

Analisis Sloshing 2D pada Dinding Tangki Tipe Membran Kapal LNG Akibat Gerakan Rolling di Gelombang Regular

Ericson Estrada Sipayung, I Ketut Suastika, Aries Sulisetyono

Jurusan Teknik Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: k_suastika@na.its.ac.id

Abstrak---Pemakaian kapal sebagai sarana distribusi LNG ke berbagai wilayah merupakan salah satu cara yang menguntungkan dan efisien. Penggunaan kapal sebagai sarana distribusi LNG membuat hal-hal yang berhubungan dengan tangki kapal menjadi menarik untuk diteliti. Salah satu yang paling banyak diteliti adalah fenomena *sloshing*. Simulasi gerakan *fluida* pada tangki dilakukan dalam *time-domain*. Gelombang pada saat kapal berlayar di laut tidak dapat diprediksi dengan akurat. Gelombang yang datang dengan sudut hadap 90° (*beam sea*) dapat menimbulkan gerakan *rolling* yang sangat berpengaruh pada gerakan *fluida* di dalam tangki atau sering disebut fenomena *sloshing*. Gerakan *fluida* ini menimbulkan gaya berupa tekanan pada dinding tangki berupa *dynamic pressure*. Tangki jenis *membrane* banyak digunakan pada kapal LNG. Sehingga, banyak penelitian yang berkaitan dengan tangki *membrane*. Tangki *membrane* dimodelkan 3D dengan menggunakan *software maxsurf* yang berukuran panjang 32.46 m, tinggi 27.32 m dengan lebar *moulded* belakang 39.17 m, lebar belakang bagian bawah 31.29 m, lebar belakang bagian atas 31.29 m, lebar *moulded* depan 39.17 m, lebar depan bagian bawah 31.29 m, lebar depan bagian atas 31.29 m. Volume cairan LNG divariasikan dengan 3 (tiga) ketinggian yaitu ketinggian cairan 30% dari tinggi tangki, 50% dari tinggi tangki, dan 80% tinggi tangki. Analisa dilakukan dengan menggunakan *software Ansys Fluent* dengan metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Dari hasil analisa dengan *ansys fluent* dapat disimpulkan bahwa *dynamic pressure* terbesar terjadi pada *filling level* 30% H dalam tangki yaitu sebesar 16513.720 Pa yang terjadi pada bagian kanan dinding tangki pada ketinggian 8,655 m dari dasar tangki.

Kata Kunci : *Rolling*, CFD Fluent, Tangki Membrane, Kapal LNG, *Sloshing*

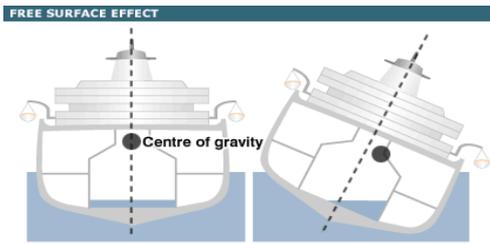
I. PENDAHULUAN

MANUSIA dan energi mempunyai hubungan yang sangat erat. Manusia sampai dengan revolusi industri hanya menggunakan sebagian kecil energi yang ada di alam yang disebut energi terbarukan (*renewable energy*). Sejak revolusi industri, dimungkinkan pemakaian energi dalam jumlah besar yang berasal dari batu bara. Memasuki abad 20 pemakaian energi minyak bumi semakin meluas, dan akhir-akhir ini gas alam dan tenaga nuklir telah dimanfaatkan untuk menopang kebutuhan energi dalam jumlah besar. Masa setelah revolusi industri dapat disebut

sebagai era penggunaan energi atau bahan bakar fosil seperti gas alam, minyak bumi dan batubara dalam jumlah besar, yang sampai saat inipun masih berlanjut. Meningkatnya taraf hidup manusia dan besarnya tuntutan terhadap kepraktisan dan kenyamanan hidup membuat kebutuhan terhadap energi semakin besar. Dengan demikian, dibutuhkan sumber energi yang besar pula. Liquid Natural Gas (LNG) muncul sebagai salah satu solusi sumber energi yang menjanjikan, karena rasio persediannya masih lebih baik. Pemakaian kapal sebagai sarana distribusi LNG ke berbagai wilayah merupakan salah satu cara yang menguntungkan dan memiliki efisiensi yang cukup baik.

