

**INVESTIGASI GERAK SLAMMING PADA HALUAN KAPAL
MENGUNAKAN ANSYS**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Departemen Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



OLEH:

MUH. MIFTACH AGSA MUBARAK. S

D311 16 012

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2022

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas akhir ini diajukan untuk memenuhi salah satu syarat dalam mengikuti Seminar dan Ujian Akhir guna memperoleh gelar Sarjana Teknik Perkapalan Program Studi Strata Satu (S1) pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Makassar

Judul Skripsi

**INVESTIGASI GERAK SLAMMING PADA HALUAN KAPAL
MENGUNAKAN ANSYS**

Disusun Oleh :

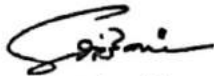
Muh. Miftach Agsa Mubarak. S

D31116012

Gowa, ... Maret 2022

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing I



Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.

Nip. 19730206 200012 1 002

Pembimbing II



Ir. Rosmari, MT.

Nip. 19600620 198802 2 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.

Nip. 19730206 200012 1 002



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Muh. Miftach Agsa Mubarak. S

NIM : D311 16 012

Program Studi : Teknik Perkapalan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Investigasi Gerak Slamming Pada Haluan Kapal Menggunakan ANSYS

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi/tesis/disertasi yang saya tulis ini benar benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi/tesis/disertasi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Maret 2022

Yang Menyatakan



Muh. Miftach Agsa Mubarak. S

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamu`alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh

Alhamdulillah Rabbil Alamin, Segala Puji Bagi-Mu Ya Rabb, pemberi cinta paling hakiki, yang senantiasa menyiapkan rencana sempurna untuk hamba ini, tidak ada yang dapat hamba ucapkan selain kalimat terindah di atas untuk segala pemberian terbaik. Puji syukur atas-Mu yang telah memudahkan segala kesulitan, melapangkan segala kesempitan, menenangkan segala kegundahan, serta memberi petunjuk atas segala kebuntuan. Penulisan skripsi ini penulis lakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik, pada Universitas Hasanuddin.

Penghargaan sebesar-besarnya penulis berikan kepada Ayahanda dan Ibunda, Sahabu dan Agustina yang telah membesarkan dan mendidik penulis. Rasa terima kasih sekaligus permohonan maaf kepada mereka karena dengan dukungan keduanya penulis dapat melanjutkan pendidikan hingga perguruan tinggi. Terima kasih atas segala doa, cinta, perhatian, serta pengertian yang kalian berikan kepada penulis. Kepada adik penulis: Sofiah Qotrunada juga terima kasih atas dukungannya.

Selanjutnya, penghargaan setinggi-tingginya penulis sampaikan kepada Bapak Dr. Eng. Suandar Baso, S.T.,M.T. dan Ibu Ir. Rosmani, M.T. yang telah berkenan membimbing sekaligus sebagai konselor terbaik. Di tengah kebingungan penulis, merekalah yang paling berperan dalam penentuan tema skripsi ini sehingga sepatutnya penulis bersyukur atas ketentuan-Nya mempertemukan kami dalam

penulisan skripsi ini. Terima kasih banyak untuk waktu, tenaga, pikiran, serta segenap perhatian yang kalian berikan pada penulis. Tidak banyak yang dapat dilakukan penulis untuk membalas segenap kebaikan bapak dan ibu pada penulis sepanjang waktu ini. Arahan, petunjuk, dan bimbingan dari beliau telah memberi kemudahan bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Untuk Bapak Ir. Lukman Bochary, MT. dan Ibu Andi Dian Eka Anggriani, ST., MT. selaku dosen penguji, yang juga memberikan masukan dalam penyelesaian skripsi ini.

Untuk Kak Ardi dari PT. Industri Kapal Indonesia yang telah membantu penulis untuk mendapatkan data dan informasi yang diperlukan dalam pembuatan skripsi ini.

Untuk sahabat penulis, Zainal Bin Hamid, Rhara Dharmawan Noer, Dwi Restu Afdillah, dan Natalia Lapu' yang memberikan dukungan kepada penulis untuk mengerjakan skripsi dan juga bantuan kala penulis tengah kebingungan. Terima kasih untuk teman-teman Naval 16 yang tidak bisa disebutkan satu-persatu yang selama kurang lebih 4 tahun terakhir bersama melewati hari-hari di Jurusan Perkapalan.

Untuk seluruh Dosen Pengajar, Staf Pegawai, Kakak Senior di Jurusan Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, dan semua pihak yang turut membantu dalam penelitian ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih atas semua bantuan, bimbingan, arahan, dukungan, nasehat dan saran.

Semoga Allah SWT senantiasa memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada semua pihak yang telah memberikan segala bantuannya. Hasil penelitian ini

tentu saja masih memiliki banyak kekurangan karena keterbatasan kemampuan penulis. Penulis berharap tugas akhir ini dapat bermanfaat dan menjadi suatu karya yang memberi dampak positif dan dapat bermanfaat bagi pembaca dan penulis.

