



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Pengaruh *Sloshing* Pada Ruang Muat Kapal Tanker Pertamina 17500 LTDW Dengan Metode CFD (*Computational Fluid Dynamic*)

Ananda Ragil Prakarsa¹, Deddy Chrismianto¹, Muhammad Iqbal¹

¹)Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,

Email: prakarsaanandaragil@gmail.com

Abstrak

Sebagian besar eksplorasi minyak dan gas bumi berada di lautan, dimana kapal adalah alat transportasi penting untuk mendistribusikan hasil eksplorasi tersebut. Kapal-kapal pengangkut minyak dan gas cair memiliki resiko kecelakaan yang tinggi, selain dari muatan yang berbahaya karena mudah terbakar, kapal pengangkut cairan juga harus memperoleh gaya *sloshing* dari muatan akibat dari pergerakan fluida dinamis.

Sloshing adalah gerakan fluida resonansi dalam tangki yg bergerak. Ketika cairan bergerak dan berinteraksi dengan wadahnya, tekanan dinamis seperti interaksi dapat menyebabkan deformasi besar di dinding kontainer serta struktur pendukung. Gerak cairan muncul karena gerakan dinamis wadah yang dapat terjadi dalam berbagai keadaan. Ada dua masalah utama yang timbul dalam pendekatan komputasi untuk *sloshing*. Ini adalah kondisi batas bergerak pada antarmuka tangki cairan, dan gerak nonlinier permukaan bebas. Pemodelan tangki muatan dilakukan pada kapal Tanker Pertamina dengan tangki berbentuk persegi panjang dalam 3D. Tangki tersebut memiliki ukuran panjang 20,20 m, tinggi sisi 10,00 m dan lebar moulded 11,85 m. Analisa dilakukan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic (CFD)*. Simulasi dilakukan dalam 4 variasi pengisian tangki yakni, 30%, 50%, 70% dan 90% menggunakan *software* simulasi fluida. Simulasi *sloshing* dilakukan pada model tangki tipe *tetrahedrons meshing* dengan jumlah *nodes* 76259 dan *elements* 247571. Pada penelitian ini dapat diketahui gaya dinding tangki pada pengisian 30% sebesar 572,13 N. Pada pengisian 50% sebesar 847,50 N Pada pengisian 70% sebesar 1032,35 N. Pada Pengisian 90% sebesar 1253,86 N. Kemudian dilakukan analisa olah gerak menggunakan *Hydrodynamic Diffraction* dan stabilitas menggunakan *Maxsurf Stability*. Hasil penelitian ini menunjukkan nilai *RMS of Roll With Sloshing* pada pengisian 30% sebesar 6,57 deg, pada pengisian 50% sebesar 9,52 deg, pada pengisian 70% sebesar 9,39 deg, pada pengisian 90% sebesar 9,35 deg. Nilai GZ pengisian 30% sepanjang 1,00 m, nilai GZ pengisian 50% sepanjang 1,54 m, nilai GZ pengisian 70% sepanjang 1,67 m, dan nilai GZ pengisian 90% sepanjang 1,81 m.

Kata kunci : *Sloshing*, Stabilitas, *Maxsurf*, Kapal Tanker, *Computational Fluid Dynamic (CFD)*

1. PENDAHULUAN

Sloshing adalah gerakan fluida resonansi dalam tangki yg bergerak. Ketika cairan bergerak dan berinteraksi dengan wadahnya, tekanan dinamis seperti interaksi dapat menyebabkan deformasi besar di dinding kontainer serta struktur pendukung. Gerak cairan muncul karena gerakan dinamis wadah yang dapat terjadi dalam berbagai keadaan. Ada dua masalah utama yang timbul dalam

pendekatan komputasi untuk *sloshing*. Ini adalah kondisi batas bergerak pada antarmuka tangki cairan, dan gerak *nonlinier* permukaan bebas^[1].

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menentukan pengaruh beban *sloshing* pada wadah cairan menggunakan konfigurasi penyekat yang berbeda. Selain itu, tujuannya juga untuk memvalidasi hasil eksperimen. Desain peralatan ini membutuhkan pemahaman

rinci gerak cair selama *sloshing*. *Sloshing* bisa menjadi hasil dari kekuatan eksternal karena percepatan / perlambatan tubuh penahanan. Perhatian khusus adalah distribusi tekanan pada dinding reservoir wadah dan puncak sementara lokal yang bisa mencapai seperti di kapal tanker jalan dua kali nilai beban kaku. Dalam tanker jalan, permukaan cairan bebas mungkin mengalami kunjungan besar bahkan gerakan yang sangat kecil dari wadah yang mengarah ke masalah stabilitas.

