *sloshing*, yang menjadi perhatian utama adalah mencegah arah gerakan cairan yang dapat menimbulkan kerusakan pada struktur. Di sisi lain, *anti-sloshing* turut memberi dampak dengan mereduksi besarnya energi kinetik yang diterima tangki ketika kapal melaju. Untuk alasan tersebut, maka analisis gerakan *sloshing* perlu dilakukan untuk mengetahui karakteristik gerakan *sloshing*, serta tekanan yang terjadi pada tangki. Tekanan yang terjadi pada tangki akibat gerak fluida ini menjadi hal yang penting dalam analisis penelitian ini, sehingga dapat menjadi salah satu pertimbangan dalam memilih jenis konstruksi tangki yang tepat agar tidak terjadi kegagalan sistem.

Sloshing memiliki pengaruh yang signifikan terhadap desain dari sebuah tangki [1]. Perilaku dinamis dari sistem ini sangat dipengaruhi oleh adanya dinamika permukaan bebas (*free surface*) sehingga menjadi sangat penting karena berkaitan dengan keamanan sistem transportasi, kehidupan manusia, serta lingkungan.

Ketika frekuensi gerakan tangki dekat dengan salah satu frekuensi alami dari cairan tangki, amplitudo *sloshing* yang besar kemungkinan terjadi. Pada dasarnya, faktor redaman tergantung pada tinggi, viskositas kinematik cair, dan dimensi tangki [2].

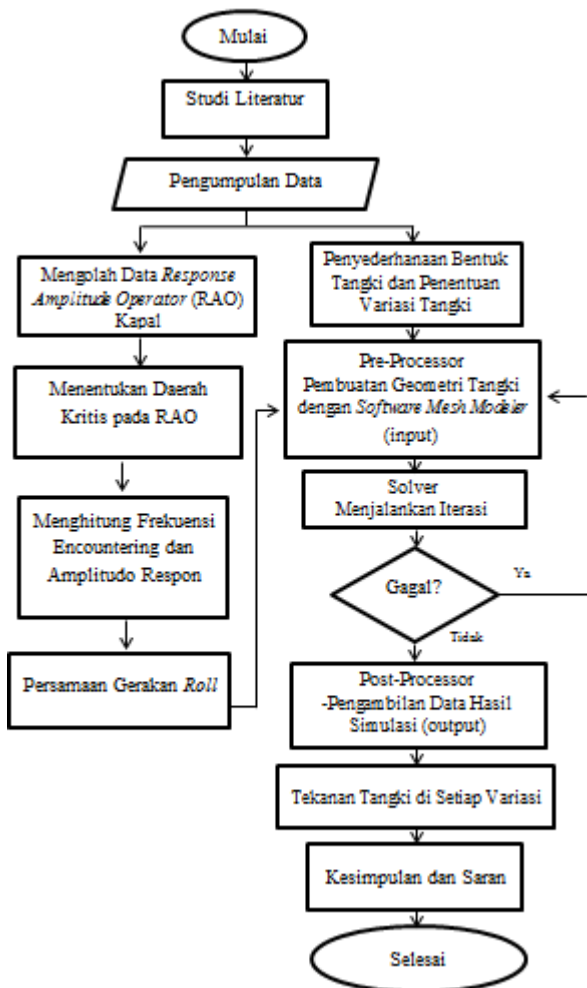
Anti-sloshing, atau disebut juga *baffle*, biasa digunakan untuk meredam gaya yang terjadi pada dinding tangki akibat dari gerakan osilasi pada kapal sehingga mereduksi besarnya hampasan cairan fluida oleh gerak osilasi dari kapal. Selain itu *anti-sloshing* akan menurunkan kecepatan aliran air yang mencoba untuk memukul dinding dengan kecepatan yang tinggi. *Anti-sloshing* dapat ditempatkan di dinding tangki secara vertikal, horizontal, maupun gabungan antara vertikal dan horizontal [3].

Isaacson dan Premasiri [4] telah melakukan penelitian serta sebuah analisis perkiraan besarnya redaman akibat adanya *baffles* pada sebuah tangki kotak dengan gerakan horizontal. Dengan menyelidiki besarnya efektifitas dari setiap konfigurasi *baffle*, maka diketahui *baffle* yang berada dekat dengan daerah permukaan bebas memberikan redaman lebih besar dibandingkan dengan lainnya. Liu dan Lin [5] melakukan penelitian berhubungan dengan *sloshing* pada tangki berbentuk kotak dengan adanya *baffles*. Metode *Volume of Fluid (VOF)* digunakan untuk melacak pergerakan dari fluida pada permukaan bebas. Dari penelitian tersebut mereka menemukan bahwa *baffle* vertikal lebih efektif jika dibandingkan dengan *baffle* horizontal dalam mereduksi tekanan pada dinding tangki.