Aamiin Ya Rabbal `Aalamiin

Wassalamu`alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Makassar, Maret 2022

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vii
ABSTRAK	x
DAFTAR NOTASI	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	4
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistemetika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Gravitasi	6
2.2 Gerak Jatuh Bebas	7
2.3 Dropping Test	9

2.4 Teori Slamming	9
2.5 Internal Strain	11
2.6 Fenomena Slamming	11
2.7 Slamming Experiments	14
2.8 ANSYS	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian	23
3.2 Jenis Penelitian	23
3.3 Jenis Data dan Teknik Pengambilan Data	23
3.3.1 Jenis Data	23
3.3.2 Teknik Pengambilan Data	23
3.4 Metode Pengolahan Data	23
3.4.1 Pemodelan Haluan Kapal	23
3.4.2 Persiapan Simulasi	31
3.4.3 Dropping Test	32
3.4.3 Menganalisis Water Impact atau Tekanan Menggunakan ANSYS	35
3.4.4. Menarik Kesimpulan	36
3.5 Kerangka Pikir	37
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Model Haluan Kapal	38
4.2 Hasil <i>Drop Test</i> Haluan Kapal	48
4.2.1 Distribusi Tekanan dan Internal Strain Haluan Pada Sudut Kemiringan 0°	48

4.2.2 Distribusi Tekanan dan Internal Strain Haluan Pada Sudut	
Kemiringan 5°	50
4.2.3 Distribusi Tekanan dan Internal Strain Haluan Pada Sudut	
Kemiringan 10°	51
4.2.4 Distribusi Tekanan dan Internal Strain Haluan Pada Sudut	
Kemiringan 15°	52
4.3 Hasil Analisis	54
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	

ABSTRAK

Miftach, Muhammad . “Investigasi Gerak Slamming Pada Haluan Kapal Menggunakan ANSYS”. (Dibimbing oleh Suandar Baso, Hj.Rosmani)

Pada kondisi aktual, kapal berlayar di gelombang dan mengalami *slamming*. *Slamming* adalah peristiwa yang terjadi akibat gerakan vertikal kapal dan dalam kondisi gerakan yang ekstrim dapat menyebabkan haluan kapal keluar dari permukaan air dan kembali jatuh ke permukaan air. Kerusakan yang sering terjadi akibat *slamming* adalah terjadinya patahan pada struktur kapal. Maka perlu dikaji lebih lanjut untuk mengukur besarnya *water impact* pada saat kapal mengalami *slamming*, serta menentukan distribusi tekanan pada bagian haluan kapal. Metode yang digunakan pada penelitian ini berupa simulasi dengan menggunakan *software* ANSYS. Dalam penelitian ini, haluan kapal disumulasikan sesuai kondisi aktual dengan memperhatikan massa jenis material kapal dan air, poisson ratio, modulus young material yang digunakan guna mendapatkan hasil yang diinginkan. Sehingga hasil yang didapatkan yakni pada kemiringan 0° nilai tekanan yang diperoleh sebesar $9.472E+03$ kN/m² dan *internal strain* sebesar $8.560E+01$, pada kemiringan 5° nilai tekanan yang diperoleh sebesar $1.208E+04$ kN/m² dan *internal strain* sebesar $1.252E+02$, pada kemiringan 10° nilai tekanan yang diperoleh sebesar $1.688E+04$ kN/m² dan *internal strain* sebesar $1.754E+02$, sedangkan pada kemiringan 15° nilai tekanan yang diperoleh sebesar $2.286E+04$ kN/m² dan *internal strain* sebesar $2.580E+02$. Untuk selanjutnya pada kasus yang sama sebaiknya tekanan pada buritan kapal akibat *bottom slamming* juga dihitung.

Kata Kunci: Slamming, Tekanan, Internal Strain, ANSYS

ABSTRACT

Miftach, Muhammad . “Investigation of Slamming Motions on Ship Bow by Using ANSYS”. (supervised by Suandar Baso, Hj.Rosmani)

In actual conditions, ships are in waves and experience slamming. Slamming is an event that occurs due to the vertical movement of the ship and in extreme conditions of movement can cause the bow of the ship to come out of the water surface and fall to the surface of the water. Damage that often occurs due to slamming is the occurrence of fractures in the structure of the ship. So it is necessary to study further to measure the impact of water when the ship experiences a collision, as well as determine the distribution of pressure on the bow of the ship. The method used in this research is a simulation using ANSYS software. In this study, the ship's bow is simulated according to actual conditions by taking into account the density of the ship's material and air, poisson ratio, modulus of young material used to get the desired results. So that the results obtained are at a slope of 0° the pressure value obtained is $9.472E+03$ kN/m² and the internal strain is $8.560E+01$, at a slope of 5° the pressure value obtained is $1.208E+04$ kN/m² and the internal strain is $1.252E+02$, at a slope of 10° the pressure value obtained is $1.688E+04$ kN/m² and the internal strain is $1.754E+02$, while at a slope of 15° the pressure value is $2.286E+04$ kN/m² and the internal strain is $2.580E+02$. Henceforth in the same case the pressure on the stern of the ship is also calculated.