Topik umum interaksi fluida-struktur memang subjek khususnya yang luas dalam hal itu secara bersamaan menyatukan semua aspek yang terkait dengan kedua mekanika struktural dan mekanika fluida. Masing-masing dua daerah ini kompleks sendiri, namun, ketika dianggap bersama-sama, situasi menjadi lebih kompleks. Bahkan, interaksi (atau *coupling*) antara respon cairan dan padat dapat dilihat sebagai umpan balik. Setiap gerakan permukaan cairan bebas dalam wadah yang disebabkan oleh gangguan apapun untuk terisi sebagian kontainer cair disebut *sloshing*. Sebuah cairan sebagian menempati tangki bergerak mengalami gerakan gelombang (*sloshing*). Gerakan ini menghasilkan beban hidrodinamik parah yang bisa berbahaya bagi integritas struktural dan stabilitas kapal, dimana ship motion dan sloshing analysis merupakan konfigurasi tak terpisahkan yang harus dipertimbangkan. Ship motion menimbulkan *fluid motion* dan *fluid motion* akan mempengaruhi *ship motion*^[1].

2. TINJAUAN PUSTAKA

Sebuah tangki berisi fluida dan memiliki ruang bebas jika digerakkan akan menimbulkan gerakan-gerakan dari fluida tersebut (*sloshing*). *Sloshing* atau biasa disebut *free surface effect* pada sebuah tangki adalah gerakan spontan fluida yang menumbuk dinding-dinding tangki akibat dari adanya ruang bebas pada tangki dan gaya luar yang bekerja pada tangki tersebut. Jika kondisi tersebut terjadi pada sebuah kapal pengangkut cairan, maka akan menimbulkan 3 efek, diantaranya adalah :

- a. Berkurangnya stabilitas kapal.
- b. Efek kopling antara gerakan dinamis kapal oleh gelombang air laut dengan gerakan dinamis cairan didalam tangki.
- c. Efek gerakan dinamis fluida didalam tangki yang mengakibatkan lompatan fluida yang menumbuk dinding tangki.

Efek *sloshing* tidak hanya terjadi dalam ruang atau wadah tertutup, ombak laut juga termasuk efek *sloshing* yang diakibatkan oleh pasang surut air laut dan angin. Efek *sloshing* dari gelombang laut dapat dimanfaatkan sebagai energi gelombang air laut. Namun *sloshing* pada ruang muat kapal sangat merugikan dan berpengaruh pada keselamatan kapal^[2].

2.1. *Sloshing Motion*

Dengan menggunakan pendekatan gaya yang terjadi pada badan (dinding) tangki, jauh lebih sederhana digunakan meskipun tidak intuitif sebagai grid bergerak. Displasemen tangki digambarkan dalam sebuah inersia (X, Z) sistem koordinat dengan asal O diberikan oleh persamaan sebagai berikut:

$$X, Z = \sin(\omega t) \dots (1)$$

dengan asumsi displasemen tangki adalah sinusoidal dengan sistem sumbu x dan sumbu o(x, z). Oleh karena itu percepatan tangki diorelatif terhadap (X, Z) diberikan sebagai:

$$\ddot{X}, \ddot{Z} = -\omega^2 \sin(\omega t) \dots (2)$$

Dengan mempertahankan notasi yang sama, displasemen dari tangki diamati pada relatif O ke o adalah seperti dalam persamaan 3:

$$X_{x,z} = -\sin(\omega t) \dots (3)$$

Atau sama dengan persamaan 4 :

$$X_{x,z} = \omega^2 \sin(\omega t) \dots (4)$$

Oleh karena itu, gerakan yang sama, tangki berosilasi secara periodik, dapat dijelaskan baik di dalam masalah seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (3), serta menggunakan sistem referensi eksternal. Ini adalah inti dari pendekatan kekuatan tubuh. Dengan menerapkan percepatan tambahan untuk domain adalah mungkin untuk mensimulasikan gerakan sloshing tanpa harus memindahkan grid relatif terhadap sistem referensi inersial. Persamaan 4 menggunakan gerakan sinusoidal, tetapi setiap gerak tak beraturan dapat disimulasikan dengan memecah menjadi komponen-komponen percepatan Cartesian mereka dan menggunakan deret Fourier. Penggunaan persamaan momentum Navier Stokes incompressible untuk lebih sederhana adalah sebagai berikut:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} + b_i \dots (5)$$

vektor terakhir berisi komponen kekuatan tubuh, misalnya gravitasi $g = (0, 9.81)$ diterapkan pada sistem diatur oleh persamaan 5. Untuk kasus ini, persamaan momentum akan kemudian dimodelkan sebagai dengan hasil turunan dari persamaan 6.

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \cdot \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} + (X_{x,z}, 0, 9.81) \dots (6)$$

Dengan demikian, pendekatan yang dilakukan dalam menghitung gaya yang terjadi pada dinding tangki dapat dilakukan dengan lebih sederhana, khususnya ketika mempertimbangkan meshing yang digunakan untuk memodelkan tangki. Lebih lanjut lagi, pendekatan gaya pada dinding tangki adalah diperolehnya data seputar kecepatan/percepatan, volume/displasemen yang digunakan sebagai input^[3].