Variasi pada penelitian ini mengacu pada jurnal ilmiah oleh Lin Lu [7], serta jurnal ilmiah oleh Xue [3]. Dalam jurnal ilmiah tersebut dilakukan percobaan *sloshing* yang terjadi pada tangki kotak dengan dan tanpa adanya pengaruh *baffle* atau disebut juga *anti-sloshing*. Pada penelitian ilmiah tersebut diketahui bahwa pengaruh *anti-sloshing* sangat besar pada daerah yang dekat dengan permukaan bebas cairan.

Pada penelitian ini dilakukan analisis terhadap adanya efek penambahan *anti-sloshing* pada tangki *membrane* berjenis GT NO.96 yang disederhanakan menjadi tangki berbentuk kotak dua dimensi di beberapa variasi meliputi bagian bawah (*bottom*), atas (*top*), kiri (*left*), dan kanan (*right*) tangki akibat gerakan *rolling*.

2. URAIAN PENELITIAN



Gambar. 1. Metodologi Penelitian

A. Data Kapal LNG Carrier Disha

Berikut adalah data Kapal LNG Carrier Disha:

Tabel 1. Data Kapal LNG Carrier Disha [6]

Data Kapal LNG Carrier Disha	
LOA	277 meter
Lpp	266 meter
Breadth	43,4 meter
Depth	26 meter
Draught	11,4 meter
Gross Tonnage	94058 ton
Net Tonnage	28217 ton
Deadweight	70151 ton
Lightweight	29998 ton
Displacement	100149 ton
Design Speed	19,6 knots

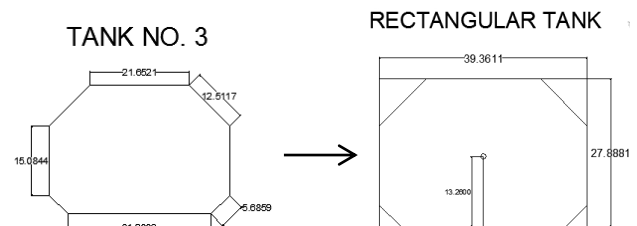


Gambar. 2. Kapal LNG Carrier Disha (sumber: www.shipprofiles.com)

Tabel 2. Data RAO Kapal

T _(second)	ω_e (rad/s)	RAO Roll (deg/m)	T _(second)	ω_e (rad/s)	RAO Roll (deg/m)
3	2,094395	0,024	15	0,418879	1,388
4	1,570796	0,044	16	0,392699	1,945
5	1,256637	0,07	17	0,369599	2,679
6	1,047198	0,104	18	0,349066	4,187
7	0,897598	0,148	19	0,330694	6,199
8	0,785398	0,202	20	0,314159	6,47
9	0,698132	0,268	21	0,299199	5,055
10	0,628319	0,353	22	0,285599	3,936
11	0,571199	0,464	23	0,273182	3,201
12	0,523599	0,6	24	0,261799	2,804
13	0,483322	0,775	25	0,251327	2,465
14	0,448799	1,024			

Setelah dilakukan pengumpulan data-data kapal, selanjutnya penentuan dimensi tangki dilakukan. Tangki merupakan penyederhanaan dari bentuk asli tangki LNG Carrier Disha yang berjenis GT NO.96 menjadi tangki kotak sederhana.



Gambar. 3. Penyederhanaan Tangki

B. Variasi

Terdapat beberapa variasi yang dilakukan, yaitu meliputi variasi *filling level*, variasi dimensi tangki, serta variasi periode gerakan tangki.

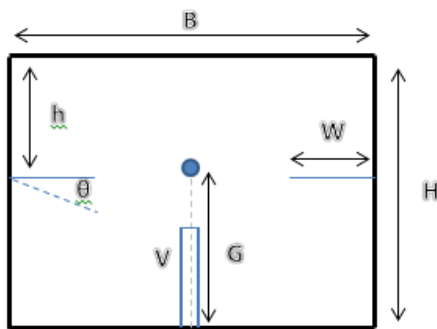
1. Variasi Pengisian Tangki

Variasi pengisian tangki dilakukan dengan 4 variasi ketinggian yang berbeda, yaitu 20%H, 40%H, 50%H, dan 80%H.