Keywords: Slamming, Pressure, Internal Strain, ANSYS

DAFTAR NOTASI

Notasi	Nama	Satuan
DWT	Deadweight Tonnage	Ton
V	Kecepatan sebuah benda	m/s
M	Dimensi massa (SI)	m
L	Dimensi panjang (SI)	m
T	Dimensi waktu (SI)	s
P	Tekanan	Pa
ρ	Massa jenis fluida	kg/m³
v	Kecepatan fluida	m/s
F	Gaya	N
A	Luas	m²
g	Gravitasi	m/s²
σ	Tegangan	N/m²
FP	Forward Perpendicular	m
B_{MS}/B	Lebar Maksimum Kapal	m
L_{PP}/L_{BP}	Length of Perpendicular	m
T_{FP}/d	Sarat Kapal	m
LOA	Length of All	m
LWL	Length of Waterline	m
D	Tinggi Kapal	m
V	Kecepatan Kapal	m/s

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Fenomena Slamming	11
Gambar 2.2 <i>Peak pressure coefficients $k = (p/(1/2 \rho v^2))$ of two and three dimensional bodies as function of the deadrise angle</i>	12
Gambar 2.3 <i>Air enclosure during a flat impact of a breaking wave against a vertical wall</i>	13
Gambar 2.4 Contoh <i>whipping response</i>	15
Gambar 2.5 Analisis puncak <i>slamming</i>	16
Gambar 2.6 Skema Uji Ketahanan Kapal	17
Gambar 2.7 Skema <i>Dropping Test</i>	18
Gambar 2.8 Perbandingan Nilai Tegangan pada Perhitungan dan Percobaan	19
Gambar 3.1 Lines Plan KM. Padang Bai	25
Gambar 3.2 Konstruksi Haluan KM. Padang Bai	25
Gambar 3.3 Tampilan <i>worksheet</i> pemodelan model haluan kapal pada AutoCad 3D	27
Gambar 3.4 Konstruksi gading 112 (kiri) dan gading 113 (kanan)	27
Gambar 3.5 <i>Section</i> pada haluan kapal yang telah dibagi menjadi beberapa bagian	28
Gambar 3.6 <i>Surfaces</i> yang dikonversi menjadi <i>solid</i>	29
Gambar 3.7 Gabungan <i>solid</i> membentuk <i>section</i>	29
Gambar 3.8 <i>Center girder</i> dan <i>double bottom</i>	30
Gambar 3.9 Gabungan seluruh konstruksi membentuk haluan kapal	31
Gambar 3.10 Simulasi <i>bow slamming</i> dengan sudut kemiringan 0°	33

Gambar 3.11 Simulasi <i>bow slamming</i> dengan sudut kemiringan 5°	33
Gambar 3.12 Simulasi <i>bow slamming</i> dengan sudut kemiringan 10°	34
Gambar 3.13 Simulasi <i>bow slamming</i> dengan sudut kemiringan 15°	34
Gambar 3.14 Area yang dideteksi pada <i>bulbous bow</i>	35
Gambar 3.15 Area yang dideteksi pada gading	36
Gambar 3.16 <i>Probe</i> pada area <i>bulbous bow</i>	36
Gambar 4.1 Tampilan Awal ANSYS <i>Workbench: Explicit Dynamics</i>	39
Gambar 4.2 Properti dari Engineering Data	40
Gambar 4.3 Properti dari Water Liquid	41
Gambar 4.4 Tampilan dari <i>Geometry</i>	43
Gambar 4.5 Contoh penggunaan <i>Tetrahedron Mesh</i>	43
Gambar 4.6 Tampilan dari <i>Mesh Method</i>	44
Gambar 4.7 Detail dari <i>Velocity</i>	45
Gambar 4.8 Detail dari <i>Analysis Settings</i>	46
Gambar 4.9 Detail dari <i>Fixed Support</i>	47
Gambar 4.10 Detail dari <i>Standard Earth Gravity</i>	48
Gambar 4.11 Grafik Tekanan Pada Sudut Kemiringan 0°	49
Gambar 4.12 Grafik Internal Strain Pada Sudut Kemiringan 0°	49
Gambar 4.13 Grafik Tekanan Pada Sudut Kemiringan 5°	50
Gambar 4.14 Grafik Internal Strain Pada Sudut Kemiringan 5°	51
Gambar 4.15 Grafik Tekanan Pada Sudut Kemiringan 10°	52
Gambar 4.16 Grafik Internal Strain Pada Sudut Kemiringan 10°	52
Gambar 4.17 Grafik Tekanan Pada Sudut Kemiringan 15°	53