2.2. Stabilitas Kapal

Stabilitas kapal adalah kemampuan kapal untuk kembali ke posisi normal atau tidak miring kekiri atau kekanan pada saat kapal diapungkan.

Demikian pula pada saat kapal berlayar disebabkan oleh pengaruh luar yang bekerja terhadap kapal diantaranya gelombang atau keadaan laut dan angin serta kebocoran yang dilakukan oleh tubrukan atau kandas.

Pada prinsipnya keadaan stabilitas ada tiga yaitu :

1. Stabilitas Positif (*Stable Equilibrium*)
Suatu keadaan dimana titik G-nya berada diatas titik M, sehingga sebuah kapal memiliki stabilitas mantap sewaktu oleng mesti memiliki kemampuan untuk menegak kembali.
2. Stabilitas Netral (*Neutral Equilibrium*)
Suatu keadaan stabilitas dimana titik G-nya berhimpit dengan titik M. Maka momen penegak kapal yang memiliki stabilitas netral sama dengan nol, atau bahkan tidak memiliki kemampuan untuk menegak kembali sewaktu oleng. Dengan kata lain bila kapal oleng tidak ada MP maupun momen penerus sehingga kapal tetap miring pada sudut oleng yang sama, penyebabnya adalah titik G terlalu tinggi dan berimpit dengan titik M karena terlalu banyak muatan di bagian atas kapal.
3. Stabilitas Negatif (*Unstable Equilibrium*)
Suatu keadaan stabilitas dimana titik G-nya berada di atas titik M. Sehingga sebuah kapal yang memiliki stabilitas negatif sewaktu oleng tidak memiliki kemampuan untuk menegak kembali, bahkan sudut olengnya akan bertambah besar, yang menyebabkan kapal akan bertambah miring lagi bahkan bisa menjadi terbalik. Atau suatu kondisi bila kapan miring karena gaya dari luar, maka

timbullah sebuah momen yang dinamakan momen penerus/*Heiling moment* sehingga kapal akan bertambah miring.

2.3. Computational Fluid Dynamic (CFD)

CFD adalah perhitungan yang mengkhususkan pada fluida, mulai dari aliran fluida, *heat transfer* dan reaksi kimia yang terjadi pada fluida. Atas prinsip-prinsip dasar mekanika fluida, konservasi energi, momentum, massa, serta *species*, perhitungan dengan CFD dapat dilakukan. Secara sederhana proses perhitungan yang dilakukan oleh aplikasi CFD adalah dengan kontrol-kontrol perhitungan yang telah dilakukan maka kontrol perhitungan tersebut akan dilibatkan dengan memanfaatkan persamaan-persamaan yang terlibat.

Persamaan-persamaan ini adalah persamaan yang dibangkitkan dengan memasukkan parameter apa saja yang terlibat dalam domain. Misalnya ketika suatu model yang akan dianalisa melibatkan temperatur berarti model tersebut melibatkan persamaan energi atau konservasi dari energi tersebut. Inisialisasi awal dari persamaan adalah *boundary condition*. *Boundary condition* adalah kondisi dimana kontrol-kontrol perhitungan didefinisikan sebagai definisi awal yang dilibatkan ke kontrol-kontrol perhitungan yang terlibat^[4].

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Data Model

Pada penelitian ini akan menggunakan model kapal Tanker Pertamina 17500 LTDW dengan data kapal dan tangki sebagai berikut :

Tabel.1 Data Kapal dan Tangki

Data Kapal		
LOA	160,00	M
LPP	149.50	M
Breadth	27.70	M
Draught	7,00	M
DWT	17500	Ton
Speed	13,00	Knot
Height	12,00	M
Main Engine	6500	PS
AFT Tank no.3		

Tank aft from AP	78,05	M
Tank bottom from keel line	2,00	M
Tank length	20,20	M
Tank breadth	11,85	M
Tank height	10,00	M

yang digunakan merupakan kriteria yang telah di validasi dahulu sebelumnya sehingga mendapatkan hasil yang memiliki *error* tidak jauh dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Berikut *Domain Physics* yang digunakan.

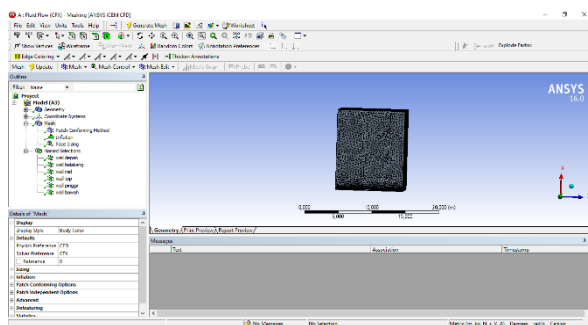
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pembuatan Model Tangki dan Meshing

Pada penelitian ini analisa *sloshing* dilakukan pada tangki no.3 dari AP. Sebelum diproses dengan *software CFD Ansys*, terlebih dahulu membuat model tangki menggunakan *software Rhinoceros*.