2. Variasi Dimensi Tangki

Dalam melakukan analisis maka terdapat variasi dimensi tangki untuk melihat pengaruh perubahan tekanan yang terjadi akibat variasi pada dimensi tangki. Berikut beberapa variasi yang digunakan dalam penelitian ini:

- G = 13,26 m (16,46 m from Baseline)
- B = 39,36 m
- H = 27,89 m



Gambar. 4. Kerangka Dimensi Variasi Tangki

Tabel 3. Variasi Dimensi Tangki

Variasi		Dimensi
Horizontal <i>Anti-Sloshing</i>	W/B	0,2
	h/H	0,4
Vertical <i>Anti-Sloshing</i>	V	7 meter
Sudut Horizontal <i>Anti-Sloshing</i>	θ	0 derajat
		5 derajat
		10 derajat

3. Variasi Periode

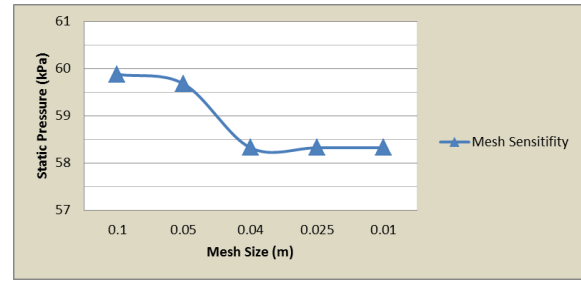
Adapun variasi periode dilakukan dengan beberapa variasi dengan mempertimbangkan titik kritis dari *Response Amplitude Operator* (RAO) yang diperoleh. Berikut adalah beberapa variasi gerakan tangki berdasarkan periode gelombang.

Tabel 4. Variasi Periode

T (s)	H (m)	ξ_0 (degree)	ξ_0 (radian)	$\xi_{(t)} = \xi_0 \cos \omega e t$
17	4	5,358	0,0935	0,0935 cos 0,3696 t
18	4	8,374	0,1462	0,1462 cos 0,3491 t
20	4	12,94	0,2258	0,2258 cos 0,3142 t
21	4	10,11	0,1765	0,1765 cos 0,2992 t
25	4	4,93	0,0860	0,0860 cos 0,2513 t

C. Uji Sensitifitas Mesh

Uji sensitifitas *mesh* dilakukan dengan 5 kondisi *meshing* yang berbeda, yaitu ukuran 0,01 m, 0,025 m, 0,04 m, 0,05 m, dan 0,1 m. Berikut adalah hasil dari uji sensitifitas *mesh* pada proses analisis *static pressure* bagian bawah (*bottom*) tangki dengan *filling level* 80%.



Gambar. 5. Uji Sensitifitas Mesh

Dengan hasil tersebut maka diputuskan untuk memilih mesh dengan ukuran dimana terjadinya kondisi perubahan selisih menuju konstan, yaitu 0,025 m dengan pertimbangan bahwa nilai yang mendekati konstan pada *mesh* tersebut menunjukkan kestabilan hasil yang diperoleh sehingga akan semakin baik meskipun waktu dalam penyelesaian menjadi lebih lama. Berikut tabel rangkuman hasil uji sensitifitas *mesh*:

Tabel 5. Rangkuman Hasil Uji Sensitifitas Mesh

Ukuran Mesh (m)	Selisih Terhadap Mesh 0,01 m (kPa)	Persentase Error (%)
0,1	1,5535	2,664
0,05	1,3503	2,315
0,04	0,0011	0,002
0,025	0,0011	0,002
0,01	-	-

3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Data

Dari percobaan dengan menggunakan *software Computational Fluid Dynamics* (CFD), maka didapatkan *static pressure* dan *dynamic pressure* yang terjadi pada tangki di setiap variasinya. Percobaan ini dilakukan dengan analisis *time dependent* atau *time domain* dengan ukuran *time step* setiap 0,05 detik dan banyaknya *time step* adalah 2000, sehingga percobaan ini dilakukan dengan durasi waktu total 100 detik.