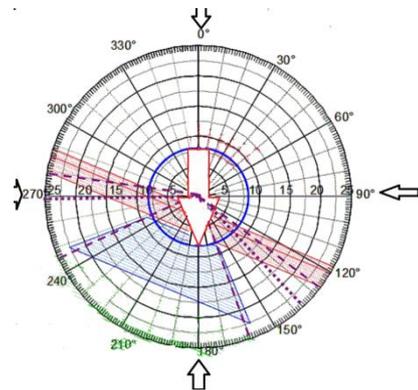
Kekuatan konstruksi kapal dan tangki berkaitan dengan beban gelombang luar yang bersumber dari gelombang air laut akibat gerakan/*motion* kapal dan juga beban yang ditimbulkan oleh perilaku *fluida* dalam tangki yang biasa disebut *sloshing*. *Sloshing* adalah sebuah fenomena gerakan osilasi yang memukul dinding muatan oleh cairan di dalam sebuah wadah. Dalam menganalisis gerakan *sloshing*, usaha yang biasanya dilakukan adalah dengan mencegah arah gerakan cairan yang dapat menyebabkan kerusakan pada suatu struktur. Disisi lain, *sloshing* mempunyai kemampuan dalam mengurangi besarnya energi kinetik ketika kapal melaju. Untuk alasan tersebut, maka analisis gerakan *sloshing* dilakukan untuk mengetahui karakteristik gerakan *sloshing*, vector kecepatan *sloshing* dan arah *sloshing* yang berhubungan langsung dengan gerakan kapal diakibatkan gelombang regular sehingga dapat diketahui struktur tangki bagian manakah yang memiliki potensi kerusakan terbesar terutama saat gerakan *rolling* kapal [1].

Prediksi gerakan *linier rolling* kapal cukup bagus untuk sudut roll yang kecil $<5^\circ$. Untuk sudut besar gerakan *linier rolling* tidak akurat lagi, sehingga harus menggunakan gerakan *non linier rolling* meskipun penyelesaian agak rumit. Berdasarkan prinsip gerakan *linier rolling*, setelah kapal mengalami gaya *eksitasi* maka kapal akan mendapatkan amplitude sesaat, setelah itu karena adanya efek *damping* kapal akan mengalami osilasi menuju frekuensi gelombang. Sedangkan untuk gerakan *non linier rolling* dengan adanya variasi kecil *eksitasi* pada titik *restoring* dapat menyebabkan kapal *capsizing* dengan kata lain *capsizing* terjadi pada gerakan *non linier rolling*, gerakan ini terdiri dari dua komponen *non linier* yaitu *non linier damping* dan *restoring* [2].



Gambar 1. Ilustrasi gerakan rolling kapal

Kapal yang melaju di permukaan laut memiliki arah gerak berdasarkan arah datangnya gelombang atau biasa disebut *Heading*, sehingga *Heading* kapal didefinisikan berdasarkan dari arah propagasi gelombang. *Heading angle* (μ) didefinisikan sebagai sudut antara arah kemana kapal melaju dengan arah datangnya gelombang.