Setelah geometri tangki *solid*, *meshing* dilakukan pada *software Ansys CFX*. *Meshing* merupakan pembagian objek menjadi bagian atau elemen yang kecil. Semakin kecil ukuran *mesh* pada suatu obyek, maka hasil yang didapatkan akan semakin teliti, tetapi membutuhkan daya komputasi dan waktu yang lebih lama dibandingkan dengan obyek yang memiliki ukuran *mesh* lebih besar. Oleh karena itu, besar ukuran *mesh* harus diatur sedemikian rupa agar diperoleh hasil yang teliti dan diusahakan daya komputasi yang dibutuhkan tidak terlalu besar.

Tipe *meshing* yang dipilih pada penelitian adalah *tetrahedrons* jumlah *nodes* 76259 dan jumlah *elements* 247571.



Gambar. 1 Proses Meshing

Selanjutnya kita mengatur setiap kriteria yang kita gunakan dengan mengatur *Set-up*. *Set-up*

Tabel.2 Domain Default

Domain – Default Domain	
Type	Fluid
Location	B43
<i>Materials</i>	
Air	
Gasoline	
Fluid Definition	Material Library
Morphology	Continuous Fluid
<i>Settings</i>	
Buoyancy Model	Buoyant
Domain Motion	Stationary

Tabel.3 Initialisation

<i>Expressions</i>	
<i>FluidDen</i>	900 [kg m ⁻³]
<i>FluidHT</i>	0.9 [m]
<i>FluidVF</i>	if(y<FluidHt,1,0)*if(y>-1.1 [m],1,0)
<i>HydroP</i>	FluidDen*g*(FluidHt-y)*FluidVF

Tabel.4 Initialisation

Global Settings	
Velocity Type	Cartesian
<i>Cartesian Velocity Components</i>	
<i>Option</i>	<i>Automati</i>
U	3 [m s ⁻¹]
V	0 [m s ⁻¹]
W	0 [m s ⁻¹]
<i>Relative Pressure</i>	<i>HydroP</i>

Temperature	30 [c]
Turbulence	Medium (Intensity = 5%)
Volume Fraction	1-FluidVF

Tahap *solution* yaitu tahap dimana *boundary* yang telah diberi kriteri dilakukan iterasi hingga didapatkan hasil yang *convergence*.

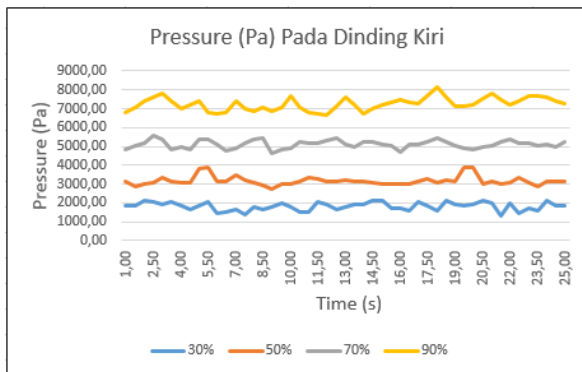
Tahap akhir yaitu tahap *post* dimana kita mendapatkan hasil yang dapat disimulasikan baik 3D ataupun 2D.

4.2. Hasil Simulasi Tangki

Simulasi sloshing dilakukan dalam 4 variasi pengisian yakni 10%, 50%, 98% dan 70%.

a. Hasil *running* untuk tekanan dinding tangki sebelah kanan

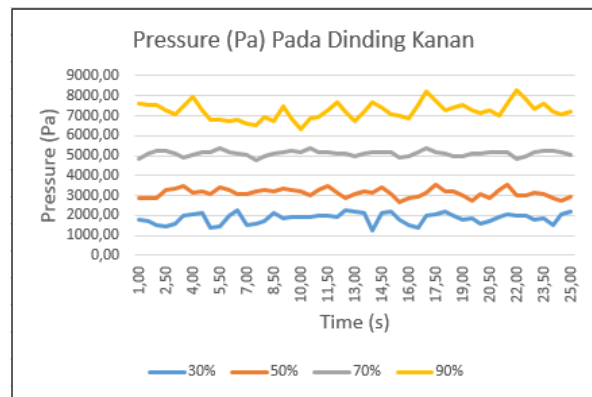
Berdasarkan hasil simulasi terlihat rata-rata tekanan dinding tangki sebelah kanan ketika pengisian 30%, 50% dan 70% lebih kecil dibandingkan dengan pengisian 90%. Untuk lebih jelasnya dapat kita lihat pada grafik tekanan dinding tangki dibawah ini:



Gambar. 2 Gambar Tekanan Pada Dinding Kiri

b. Hasil *running* untuk tekanan dinding tangki sebelah kiri

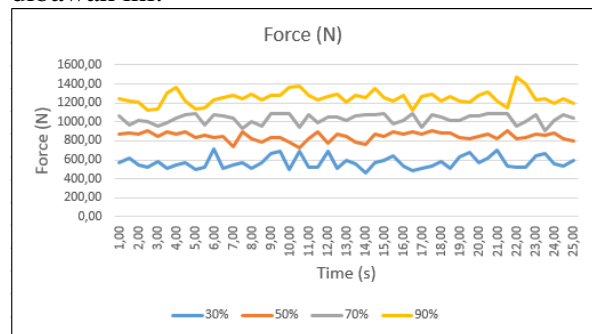
Berdasarkan hasil simulasi terlihat rata – rata tekanan dinding tangki sebelah kiri ketika pengisian 30%, 70% dan 90% lebih kecil dibandingkan dengan pengisian 50%. Untuk lebih jelasnya dapat kita lihat pada grafik tekanan dinding tangki dibawah ini:



Gambar. 3 Gambar Tekanan Pada Dinding Kanan

c. Hasil *running* untuk *force*

Berdasarkan hasil simulasi terlihat rata-rata *force* ketika pengisian 30%, 70% dan 90% lebih kecil dibandingkan dengan pengisian 50%. Untuk lebih jelasnya dapat kita lihat pada grafik tekanan dinding tangki dibawah ini:



Gambar. 3 Gambar perbandingan *Force*

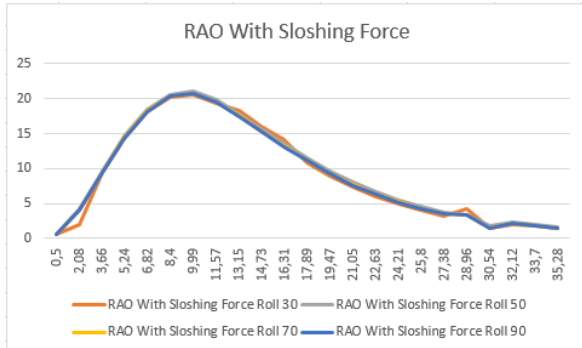
4.3. Analisa Olah Gerak

Olah gerak kapal dianalisa menggunakan *Hydrodynamic Diffraction*, hasil pemodelan dari *Rhinoceros* diekspor dalam bentuk file .iges. Analisa *Hydrodynamic Diffraction* yang akan dilakukan pada penelitian ini adalah olah gerak kapal tanker Pertamina 17500 LTDW pada bentuk geometri yang sudah divariasi meliputi *rolling*. Dengan arah masuk gelombang yaitu 90° dan *eksternal force* yang didapat dari hasil analisa *sloshing* tangki dengan hasil sebagai berikut :

Variasi Pengisian Tangki	<i>Force</i>
30%	572,13 N
50%	847,50 N
70%	1032,35 N
90%	1253,86 N

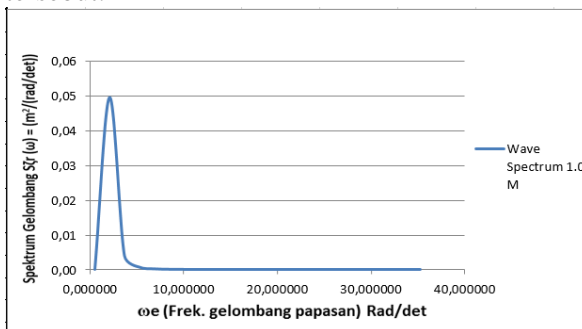
a. Hasil *running* untuk RAO dengan efek *sloshing*

Berikut merupakan hasil analisa olah gerak dengan grafik RAO dengan efek *sloshing* pada setiap arah masuk gelombang:



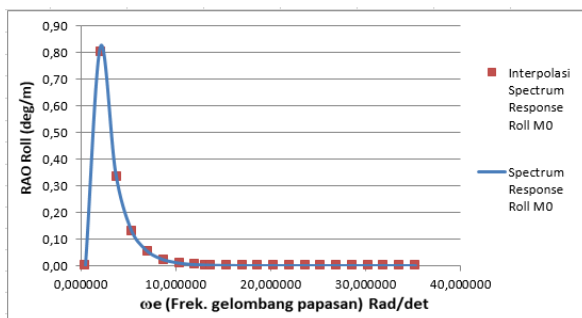
Gambar. 4 Gambar RAO with Sloshing.

Puncak gelombang pada grafik menunjukkan bahwa gerakan tertinggi kapal terjadi pada nilai tersebut.



Gambar 5. Spektrum Gelombang pada Gelombang 90° dengan efek *sloshing*.