Gambar 4.18 Grafik Internal Strain Pada Sudut Kemiringan 15°	54
Gambar 4.19 Nilai Tekanan Tiap Variasi Sudut Kemiringan	55
Gambar 4.20 Nilai Koefisien Tekanan Tiap Variasi Sudut Kemiringan	56
Gambar 4.21 Nilai Internal Strail Tiap Variasi Sudut Kemiringan	57

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Ukuran Utama Kapal	24
Tabel 3.2 Matriks Waktu Simulasi	31
Tabel 3.3 Matriks Kebutuhan Simulasi	32
Tabel 4.1 Nilai Tekanan Pada Setiap Sudut Kemiringan	55
Tabel 4.2 Nilai Koefisien Tekanan Pada Setiap Sudut Kemiringan	56
Tabel 4.3 Nilai Internal Strain Pada Setiap Sudut Kemiringan	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Simulasi Drop Test Pada Kemiringan 0°

Lampiran 2. Data Hasil Simulasi Drop Test Pada Kemiringan 5°

Lampiran 3. Data Hasil Simulasi Drop Test Pada Kemiringan 10°

Lampiran 4. Data Hasil Simulasi Drop Test Pada Kemiringan 15°

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki wilayah laut yang luas dengan kondisi perairan yang berbeda-beda. Kondisi laut yang dimaksud ialah gelombang laut. Gelombang laut adalah pergerakan naik dan turunnya air dengan arah tegak lurus permukaan air laut yang membentuk kurva sinusoidal. Gelombang laut disebabkan oleh angin dimana angin di atas lautan mentransfer energinya ke perairan.

Pada kondisi aktual, kapal berlayar di gelombang dan mengalami *slamming*. *Slamming* adalah peristiwa yang terjadi akibat gerakan vertikal kapal dan dalam kondisi gerakan yang ekstrim sehingga menyebabkan haluan kapal keluar dari permukaan air dan kembali jatuh ke permukaan air. Kecepatan jatuhnya haluan kapal ke permukaan gelombang yang relatif besar dapat menyebabkan kerusakan struktur kapal. Kondisi tersebut sangat berpengaruh pada kekuatan struktur kapal. Kerusakan yang sering terjadi akibat *slamming* adalah terjadinya patahan pada struktur kapal.

Suatu kapal yang berlayar, dalam operasinya sangat dipengaruhi oleh kondisi laut terutama besar kecilnya gelombang. Gerakan kapal akibat gelombang sangat perlu diperhitungkan dalam tahap awal desain. Hal itu akan lebih menjamin keselamatan kru dan kargo mengingat banyaknya insiden kapal akibat cuaca buruk. Dalam tahap pengerjaan suatu kapal perlu diketahui gerakan kapal terhadap gelombang dengan menghitung peluang terjadinya *bow slamming*. Dengan prediksi

gerakan yang baik maka efisiensi dan nilai guna kapal yang diperlukan dapat ditingkatkan dalam rangka persaingan di bisnis pelayaran mengingat kapal adalah barang modal yang harganya tinggi.

Rousset J.M, et al, (2006) telah melakukan penelitian *Slamming Experiments On a Ship Model* dengan menggunakan *pressure cells* (Druck PDCR 200, sebanyak 12 sensor pada haluan dan 7 sensor pada buritan). Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui beban hempasan kapal (getaran, kelelahan balok penopang, dan kekuatan utama). Anghileri M., et al, (2007) juga telah melakukan pengujian *water impact* yang difokuskan pada interaksi struktur fluida. Pada penelitian tersebut digunakan strain gauge sebanyak 12 buah yang dipasang pada model percobaan untuk mengetahui besarnya beban *impact* air.

Berdasarkan penelitian tersebut maka, peneliti tertarik melakukan penelitian serupa yaitu menginvestigasi tekanan atau *water impact* yang diakibatkan slamming namun berfokus pada bagian haluan saja dengan mempertimbangkan parameter seperti *healing angle* dan bentuk struktur kapal itu sendiri. Penelitian ini dibantu dengan software yakni ANSYS sehingga lebih mudah dalam menginvestigasi parameter tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka rumusan masalah yang dikemukakan ialah sebagai berikut:

1. Berapa besar tekanan dengan pertimbangan sudut kemiringan pada saat haluan kapal mengalami *slamming* menggunakan *software* ANSYS ?
2. Berapa besar *internal strain* dengan pertimbangan sudut kemiringan pada saat haluan kapal mengalami *slamming* menggunakan *software* ANSYS ?
3. Bagaimana distribusi tekanan dan *internal strain* akibat *slamming* dengan pertimbangan sudut kemiringan dari haluan kapal menggunakan *software* ANSYS ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tipe kapal yang dijadikan pengujian adalah kapal *ferry* dengan struktur *bulbous bow*.
2. Pengujian yang dilakukan yaitu *dropping test* dengan prinsip jatuh bebas.
3. *Drop test* dilakukan dengan empat variasi sudut kemiringan kapal, yakni 0°, 5°, 10° dan 15°.
4. Tinggi *drop test* yaitu 5 mm sebelum menyentuh permukaan air dengan kecepatan 5.415 m/s.
5. Model yang dibuat berupa haluan kapal, mulai dari sekat haluan hingga *bulbous bow*.
6. Pemodelan haluan kapal sesuai dengan ukuran kapal yang sesungguhnya.