Gambar 2. Wave Heading

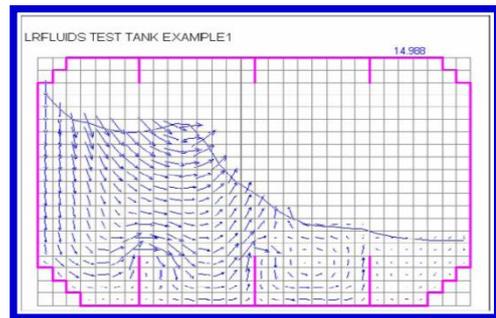
Dari gambar diatas dapat dilihat beberapa definisi umum *Heading* kapal, antara lain:

- $\mu = 0^\circ$: *following waves* dimana arah gelombang sama dengan arah kapal.
- $\mu = 90^\circ$: *beam waves* dimana gelombang mengenai kapal dari sisi *starboard*.
- $\mu = 180^\circ$: *heading waves* dimana gelombang berjalan berlawanan dengan arah laju kapal.
- $\mu = 270^\circ$: *beam waves* dimana gelombang mengenai kapal dari sisi *port*.

Karena kapal bergerak, maka frekuensi gelombang yang mengenai kapal akan berbeda dengan frekuensi gelombang datang sebenarnya. Fenomena ini terjadi karena adanya gerakan relative dari kapal yang mempunyai kecepatan dengan progresi gelombang. Frekuensi relative ini diistilahkan sebagai frekuensi papasan atau frekuensi encounter [3].

Sloshing merupakan fenomena fisik yang dikarakteristikan adanya gerakan osilasi permukaan bebas fluida pada tangki yang terisi sebagian. Fluida diasumsikan incompressible dan alirannya irrotasional. *Sloshing* terjadi karena fluida bergerak secara transient/steady pada tangki yang terisi sebagian. Dalam kondisi yang demikian, permukaan bebas liquid bergerak dan menghempas dinding tangki. Sehingga timbul gaya yang membahayakan struktur tangki serta konsekuensi yang tidak diinginkan. Pada pengoperasian kapal sistem tangki harus mempunyai kemampuan berbagai level pengisian tanpa harus terjadi kerusakan yang disebabkan impact pressure akibat *sloshing*. Liquid dalam tangki yang terisi sebagian mampu menyebabkan terbentuknya pressure yang bekerja pada bagian dinding dan atap

tangki. Untuk memprediksi gerakan liquid dan pengaruh pressure terhadap tangki kapal yang terisi sebagian mereka menggunakan pemodelan 2 dimensi.



Gambar 3. Visualisasi kecepatan fluida di dalam tangki saat terjadi sloshing

II. METODE PENELITIAN

A. Data Spesifikasi Kapal LNG

Adapun data utama kapal Disha LNG Carrier yang akan disimulasikan adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Data ukuran utama kapal [4]

Data Kapal LNG Disha				
Loa	277	m	908.837	ft
Lpp	266	m	872.746	ft
Lwl	270.8	m	888.4948	ft
B	43.4	m	142.3954	ft
H	26	m	85.306	ft
T _{Design}	11.4	m	37.4034	ft
T _{scantling}	12.5	m	41.0125	ft
Displacement	100149	Ton	3450972.058	ft ³
Deadweight	70151	Ton		
V _{Service}	19.5	Knot	10.0308	m/s

B. Data Lingkungan Pelayaran Kapal

Untuk menghitung gerakan kapal dibutuhkan data lingkungan pelayaran kapal LNG yang akan dimodelkan. Tujuannya adalah untuk mengetahui secara aktual gerakan kapal yang terjadi yang diakibatkan oleh gelombang terbesar dalam pelayaran kapal tersebut.

Table 2. Monthly variation of sea state variables in 2011 off Ratnagiri, west coast of India.