Untuk perairan laut jawa, data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tinggi gelombang signifikan (H_s) 1,3 m, dan dari data tinggi gelombang yang didapatkan lalu dicari nilai periode rata-rata (T_{av}) pada tabel *sea state* yaitu 3,22.



Gambar 6. Perbandingan Spektrum Respon Gelombang Acak dengan Interpolasi pada Sudut 90° dengan efek *sloshing*.

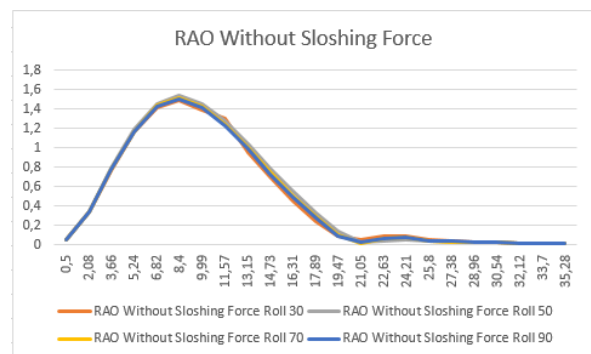
Gambar di atas merupakan grafik spektrum respon untuk sudut 90° dengan efek *sloshing*. Luasan di bawah kurva spektrum respon di atas disebut dengan m_0 . Dari nilai m_0 kita akan mendapatkan RMS.

Tabel 6. Nilai RMS Roll With Sloshing Tiap Variasi Pengisian

Variasi Pengisian Tangki	RMS of Roll With Sloshing
30%	6,57 deg
50%	9,52 deg
70%	9,39 deg
90%	9,35 deg

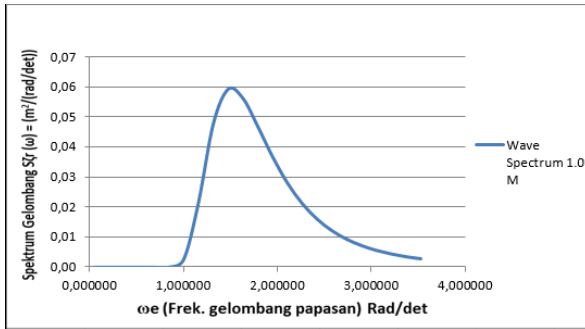
b. Hasil *running* untuk RAO tanpa efek *sloshing*

Berikut merupakan hasil analisa olah gerak dengan grafik RAO tanpa efek *sloshing* pada setiap arah masuk gelombang:



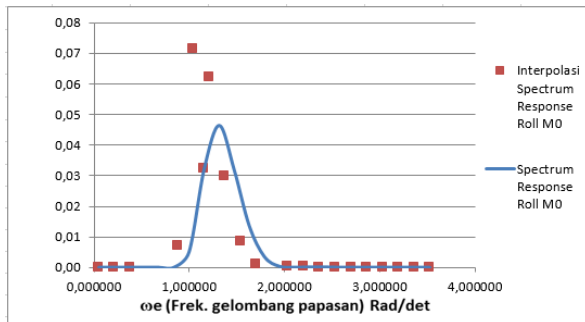
Gambar. 7 Gambar RAO without Sloshing

Puncak gelombang pada grafik menunjukkan bahwa gerakan tertinggi kapal terjadi pada nilai tersebut.



Gambar 8. Spektrum Gelombang pada Gelombang 90° tanpa efek sloshing.

Untuk perairan laut Jawa, data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu tinggi gelombang signifikan (H_s) 1,3 m, dan dari data tinggi gelombang yang didapatkan lalu dicari nilai periode rata-rata (T_{av}) pada tabel *sea state* yaitu 3,22.



Gambar 9. Perbandingan Spektrum Respon Gelombang Acak dengan Interpolasi pada Sudut 90° tanpa efek sloshing.

Gambar di atas merupakan grafik spektrum respon untuk sudut 90° dengan efek sloshing. Luasan di bawah kurva spektrum respon di atas disebut dengan m_0 . Dari nilai m_0 kita akan mendapatkan RMS.

Tabel 7. Nilai RMS Roll Without Sloshing Tiap Variasi Pengisian

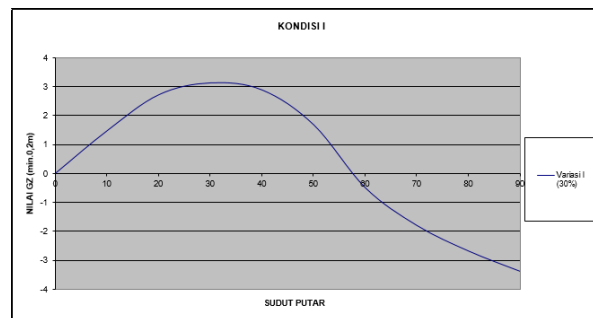
Variasi Pengisian Tangki	RMS of Roll With Sloshing
30%	1,577 deg
50%	1,474 deg
70%	1,411 deg
90%	1,069 deg