7. Pemodelan haluan kapal dilakukan dengan bantuan software AutoCad 3D dan *dropping test* dilakukan dengan bantuan *software* ANSYS.
8. Analisis *water impact* dilakukan pada bagian haluan saja.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan besar tekanan pada saat proses *slamming* haluan kapal menggunakan *software* ANSYS.
2. Menentukan besar *internal strain* pada saat proses *slamming* haluan kapal menggunakan *software* ANSYS.
3. Menentukan distribusi tekanan dan *internal strain* akibat *slamming* dengan pertimbangan sudut kemiringan di sepanjang struktur kapal menggunakan *software* ANSYS.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai informasi untuk mengetahui besarnya pengaruh gelombang terhadap gerak *slamming* pada haluan kapal.
2. Sebagai bahan pertimbangan bagi perancang kapal dalam perencanaan haluan kapal kaitannya dengan kekuatan struktur kapal.
3. Sebagai referensi dan acuan untuk penelitian selanjutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Hasil penelitian akan dituang dalam tulisan secara terperinci dan tersusun sebagai berikut ini:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini diuraikan latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini diuraikan landasan teori yang berkaitan dengan topik penelitian yang digunakan dalam menyelesaikan dan membahas permasalahan penelitian.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bab ini diuraikan lokasi penelitian, waktu penelitian, jenis penelitian, jenis data, teknik dalam pengambilan data, metode analisis data, dan kerangka pikir penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini diuraikan pembahasan mengenai permasalahan yang diteliti yaitu *water impact* atau tekanan akibat fenomena *slamming* dengan *dropping test* menggunakan *software* ANSYS.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian serta saran-saran yang terkait penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gravitasi

Gravitasi merupakan gaya tarik – menarik yang terjadi antara semua partikel yang mempunyai massa di alam semesta. Gravitasi matahari mengakibatkan benda-benda langit berada pada orbit masing-masing dalam mengitari matahari. Fisika modern mendeskripsikan gravitasi menggunakan Teori Relativitas Umum dari Einstein, namun hukum gravitasi universal Newton yang lebih sederhana merupakan teori yang cukup akurat dalam kebanyakan kasus. Sebagai contoh, bumi yang memiliki massa yang sangat besar menghasilkan gaya gravitasi yang sangat besar untuk menarik benda-benda di sekitarnya, termasuk makhluk hidup, dan benda-benda yang ada di bumi (Himaya,2016).

Hukum gravitasi universal berbunyi “*Setiap massa menarik titik lainnya dengan gaya segaris dengan garis yang menghubungkan kedua titik. Besar gaya tersebut berbanding lurus dengan perkalian kedua massa tersebut dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua massa titik tersebut.*” Sehingga,

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} = m_1 g$$

dengan,

F = besar gaya gravitasi antara kedua massa titik tersebut (N),

G = konstanta gravitasi ($6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$),

m_1 = besar massa titik pertama (kg),

m_2 = besar massa titik kedua (kg),

r = jarak antara kedua massa titik (m), dan

g = percepatan gravitasi bumi ($9,81 \text{ m/s}^2$).

Dari persamaan ini dapat diturunkan persamaan untuk menghitung gaya berat. Gaya berat suatu benda adalah hasil kali massa benda tersebut dengan percepatan gravitasi bumi. Persamaan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

$$w = m \times g$$

dengan,

w = Gaya berat (N)

m = massa benda (kg), dan

g = percepatan gravitasi bumi ($9,81 \text{ m/s}^2$).

2.2 Gerak Jatuh Bebas

Dalam kehidupan sehari – hari, sering dijumpai gerak jatuh bebas. Contoh sederhananya ialah buah yang jatuh dari pohonnya. Benda tersebut seolah – olah memiliki kecepatan yang tetap atau dengan kata lain benda tersebut tidak mengalami percepatan tetap. Contoh lain penerapan gerak jatuh bebas adalah mengukur ketinggian suatu bangunan dengan cara melemparkan suatu benda dari puncak bangunan tersebut lalu hitung lama benda untuk sampai ke tanah. Ketika selang waktunya diketahui, maka tinggi dari bangunan tersebut dapat diketahui. Dalam hal ini, gerak jatuh bebas merupakan gerak yang mengakibatkan benda melewati lintasan berbentuk lurus karena pengaruh gaya gravitasi bumi atau gerak jatuh bebas adalah salah satu bentuk gerak lurus dalam satu dimensi yang hanya dipengaruhi oleh adanya percepatan gravitasi bumi (Himaya,2016).