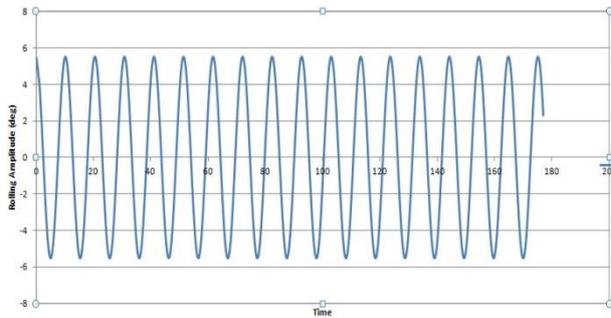
Month	Wave parameters											
	Wave direction (°)			Sig. wave height (m)			Mean wave period (s)			Maximum wave height (m)		
	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg	min	max	avg
Jan 2011	208	333	292	0.3	1.1	0.6	2.9	5.5	4.1	0.4	2.0	0.9
Feb 2011	204	331	279	0.3	1.8	0.6	2.8	6.1	4.1	0.4	3.0	1.0
Mar 2011	197	325	278	0.4	1.2	0.7	3.0	7.9	4.2	0.5	2.3	1.1
Apr 2011	200	319	266	0.4	1.3	0.8	3.1	6.6	4.3	0.5	2.4	1.1
May 2011	204	314	260	0.7	1.7	1.0	3.6	6.7	4.9	0.9	3.0	1.5
Jun 2011	245	287	261	1.1	3.2	2.3	5.2	8.2	6.6	1.6	6.9	3.5
Jul 2011	232	274	259	1.4	4.0	2.3	4.9	8.0	6.5	2.0	7.0	3.5
Aug 2011	233	276	260	1.3	3.1	2.0	5.0	7.7	6.2	1.7	5.5	3.2
Sep 2011	218	276	252	0.6	4.2	1.6	4.0	7.9	6.2	0.8	6.5	2.4
Oct 2011	204	322	241	0.3	1.0	0.6	2.9	10.2	5.6	0.4	1.7	0.9
Nov 2011	203	335	241	0.2	1.3	0.5	2.9	7.8	4.8	0.4	2.4	0.8
Dec 2011	217	322	258	0.4	0.9	0.5	3.4	6.2	4.5	0.5	1.6	0.8

min - Minimum
max - Maximum
avg - Average

Gambar 4. Data perairan India tahun 2011

C. Perhitungan Gerakan Kapal LNG

Perhitungan gerakan kapal LNG ini dimulai dengan mengimport model kapal yang telah didesain pada software maxsurf ke dalam software seakeeper yang merupakan program integrated dari maxsurf untuk menganalisis gerakan kapal. Software seakeeper yang terintegrasi bersama maxsurf merupakan software yang dikembangkan oleh formsys dimana perusahaan tersebut adalah salah satu software marine development yang hingga saat ini sudah memproduksi software untuk menganalisa struktur dan bangunan di bidang marine.



Gambar 5. Time series gerakan rolling kapal pada gelombang regular

Dari hasil output seakeeper didapatkan amplitudo kapal ($\hat{\Phi}$) sebesar 5.519 deg atau sama dengan 0.09633. Hasil gerakan kapal LNG tersebut juga merupakan gerakan tangki yang ada didalam Kapal LNG. Sehingga gerakan tangki membrane LNG dapat dihasilkan dengan membuat perbagian masing-masing tangki. Hasil gerakan tersebut kemudian dikonversi kedalam persamaan kecepatan sudut dalam bahasa C++ untuk mendefinisikan gerakan tangki dan dicompile kedalam user define dari program Ansys *Fluent*. Jadi untuk mendefinisikan kembali gerakan tangki kedalam software ansys *fluent* persamaan gerakan tersebut adalah :

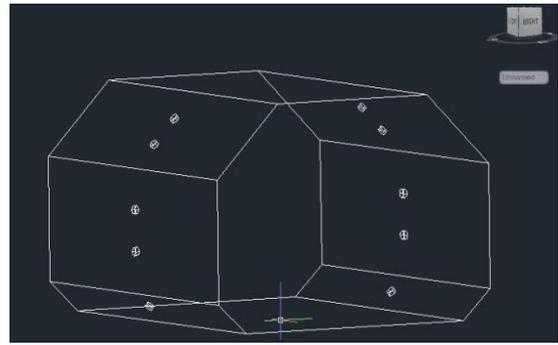
$$\Phi = \hat{\Phi} * \cos(\omega_e * t)$$