B. Pengaruh Perubahan *Filling Level*

Diketahui bahwa penelitian ini dilakukan dengan menggunakan 4 variasi pengisian tangki (*filling level*), yaitu 20%, 40%, 50%, dan 80%. Berikut merupakan hasil percobaan pengaruh *filling level* terhadap besarnya *static pressure* dan *dynamic pressure* yang terjadi di dalam tangki pada periode T = 25 s:

Tabel 6. *Pressure* Maksimum Pengaruh Variasi *Filling Level*

Wall	<i>Static Pressure</i> (kPa)			
	20%	40%	50%	80%
Top	0.00017	0.000188	3.15784	39.5762
Bottom	26.38301	50.25077	59.68486	59.67526
Left	7.173162	16.92722	21.08058	13.04061
Right	2.961111	10.16124	12.84569	11.06767
Wall	<i>Dynamic Pressure</i> (Pa)			
	20%	40%	50%	80%
Top	0.068354	0.073612	0.070305	0.33672
Bottom	76.98893	25.35391	22.12408	21.78988
Left	4.816165	5.525589	5.683629	8.098489
Right	4.142423	5.340851	5.783648	6.493759

Dari Tabel 6 dapat dilihat bahwa pada dinding bawah (*bottom*) kenaikan isi muatan dalam tangki juga mengakibatkan naiknya nilai *static pressure*, namun berbanding terbalik dengan nilai dari *dynamic pressure* yang semakin turun seiring dengan naiknya isi muatan dalam tangki. Pada dinding atas (*top*) untuk *static pressure* dan *dynamic pressure* dengan isi muatan dalam tangki 20%, 40%, 50% dan 80% bernilai cukup kecil bahkan terdapat nilai yang mendekati nol, kecuali pada *static pressure* dengan isi muatan 80%. Pada dinding kiri (*left*) dan kanan (*right*) untuk *static pressure* nilai tertinggi adalah nilai tekanan pada tangki dengan isi muatan 50%, sedangkan untuk *dynamic pressure* nilainya semakin naik seiring dengan naiknya isi muatan dalam tangki.

C. Pengaruh Penambahan *Anti-Sloshing* Vertikal

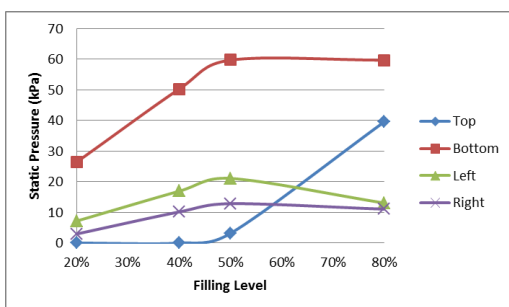
Diketahui bahwa penelitian ini dilakukan dengan penambahan variasi dimensi *anti-sloshing* vertikal. Berikut merupakan hasil percobaan pengaruh penambahan *anti-sloshing* vertikal terhadap besarnya *static pressure* dan *dynamic pressure* yang terjadi di dalam tangki pada periode $T = 25$ s dengan *filling level* 80%:

Diketahui model tangki tanpa *anti-sloshing* yang digunakan sebagai pembandingan terhadap model tangki dengan *anti-sloshing* adalah model tangki dengan *filling level* 80% yang telah dibahas pada pengaruh variasi *filling level*.

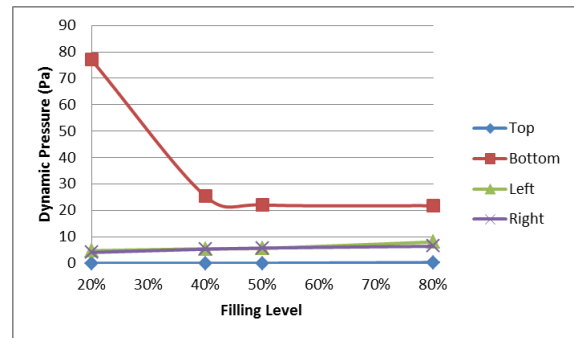
Tabel 7. *Pressure* Maksimum Pengaruh *Anti-Sloshing* Vertikal

Wall	Static Pressure (kPa)		Dynamic Pressure (Pa)	
	Tanpa <i>Anti-Sloshing</i>		Dengan <i>Anti-Sloshing</i>	
	Static Pressure (kPa)	Dynamic Pressure (Pa)	Static Pressure (kPa)	Dynamic Pressure (Pa)
Top	39.57622	0.33672	39.80807	11.81538
Bottom	59.67526	21.78988	58.36499	18.58690
Left	13.04061	8.09849	12.82094	9.36614
Right	11.06768	6.49376	11.69994	6.79137

Dari Tabel 7 dapat dilihat bahwa pada dinding bawah (*bottom*) adanya penambahan *anti-sloshing* vertikal mengakibatkan turunnya nilai *static pressure* dan *dynamic pressure* meskipun tidak terlalu signifikan untuk penurunan nilai *static pressure* yaitu turun sekitar 2,19 % dan 14,7 % untuk penurunan nilai *dynamic pressure*. Pada dinding atas (*top*) untuk nilai *static pressure* cenderung tidak terdapat perubahan, sedangkan nilai *dynamic pressure* terjadi peningkatan yang cukup signifikan akibat adanya penambahan *anti-sloshing* vertikal. Pada dinding kiri (*left*) dan kanan (*right*) untuk nilai *static pressure* dan nilai *dynamic pressure* adanya penambahan *anti-sloshing* tidak terdapat pengaruh yang signifikan.