4.4. Analisa Stabilitas

Untuk menghitung stabilitas, kita perlu terlebih dahulu menentukan kondisi-kondisi yang mungkin akan dialami oleh kapal tersebut ketika berlayar, maka dipilih kondisi-kondisi seperti di bawah ini:

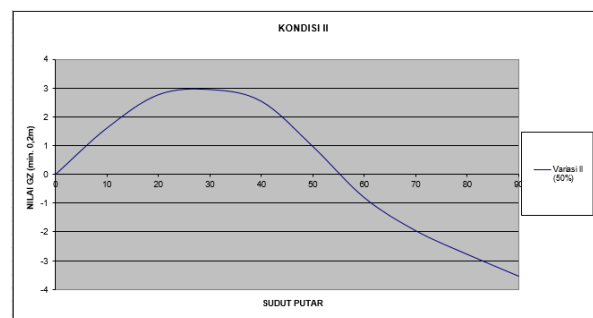
- Persentase perhitungan stabilitas pada kondisi I, menerangkan kondisi kapal pada tangki yang telah di tentukan dengan muatan 30%, berat *consumable* 0 %
- Persentase perhitungan stabilitas pada kondisi II, menerangkan kondisi kapal pada tangki yang telah di tentukan dengan muatan 50%, berat *consumable* 0 %
- Persentase perhitungan stabilitas pada kondisi III, menerangkan kondisi kapal pada tangki yang telah di tentukan dengan muatan 70%, berat *consumable* 0 %
- Persentase perhitungan stabilitas pada kondisi IV, menerangkan kondisi kapal pada tangki yang telah di tentukan dengan muatan 90%, berat *consumable* 0 %

Berikut hasil analisa stabilitas dengan grafik nilai GZ pada tiap kondisi:



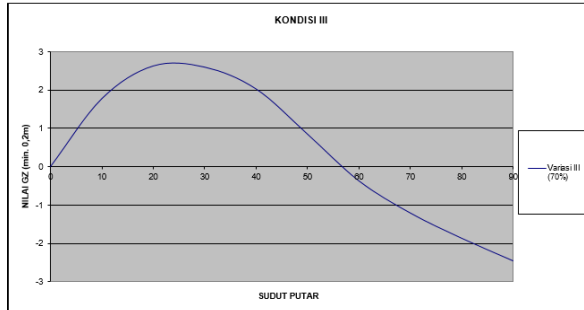
Gambar. 10 Grafik nilai GZ pada kondisi I

Analisa kriteria pada kondisi I menerangkan bahwa hasil perhitungan stabilitas dinyatakan memenuhi (*pass*) standart persyaratan IMO. Dengan maksimum nilai GZ terdapat pada Variasi I (30%) senilai 3,115 m.



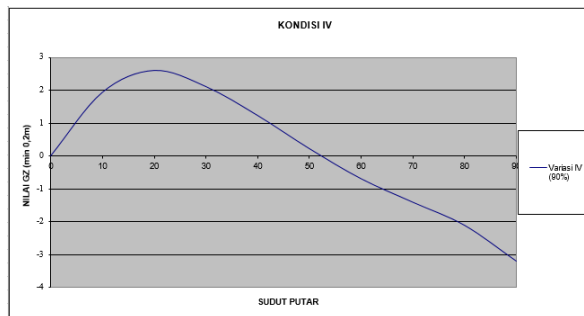
Gambar. 11 Grafik nilai GZ pada kondisi II

Analisa kriteria pada kondisi II menerangkan bahwa hasil perhitungan stabilitas dinyatakan memenuhi (*pass*) standart persyaratan IMO. Dengan maksimum nilai GZ terdapat pada Variasi II (50%) senilai 2,958 m.



Gambar. 12 Grafik nilai GZ pada kondisi III

Analisa kriteria pada kondisi III menerangkan bahwa hasil perhitungan stabilitas dinyatakan memenuhi (*pass*) standart persyaratan IMO. Dengan maksimum nilai GZ terdapat pada Variasi III (70%) senilai 2,63 m.



Gambar. 13 Grafik nilai GZ pada kondisi IV

Analisa kriteria pada kondisi IV menerangkan bahwa hasil perhitungan stabilitas dinyatakan memenuhi (*pass*) standart persyaratan IMO. Dengan maksimum nilai GZ terdapat pada Variasi III (70%) senilai 2,609 m.