$\Phi = 0.09633 * \cos(0.616 * t)$ sehingga turunan dari persamaan tersebut menjadi:

$$\frac{d\Phi}{dt} = -0.09633 * 0.616 \sin(0.616 * t)$$

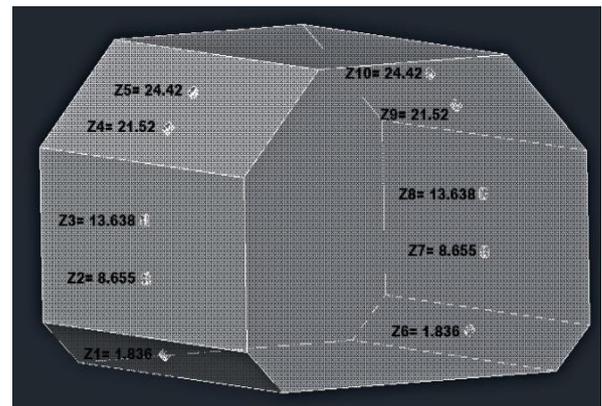
D. Pemodelan Tangki Membrane

Tangki pada studi *sloshing* ini dimodelkan 3 dimensi (3D) dengan ukuran tangki yang telah didapat dari data kapal LNG dengan lebar 31.29 m, panjang 43.62 m, dan tinggi 27.32 m. Untuk mempermudah pengerjaan model tangki dari maxsurf dibuat lagi di autocad yang kemudian diimport ke ansys fluent dalam bentuk IGES.



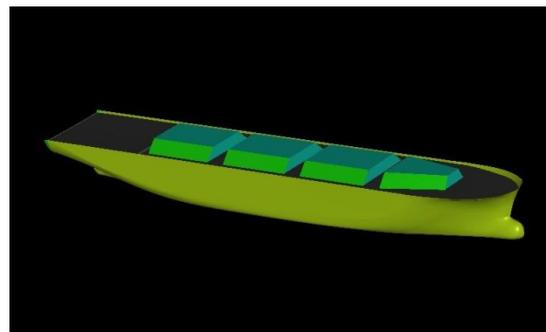
Gambar 6. Model Tangki Pada Autocad

E. Penentuan Node Pressure pada Dinding Tangki



Gambar 7. Posisi Node Pressure

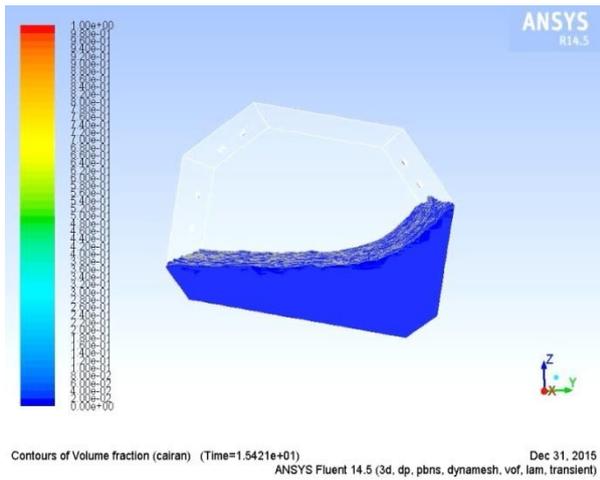
Untuk menentukan letak tekanan terbesar yang terjadi pada dinding tangki tipe membrane NO.96 kapal LNG pada kasus rolling, dibuatlah beberapa titik-titik atau node pada kedua sisi tangki. Letak dari titik-titik ini dibuat secara merata dari tinggi tangki. Tangki yang digunakan pada simulasi ini yaitu tangki nomor 3 dari AP.