Gambar. 6. Perbandingan *Static Pressure* Maksimum Setiap Dinding (*Filling Level*)



Gambar. 7. Perbandingan *Dynamic Pressure* Maksimum Setiap Dinding (*Filling Level*)

D. Pengaruh Penambahan *Anti-Sloshing* Horizontal

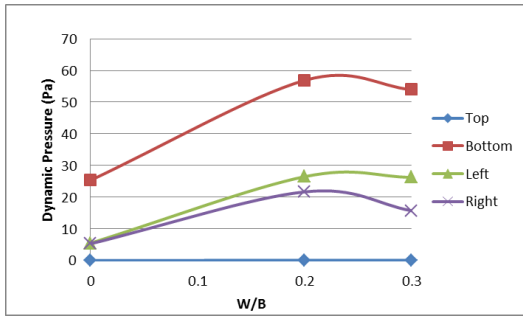
1. Pengaruh Penambahan *Anti-Sloshing* Horizontal (Variasi Dimensi W/B)

Diketahui bahwa penelitian ini dilakukan dengan penambahan variasi dimensi *anti-sloshing* horizontal dan variasi dimensi $W/B = 0,2$ dan $W/B = 0,3$. Berikut merupakan hasil percobaan pengaruh penambahan *anti-sloshing* horizontal terhadap besarnya *static pressure* dan *dynamic pressure* yang terjadi di dalam tangki pada periode $T = 25$ s dengan *filling level* 40% serta $h/H = 0,5$:

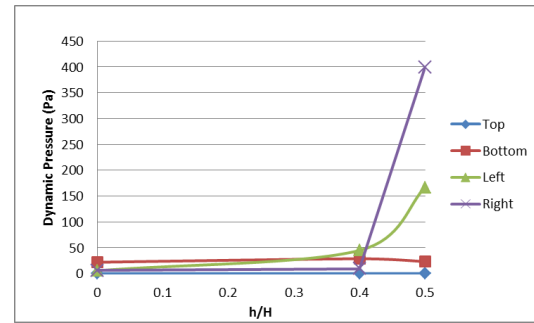
Tabel 8. *Pressure* Maksimum Pengaruh Variasi W/B

Wall	Static Pressure (kPa)		Dynamic Pressure (Pa)	
	W/B = 0.2	W/B = 0.3	W/B = 0.2	W/B = 0.3
	Top	0.00557	0.00185	0.10321
Bottom	49.13211	49.13215	56.87409	53.96253
Left	17.19141	17.21208	26.50234	26.28448
Right	10.3616	10.36143	21.70846	15.77386

Dari Tabel 8 dapat dilihat bahwa pada dinding bawah (*bottom*) adanya penambahan *anti-sloshing* horizontal dengan rasio $W/B = 0,3$ mengakibatkan turunnya nilai *dynamic pressure* sebesar 5,12% apabila dibandingkan dengan penambahan *anti-sloshing* horizontal dengan rasio $W/B = 0,2$, atau dapat dikatakan bahwa pada dinding bawah (*bottom*) semakin lebar *anti-sloshing horizontal* (W) maka *dynamic pressure* akan dapat direduksi, namun untuk nilai *static pressure* tidak terdapat perubahan yang signifikan. Pada dinding atas (*top*) untuk nilai *static pressure* maupun *dynamic pressure* cenderung tidak terdapat perubahan yang signifikan akibat adanya variasi dimensi W/B *anti-sloshing* horizontal. Pada dinding kiri (*left*) dan kanan (*right*) untuk nilai *static pressure* tidak terdapat perubahan yang signifikan sedangkan nilai *dynamic pressure* dengan adanya penambahan rasio W/B pada *anti-sloshing* horizontal terdapat pengaruh yang cukup signifikan untuk dinding kanan (*right*) dengan penurunan sekitar 27,34%.