Gerak jatuh bebas terjadi pada semua benda dari ketinggian tanpa memperdulikan massa benda tersebut. Suatu benda yang berat, yang dapat dianalogikan sebuah batu akan memiliki waktu jatuh yang sama dengan sebuah kertas. Namun, perlu dicatat bahwa benda yang memiliki selisih berat besar dapat jatuh dengan waktu bersamaan, kedua benda tersebut dapat jatuh bersamaan apabila tidak ada gaya lain yang bekerja kecuali gaya gravitasi bumi. Jadi kedua benda tersebut dapat jatuh secara bersamaan pada sebuah ruangan yang hampa udara. Karena secara langsung mempengaruhi kecepatan benda sampai ke tanah (Himaya,2016).

Pada percobaan gerak jatuh bebas sering di temukan bahwa hasil percepatan yang dialami tidak sesuai dengan kecepatan gravitasi bumi, hal tersebut terjadi karena sesungguhnya benda tersebut telah mengalami perlambatan oleh gaya gesek udara. Percepatan yang dialami benda pada gerak jatuh bebas akan sama dengan percepatan gravitasi bila benda tersebut dijatuhkan pada ruangan hampa udara (Himaya,2016).

2.3 Drop Test

Drop test merupakan kegiatan pengujian dengan menjatuhkan suatu benda dari ketinggian tertentu. Dalam penelitian ini, *drop test* dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar *water impact*/tekanan yang terdistribusi disepanjang badan kapal setelah dijatuhkan. Pada *drop test* tersebut kapal dijatuhkan dari berbagai sudut, mulai dari bagian depan, bagian samping dan bagian belakang dengan ketinggian tertentu.

2.4 Teori Slamming

Slamming adalah fenomena yang terjadi apabila dasar haluan naik melewati permukaan gelombang dan kemudian masuk kembali ke dalam air dengan kecepatan relatif vertikal haluan mempunyai harga yang melewati harga tertentu dan timbul hempasan. Kondisi tersebut berpengaruh pada keselamatan operasi dan kekuatan struktur kapal. *Slamming* juga mungkin dapat mengakibatkan takikan pada plat bagian haluan, *buckling* dan deformasi pada member pendukung struktur haluan (Ge Wang, 2002).

Slamming terjadi karena terdapat beda fase struktur kapal dengan fase gelombang. Perbedaan fase ini menyebabkan struktur kapal dapat terangkat keluar dari permukaan laut dan setelah itu jatuh menghantam permukaan laut tersebut. Kejadian masuknya lambung kapal ke dalam permukaan laut ini terjadi begitu cepat hingga menghasilkan beban *impact* yang disebut beban *slamming*.

Slamming pada kapal banyak terjadi di daerah operasi yang kondisi lingkungannya mempunyai gelombang yang besar, seperti di North Sea dan Gulf of Mexico. Di daerah lain meskipun rata-rata kondisi lingkungannya tidak ganas namun slamming mungkin terjadi pada musim-musim tertentu dimana gelombang cukup besar.

Menentukan peluang terjadinya *slamming* harus didasarkan 2 syarat. Pertama yaitu dasar haluan naik melewati (*emerge*) gelombang, atau dengan kata lain gerakan relatif vertikal haluan melampaui sarat air bagian haluan ($Z_b > T_b$), dan kedua yaitu kecepatan relatif vertikal haluan mempunyai harga yang melewati

harga kecepatan ambang batas *slamming* atau *threshold velocity* (Bhattacharyya, 1978).

Untuk menghitung besarnya *bow slamming*, terlebih dahulu harus memperhitungkan peluang gerakan vertikal haluan relatif lebih besar dari sarat air bagian haluan, atau secara matematis dituliskan (Bhattacharyya, 1978):

$$Pr = \Pr(Zbr > Tb) = \exp\left(-\frac{Tb^2}{2m_{os}}\right)$$

Berikutnya peluang kecepatan relatif vertikal haluan lebih besar dari kecepatan ambang batas *slamming*, atau secara matematis dituliskan (Bhattacharyya, 1978):

$$Pr = \Pr(Vbr > Vth) = \exp\left(-\frac{Vbr^2}{2m_{2s}}\right)$$

Dengan demikian peluang terjadinya *slamming* adalah kombinasi kedua persamaan di atas, yang dituliskan (Bhattacharyya, 1978):

$$Pr (Slam) = \Pr(Zbr > Tb \text{ dan } Vbr > Vth) = \exp\left(-\frac{Tb^2}{2m_{os}} - \frac{Vbr^2}{2m_{2s}}\right)$$

dimana:

Zbr = Gerakan relatif vertikal Haluan,

Vbr = Kecepatan relatif Haluan,

Vth = Kecepatan ambang,

Tb = Sarat pada Haluan,

m_{os} = Luasan dari spektrum untuk relatif *bow motion*, dan

m_{2s} = Luasan dari spektrum respon relatif *bow velocity*.