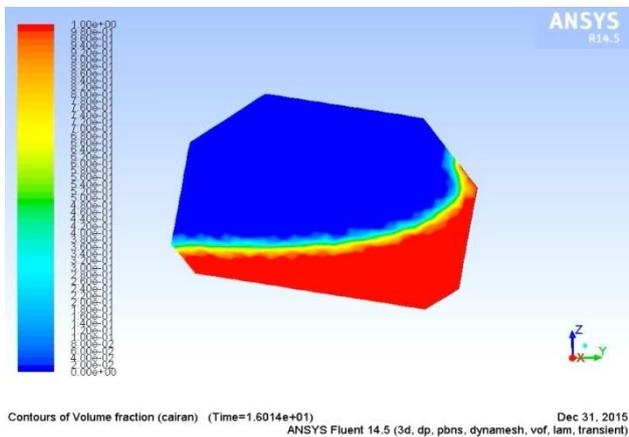
Gambar 8. Posisi Tangki Pada Kapal

III. HASIL SIMULASI ANSYS FLUENT

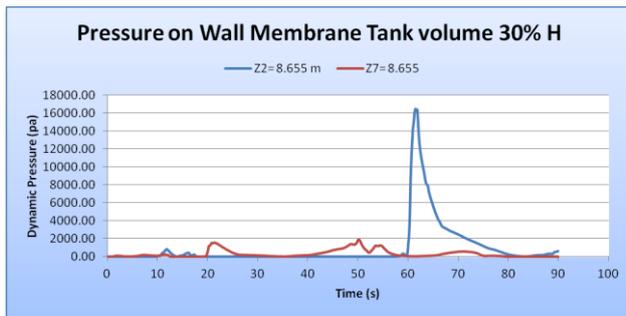
A. Hasil Perhitungan Pada Tangki Membran Dengan Volume 30 % H



Gambar 9. Snapshot gerakan cairan LNG di dalam tangki pada filling level 30% H



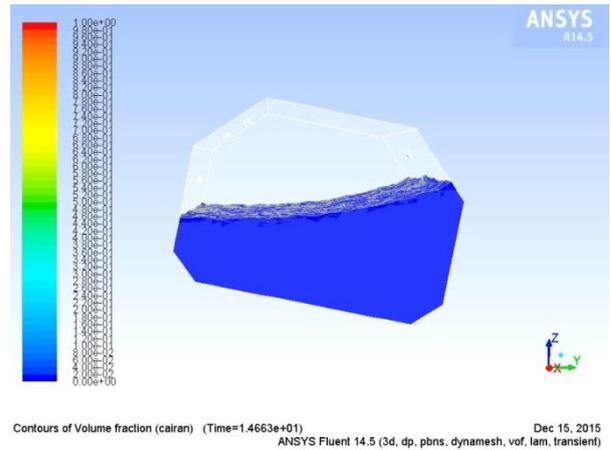
Gambar 10. Kontur dari tekanan dinamis cairan LNG di dalam tangki pada filling level 30% H



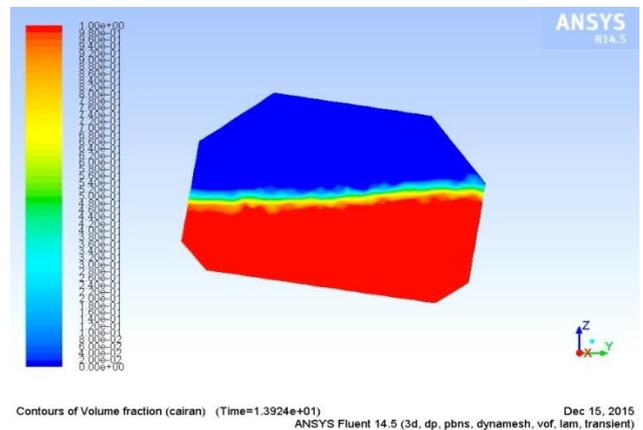
Gambar 11. Time series dari tekanan dinamis cairan LNG pada dinding node 8.655 m dengan filling level 30% H