Gambar. 8. Perbandingan *Dynamic Pressure* Maksimum Setiap Dinding (W/B)



Gambar. 9. Perbandingan *Dynamic Pressure* Maksimum Setiap Dinding (h/H)

2. Pengaruh Penambahan *Anti-Sloshing* Horizontal (Variasi Dimensi h/H)

Diketahui bahwa penelitian ini dilakukan dengan penambahan variasi dimensi *anti-sloshing* horizontal dan variasi dimensi $h/H = 0,4$ dan $h/H = 0,5$. Berikut merupakan hasil percobaan pengaruh penambahan *anti-sloshing* horizontal terhadap besarnya *static pressure* dan *dynamic pressure* yang terjadi di dalam tangki pada periode $T = 25$ s dengan *filling level* 50% serta $W/B = 0,3$:

Tabel 9. *Pressure* Maksimum Pengaruh Variasi h/H

Wall	Static Pressure (kPa)		Dynamic Pressure (Pa)	
	h/H = 0.4	h/H = 0.5	h/H = 0.4	h/H = 0.5
Top	3.52819	5.4961	0.10656	0.28225
Bottom	59.4974	59.49496	28.72086	23.43679
Left	21.82485	20.4041	44.94461	166.7065
Right	13.67223	13.75606	9.33496	399.1615

Dari Tabel 9 dapat dilihat bahwa pada dinding bawah (*bottom*) adanya penambahan *anti-sloshing* horizontal dengan rasio $h/H = 0,5$ mengakibatkan turunnya nilai *dynamic pressure* sebesar 18,40% apabila dibandingkan dengan penambahan *anti-sloshing* horizontal dengan rasio $h/H = 0,4$, atau dapat dikatakan bahwa semakin dekat jarak *anti-sloshing* horizontal terhadap permukaan cairan maka *dynamic pressure* untuk area dinding bawah (*bottom*) akan dapat direduksi lebih banyak, namun untuk nilai *static pressure* tidak terdapat perubahan yang signifikan. Pada dinding atas (*top*) untuk nilai *static pressure* terjadi sedikit kenaikan yang tidak terlalu signifikan, namun *dynamic pressure* cenderung tidak terdapat perubahan yang signifikan akibat adanya variasi dimensi h/H *anti-sloshing* horizontal. Pada dinding kiri (*left*) dan kanan (*right*) untuk nilai *static pressure* tidak terdapat perubahan yang signifikan sedangkan nilai *dynamic pressure* dengan adanya penambahan rasio h/H pada *anti-sloshing* horizontal terdapat pengaruh yang sangat signifikan untuk dinding kiri (*left*) dan kanan (*right*) dengan kenaikan sekitar 270,91% untuk dinding kiri (*left*) dan naik tajam hampir 42 kali lipat untuk dinding kanan (*right*).

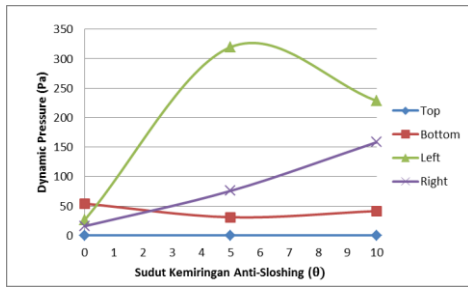
3. Pengaruh Penambahan *Anti-Sloshing* Horizontal (Variasi Sudut θ)

Diketahui bahwa penelitian ini dilakukan dengan penambahan variasi dimensi *anti-sloshing* horizontal dan variasi sudut $\theta = 0^\circ, 5^\circ, \text{ dan } 10^\circ$. Berikut merupakan hasil percobaan pengaruh penambahan *anti-sloshing* horizontal terhadap besarnya *static pressure* dan *dynamic pressure* yang terjadi di dalam tangki pada periode $T = 25$ s dengan *filling level* 40% serta $W/B = 0,3$ dan $h/H = 0,5$:

Tabel 10. *Pressure* Maksimum Pengaruh Variasi Sudut

Wall	Static Pressure (kPa)			Dynamic Pressure (Pa)		
	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 5^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 5^\circ$	$\theta = 10^\circ$
Top	0.00185	0.01091	0.00894	0.13153	0.17466	0.19558
Bottom	49.13215	49.88757	52.07363	53.96253	30.85875	41.35954
Left	17.21208	17.23722	19.83260	26.28448	319.58450	228.35799
Right	10.36143	10.54193	10.06552	15.77386	75.58570	158.08815