Dari analisa di atas kita dapatkan hasil nilai GZ pada sudut *RMS of Roll* dengan tabel sebagai berikut:

Tabel 8. Nilai perbandingan panjang lengan GZ pada *RMS of Roll* dengan dan tanpa *sloshing*

Variasi Pengisian Tangki	<i>RMS of Roll With Sloshing</i> g	GZ m	<i>RMS of Roll Without Sloshing</i> g	GZ m
30%	6,57 deg	1,0 m	1,57 deg	0,2 3 m

50%	9,52 deg	1,5 4 m	1,47 deg	0,2 4 m
70%	9,39 deg	1,6 7 m	1,41 deg	0,2 5 m
90%	9,35 deg	1,8 1 m	1,06 deg	0,2 1 m

Besarnya kemampuan untuk menegak kembali kapal itu adalah sebesar $= W \times GZ$.

Atau jika dituangkan dalam bentuk rumus akan berbentuk :

$$M_p = W \times GZ$$

Dimana : M_p = Momen Penegak

W = Displacement

GZ = Lengan Penegak

Tabel 9. Nilai Momen Penegak Pada Kapal akibat *Sloshing*

Variasi Pengisian Tangki	W	GZ	M_p
30%	17500 ton	1,00 m	17500 ton m
50%	17500 ton	1,54 m	26950 ton m
70%	17500 ton	1,67 m	29225 ton m
90%	17500 ton	1,81 m	31675 ton m

5. PENUTUP

5.1. KESIMPULAN

Dari hasil yang telah di dapatkan dan dibahas pada bab sebelumnya dapat disimpulkan antara lain hal-hal sebagai berikut :

- Gaya yang terjadi pada dinding tangki pada pengisian 30% sebesar 572,13 N. Pada pengisian 50% sebesar 847,50 N Pada pengisian 70% sebesar 1032,35 N. Pada Pengisian 90% sebesar 1253,86 N.
- Hasil penelitian ini menunjukkan nilai *RMS of Roll with Sloshing Motion* pada pengisian 30% sebesar 6,57 deg, pada pengisian 50% sebesar 9,52 deg, pada pengisian 70% sebesar 9,39 deg, pada pengisian 90% sebesar 9,35 deg. Sedangkan nilai *RMS of*

- Roll without Sloshing Motion* pada pengisian 30% sebesar 1,577 deg, pada pengisian 50% sebesar 1,474 deg, pada pengisian 70% sebesar 1,411 deg, pada pengisian 90% sebesar 1,069 deg. Nilai GZ maksimal pengisian 30% sepanjang 3,115 m, nilai GZ maksimal pengisian 50% sepanjang 2,958 m, nilai GZ maksimal pengisian 70% sepanjang 2,63 m, dan nilai GZ pengisian 90% maksimal sepanjang 2,609 m. Nilai GZ pada sudut 6,57° sepanjang 1,00 m, nilai GZ pada sudut 9,52° sepanjang 1,54 m, nilai GZ pada sudut 9,39° sepanjang 1,67 m, dan nilai GZ pada sudut 9,35° sepanjang 1,81 m.
3. Nilai momen pengembali pada pengisian 30% sebesar 17500 ton m, pada pengisian 50% sebesar 26950 ton m, pada pengisian 70% sebesar 29225 ton m, pada pengisian 90% sebesar 31675 ton m. Hasil penelitian ini menunjukkan pengaruh gaya sloshing terhadap stabilitas kapal termasuk stabilitas positif karena momen penegak (M_p) kapal pada setiap variasi sama dengan dan lebih besar dari besar W kapal yaitu 17500 LTDW.

5.2. SARAN

Tugas akhir yang disusun penulis ini masih mempunyai keterbatasan dan kekurangan. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan tugas akhir ini dapat dikembangkan lagi secara lebih mendalam dengan kajian lebih lengkap. Adapun saran penulis untuk penelitian lebih lanjut antara lain :

1. Diperlukan komputasi yang tinggi dalam analisa CFD (*Computational Fluid Dynamic*).
2. Perlunya ketelitian dalam menjalankan *software* CFD (*Computational Fluid Dynamic*).
3. Diharapkan adanya pengujian laboratorium guna meningkatkan keakuratan hasil pendekatan numerik yang telah dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Brar, Gurinder Singh at.al. 2014. “*An Experimental and CFD Analysis of Sloshing in a Tanker*”. 2nd International Conference on Innovation in Automotion and Mechatronics Engineering. ICIAME.
- [2]. Arsad, Khoirul Ashar dkk. “*Studi Gerakan Sloshing terhadap Tangki Kotak*

(*Rectangular Tank*) Dengan dan Tanpa Pelat Memanjang (*Baffle*) Akibat Gerakan Rolling Kapal Dengan Metode *Computational Fluid Dynamics (CFD)*”. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- [3]. Sari, Nur Meilina. 2013. “*Analisa Gerakan Sloshing Pada Tangki Muatan Kapal Disha LNG Carrier Dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamic*”. Semarang : Universitas Diponegoro.
- [4]. Arimbawa, Rega. “*Analisa Pengaruh Sloshing Terhadap Getaran Mobil Tangki Dengan Model Full Car*”. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.