Dari grafik diatas diketahui bahwa tekanan dinamis pada dinding kanan Z2 dan dinding kiri Z7 tangki mempunyai nilai yang berubah – ubah sesuai fungsi waktu dan maksimum pressure pada dinding kanan dan dinding kiri tangki selama simulasi bisa diketahui besarnya, besar maksimum pressure pada dinding kanan tangki adalah Z2= 16513.720 Pa sedangkan besar pressure pada dinding kiri tangki adalah Z7= 1869.362 Pa.

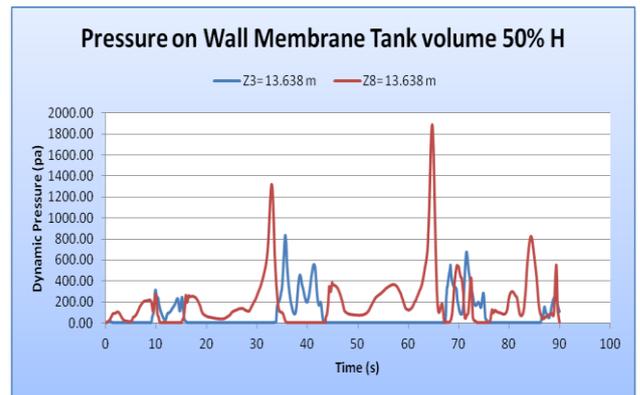
B. Hasil Perhitungan Pada Tangki Membran Dengan Volume 50 % H



Gambar 12. Snapshot gerakan cairan LNG di dalam tangki pada filling level 50% H



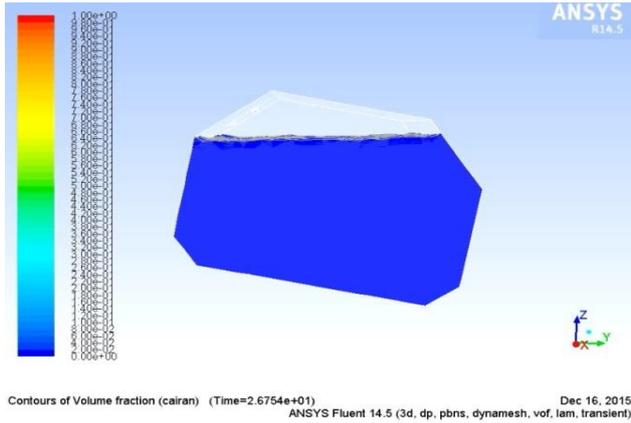
Gambar 13. Kontur dari tekanan dinamis cairan LNG di dalam tangki pada filling level 50% H



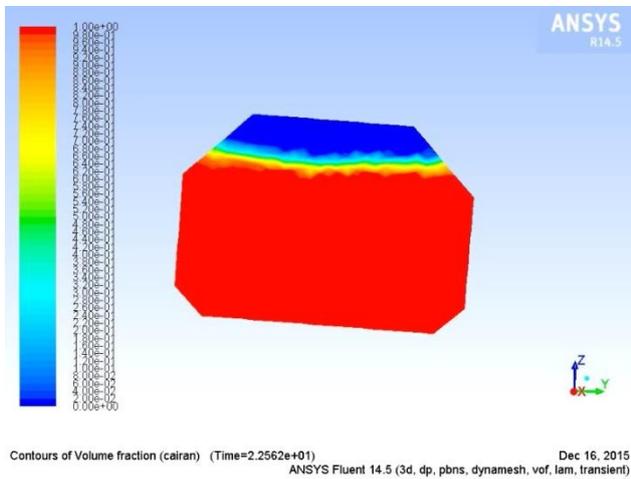
Gambar 14. Time series dari tekanan dinamis cairan LNG pada dinding node 13.638 m dengan filling level 50% H

Dari grafik diatas diketahui bahwa tekanan dinamis pada dinding kanan Z3 dan dinding kiri Z8 tangki mempunyai nilai yang berubah – ubah sesuai fungsi waktu dan maksimum pressure pada dinding kanan dan dinding kiri tangki selama simulasi bisa diketahui besarnya, besar maksimum pressure pada dinding kanan tangki adalah Z3= 839.548 Pa sedangkan besar pressure pada dinding kiri tangki adalah Z8= 1885.410 Pa.