Untuk menghitung intensitas *slamming* per jam dapat menggunakan persamaan (Bhattacharya, 1978):

$$N_T = \frac{3600 \times T}{2\pi} \sqrt{\frac{m_{2s}}{m_{0s}}} \times \exp\left(-\frac{Tb^2}{2m_{0s}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{2s}}\right) 1/det$$

dan untuk menghitung intensitas *slamming* setiap detik dapat menggunakan persamaan (Bhattacharya, 1978):

$$N_T = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2m_{0s}}{2m_{2s}}} \times \text{Pr Slamming}$$

2.5 Internal Strain

Suatu sistem struktur yang menanggung beban luar (*external forces*) akan menyebabkan timbulnya gaya dalam (*internal forces*) pada elemen-elemen penyusun struktur tersebut, gaya dalam berfungsi untuk menahan beban yang bekerja sesuai dengan hukum keseimbangan (*equilibrium*). Apabila gaya dalam bertambah maka akan menyebabkan bertambahnya tahanan dalam material yang digunakan sampai mencapai suatu nilai maksimum, jika penambahan beban masih terus dilanjutkan maka akan terjadi kegagalan pada elemen struktur tersebut. Akibat adanya sebuah tekanan maupun tegangan pada struktur sehingga menimbulkan deformasi seperti perubahan panjang (*elongation*), lentur (*bending*), geser (*shearing*) dan puntir, sehingga lebih tepat jika dinyatakan dalam bentuk regangan yang merupakan nilai banding perubahan dimensi per satuan ukuran terhadap dimensi awalnya (Hidemi Mutsuda, Suandar Baso and Yasuaki Doi Tahun 2014).

2.6 Fenomena Slamming

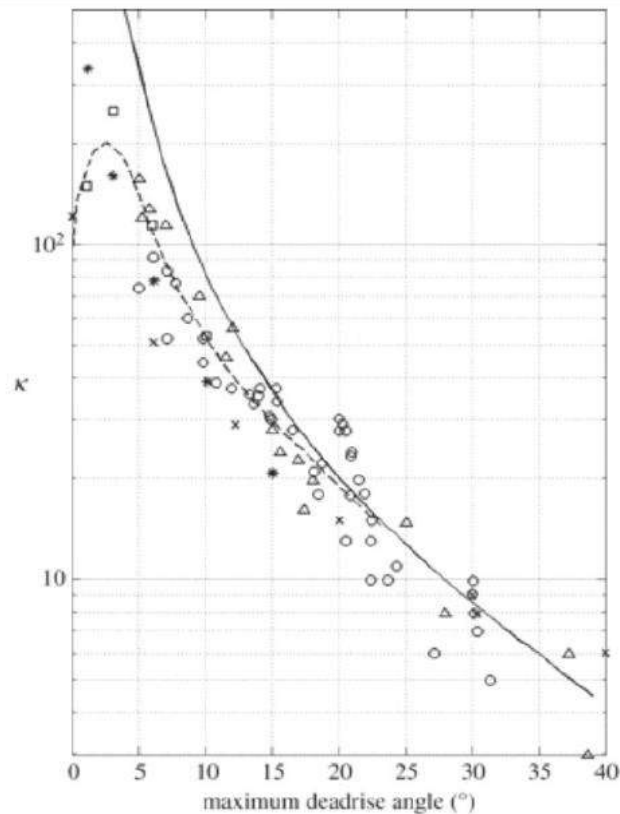
Fenomena slamming ditandai dengan durasi yang relatif singkat. Fenomena ini terjadi ketika sebuah benda masuk ke dalam air dengan sudut yang relatif kecil antara permukaan benda dan permukaan air. Penjelasan klasik mengenai tekanan tinggi dengan kekuatan yang dihasilkan merupakan akselerasi antar cairan dan permukaan benda (Himaya, 2016).



Gambar 2.1 Fenomena Slamming (Veen, 2011)

Dampak tekanan sangat bergantung pada sudut relatif antara benda dan permukaan cairan. Dampak ini telah dibuktikan melalui percobaan dengan menjatuhkan wedges dengan deadrise bervariasi. Khususnya ketika sudut relative kecil, tekanan meningkat tajam, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.2. Bila sudut relatif sangat rendah, di bawah 5° , dampak fenomena ini menjadi lebih kompleks. Udara dikompresi di bawah benda dalam fase sebelum terjadinya dampak. Daerah tekanan tinggi ini menyebabkan depresi pada permukaan