Dari Tabel 10 dapat dilihat bahwa pada dinding bawah (*bottom*) adanya penambahan *anti-sloshing* horizontal dengan sudut kemiringan 0° dan 5° tidak mengakibatkan perubahan yang signifikan pada *static pressure* kecuali pada sudut kemiringan 10° , namun untuk nilai *dynamic pressure* nilai terkecil adalah *anti-sloshing* horizontal dengan sudut kemiringan 5° . Pada dinding atas (*top*) untuk nilai *static pressure* dan *dynamic pressure* cenderung tidak terdapat perubahan yang terlalu signifikan, beberapa bahkan bernilai mendekati nol. Pada dinding kiri (*left*) dan kanan (*right*) untuk nilai *static pressure* tidak terdapat perubahan yang signifikan sedangkan nilai *dynamic pressure* dengan variasi sudut 5° dan 10° pada *anti-sloshing* horizontal terdapat pengaruh yang sangat signifikan apabila dibandingkan dengan sudut kemiringan 0° dengan kenaikan sekitar 12 kali lipat untuk dinding kiri (*left*) dan naik hampir 5 kali lipat untuk dinding kanan (*right*) pada sudut kemiringan 5° , serta kenaikan hampir 9 kali lipat untuk dinding kiri (*left*) dan naik sekitar 10 kali lipat untuk dinding kanan (*right*) pada sudut kemiringan 10° .



Gambar. 10. Perbandingan Dynamic Pressure Maksimum Setiap Dinding (θ)

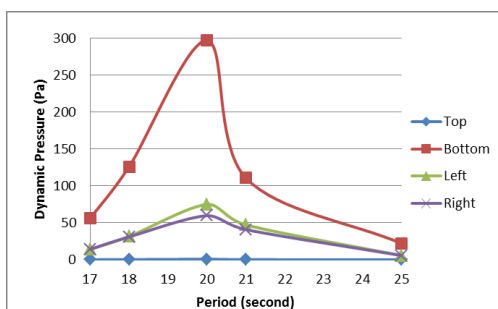
E. Pengaruh Periode

Diketahui bahwa penelitian ini dilakukan dengan menggunakan beberapa variasi gerakan dengan periode tertentu yaitu 17 s, 18 s, 20 s, 21 s, dan 25 s. Berikut merupakan hasil percobaan pengaruh variasi periode terhadap besarnya static pressure dan dynamic pressure yang terjadi di dalam tangki kotak dengan filling level 50% tanpa adanya variasi dimensi:

Tabel 11. Pressure Maksimum Pengaruh Variasi Periode

Wall	Static Pressure (kPa)				
	17 s	18 s	20 s	21 s	25 s
Top	3.16985	3.22235	3.71403	3.19439	3.15784
Bottom	59.70066	59.77307	60.27789	59.7624	59.68486
Left	22.02472	27.95702	38.18648	30.01837	21.08058
Right	12.84495	12.86660	13.15186	12.89832	12.84569
Wall	Dynamic Pressure (Pa)				
	17 s	18 s	20 s	21 s	25 s
Top	0.17044	0.35750	0.82757	0.26662	0.070305
Bottom	56.06226	126.20201	297.22180	110.84341	22.12408
Left	14.35620	31.77817	75.06693	47.37004	5.683629
Right	14.22112	31.10254	59.80377	40.94473	5.783648

Dari Tabel 11 dapat dilihat bahwa pada dinding bawah (bottom), dinding atas (top), dinding kiri (left) dan kanan (right) untuk nilai static pressure dan dynamic pressure tren nilai tekanan pada periode 17 s dan 18 s naik hingga pada periode 20 s mencapai nilai yang paling tinggi yang kemudian turun pada periode 21 s dan 25 s.



Gambar. 11. Perbandingan Dynamic Pressure Maksimum Setiap Periode

4. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Tangki dengan isi muatan yang lebih banyak menimbulkan pressure yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan tangki dengan isi muatan yang lebih sedikit untuk kedua pressure baik static pressure maupun

dynamic pressure, kecuali dynamic pressure pada filling level 20%.