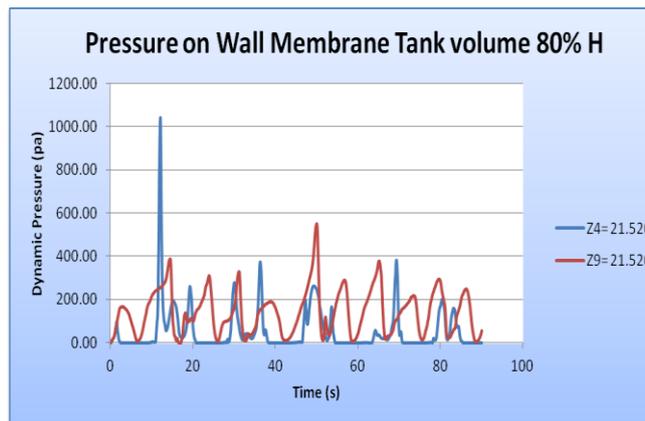
C. Hasil Perhitungan Pada Tangki Membran Dengan Volume 80 % H



Gambar 15. Snapshot gerakan cairan LNG di dalam tangki pada filling level 80% H



Gambar 16. Kontur dari tekanan dinamis cairan LNG di dalam tangki pada filling level 80% H



Gambar 17. Time series dari tekanan dinamis cairan LNG pada dinding node 21.520 m dengan filling level 80% H

Dari grafik diatas diketahui bahwa tekanan dinamis pada dinding kanan Z4 dan dinding kiri Z9 tangki mempunyai nilai yang berubah – ubah sesuai fungsi waktu dan maksimum pressure pada dinding kanan dan dinding kiri tangki selama simulasi bisa diketahui besarnya, besar maksimum pressure pada dinding kanan tangki adalah Z4= 1039.865 Pa, dan sedangkan besar pressure pada dinding kiri tangki adalah Z9= 548.670 Pa.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi model dengan berbagai variasi dan pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa:

- Tekanan dinamis yang terjadi baik pada dinding kiri maupun pada dinding kanan terjadi secara tidak periodik atau tidak beraturan, walaupun gerakan tangki yang diinputkan pada simulasi adalah gerakan yang periodik/reguler.
- Ketika terjadi sloshing terutama pada filling level cairan (LNG) yang rendah yaitu 30% H, pressure yang terjadi pada dinding tangki lebih besar dibandingkan dengan pressure yang terjadi pada dinding tangki dengan filling level cairan yang lebih tinggi.
- Dari ke-3 variasi filling level cairan LNG, dapat disimpulkan bahwa semakin kecil filling level cairan LNG di dalam tangki, maka semakin besar tekanan dinamis yang terjadi pada dinding tangki.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Ibrahim, R.A. (2005). *Liquid Sloshing Dynamics Theory and Applications*. Cambridge; Cambridge University Press.

[2] Hendratmoko, H. (2012). *Study dan Eksperimen Pengaruh Bilga Keel Terhadap Gerakan Rolling* (Tugas Akhir). Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

[3] Bhattacharrya, R. (1978). *Dynamics Of Marine Vehicles*. New York: Wiley Publication.

[4] Anwar, M.S. (2013). *Simulasi Sloshing pada Dinding Tangki Tipe Membran Kapal LNG Akibat Gerakan Heaving dan Pitching di Gelombang Regular* (Tugas Akhir). Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.