2. Penambahan plat anti-sloshing vertikal mampu mereduksi besarnya pressure pada bagian bawah tangki (bottom), pada dinding bawah (bottom) adanya penambahan anti-sloshing vertikal mengakibatkan turunnya nilai static pressure dan dynamic pressure meskipun tidak terlalu signifikan untuk penurunan nilai static pressure yaitu turun sekitar 2,19% dan 14,7% untuk penurunan nilai dynamic pressure dengan konsekuensi adanya peningkatan pressure pada bagian atas tangki (top).
3. Tangki dengan lebar plat anti-sloshing horizontal lebih panjang akan dapat mereduksi pressure lebih banyak. Pada dinding bawah (bottom) adanya penambahan anti-sloshing horizontal dengan rasio W/B = 0,3 mengakibatkan turunnya nilai dynamic pressure sebesar 5,12% apabila dibandingkan dengan penambahan anti-sloshing horizontal dengan rasio W/B = 0,2, sedangkan nilai dynamic pressure dengan adanya penambahan rasio W/B pada anti-sloshing horizontal terdapat pengaruh yang cukup signifikan untuk dinding kanan (right) dengan penurunan sekitar 27,34%.
4. Semakin dekat jarak anti-sloshing horizontal terhadap permukaan cairan maka pressure untuk area dinding bawah (bottom) akan dapat direduksi lebih banyak, pada dinding bawah (bottom) adanya penambahan anti-sloshing horizontal dengan rasio h/H = 0,5 mengakibatkan turunnya nilai dynamic pressure sebesar 18,40% apabila dibandingkan dengan penambahan anti-sloshing horizontal dengan rasio h/H = 0,4 dengan konsekuensi adanya peningkatan pressure pada bagian kiri (left) dan kanan (right) tangki.
5. Adanya sudut kemiringan pada plat anti-sloshing horizontal memberikan kenaikan yang cukup signifikan terhadap tangki pada bagian kiri (left) dan kanan (right) tangki meskipun mampu mereduksi pressure pada dinding bagian bawah (bottom). Nilai dynamic pressure dengan variasi sudut 5° dan 10° pada anti-sloshing horizontal terdapat pengaruh yang sangat signifikan untuk dinding kiri (left) dan kanan (right) apabila dibandingkan dengan sudut kemiringan 0° dengan kenaikan sekitar 12 kali lipat untuk dinding kiri (left) dan naik hampir 5 kali lipat untuk dinding kanan (right) pada sudut kemiringan 5°, serta kenaikan hampir 9 kali lipat untuk dinding kiri (left) dan naik sekitar 10 kali lipat untuk dinding kanan (right) pada sudut kemiringan 10°.
6. Pada variasi gerakan tangki dengan periode tertentu, bahwa apabila gerakan tangki semakin mendekati periode puncak maka nilai pressure akan semakin naik.

Penambahan plat anti-sloshing secara horizontal diketahui tidak lebih efektif dalam mereduksi besarnya pressure apabila dibandingkan dengan penambahan plat anti-sloshing secara vertikal. Meskipun beberapa variasi dimensi plat anti-sloshing secara horizontal menimbulkan efek yang cukup besar terhadap tekanan dalam tangki, nilai pressure yang ditimbulkan oleh tangki dengan penambahan plat anti-sloshing secara vertikal diketahui masih lebih kecil apabila dibandingkan dengan penambahan plat anti-sloshing secara horizontal.

B. Saran

1. Analisis yang lebih mendalam terhadap *sloshing* sangat diperlukan, terutama pengaruhnya terhadap gerakan kapal akibat adanya *sloshing*.
2. Gerakan tangki dapat ditinjau tidak hanya pada gerakan *rolling* saja.
3. Penambahan plat *anti-sloshing* dapat dilakukan tidak hanya secara horizontal atau vertikal saja, namun dapat dilakukan dengan mengkombinasi keduanya.
4. Tangki dapat divariasi dengan ukuran dan bentuk yang berbeda-beda.
5. Diharapkan ada perbandingan analisis baik melalui eksperimen maupun *software* lain untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- T. Gavory. 2011. *Sloshing In Membrane LNG Carriers and its Consequences From A Designer's Perspective*. Liquid Motion Department, Gaztransport & Technigaz. France
- Yonghwan Kim. 2001. *Analysis of Three-Dimensional Sloshing Flows In the Ship Liquid Cargo*. American Bureau of Shipping. USA
- Mi-An Xue, Jinhai Zheng, and Pengzhi Lin. 2012. *Numerical Simulation of Sloshing Phenomena in Cubic Tank with Multiple Baffles*. Journal of Applied Mathematics. USA
- M. Isaacson and S. Premasiri. *Hydrodynamic Damping due to Baffles in A Rectangular Tank*. Canadian Journal of Civil Engineering, 28(4), pp.608-616, 2001.
- D. Liu and P. Lin. *A Numerical Study of Three-dimensional Liquid Sloshing in Tanks*. Ocean Engineering, 36, pp. 202-212, 2009.
- Cargo Operating Manual. *Liquid Natural Gas Carrier Disha (H2210)*. Petronet. Pentatech.co.ltd.
- Lin Lu, Sheng-cao Jiang, Ming Zhao, and Guo-qiang Tang. 2015. *Two-dimensional Viscous Numerical Simulation of Liquid Sloshing in Rectangular Tank with / without Baffles and Comparison with Potential Flow Solutions*. Journal of Elsevier. 108, 662-667.