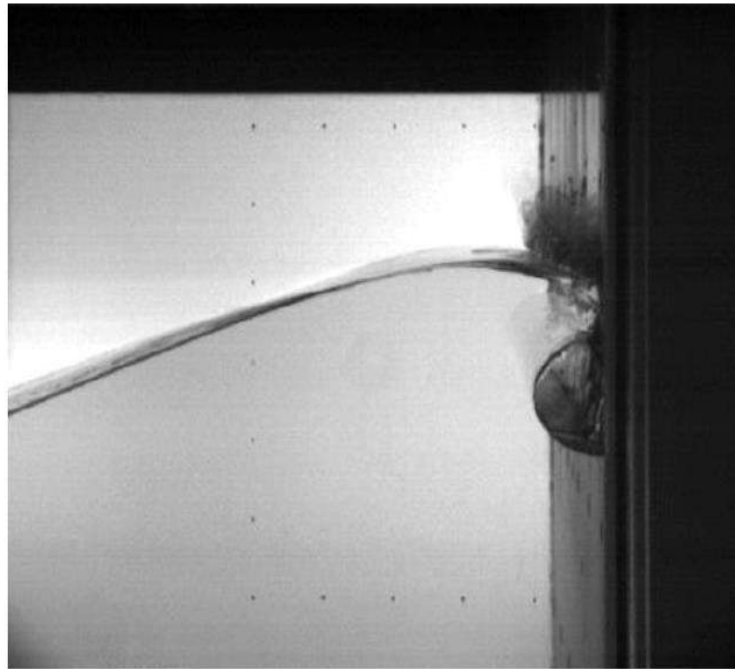
cairan/fluida. Efek kompresibilitas volume udara ini berperan penting dalam tekanan pada sebuah benda (Himaya, 2016).



Gambar 2.2. *Peak pressure coefficients $k = (p/(1/2\rho v^2))$ of two and three dimensional bodies as function of the deadrise angle.*

Fenomena yang kompleks menciptakan masalah dalam memprediksi nilai skala penuh berdasarkan percobaan skala. Untuk dampak ‘normal’, saat sudut relative antara benda dan cairan lebih besar dari 5° , maka secara umum berlaku Hukum Froude. Untuk *flat impact*, jika sudut relatif lebih kecil dari 5° , tekanan udara mempengaruhi tekanan slamming, yang berarti bahwa tekanan ambient harus dikurangi untuk tes skala. Meskipun ini akan meningkatkan kesamaan fenomena

selama pegujian skala dan pada skala penuh, seperti yang dibahas oleh Bogaert et al, 2002 (Himaya, 2016)



Gambar 2.3. *Air enclosure during a flat impact of a breaking wave against a vertical wall (Bogaert et al, 2002)*

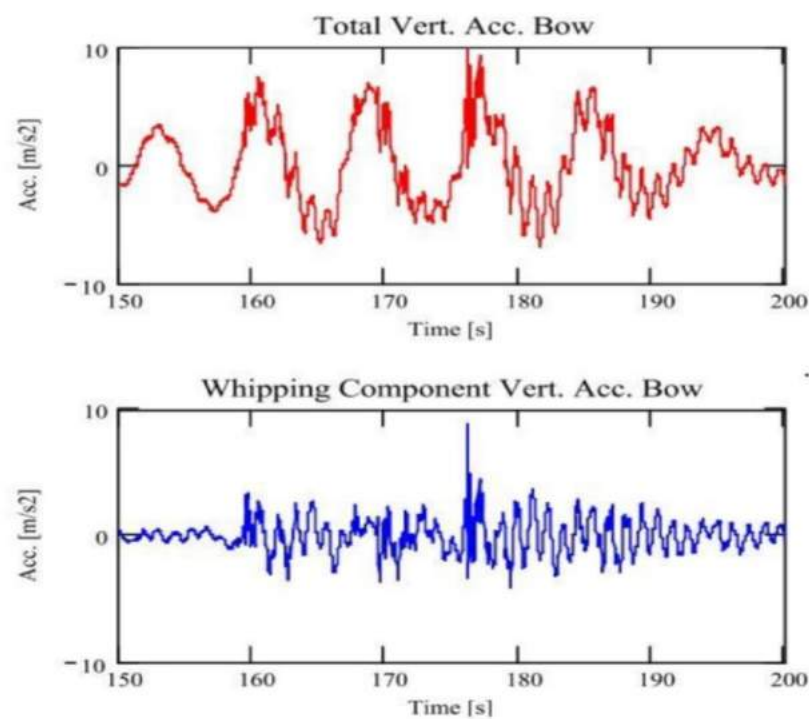
2.6 Eksperimen Slamming

Pada saat terjadi fenomena *slamming*, dilakukan berbagai eksperimen atau penelitian untuk mengetahui besarnya tekanan yang terjadi akibat *slamming* atau *slamming impact*. Penelitian mengenai fenomena *slamming* telah diteliti oleh beberapa orang sebagai berikut.

1. *Bow Flare Slamming Of Container Ships and It's Impact On Operational Reliability. Maritime Reasearch Institute Netherlands (MARIN)* oleh R P Dallinga

Dalam peilition ini, sebuah kapal kontainer dimodelkan dengan skala 1:26,7 yang mewakili 200 m ukuran panjang kapal kontainer yang sebenarnya. Hasil penelitian ini ditujukan untuk mengetahui respon badan kapal terhadap adanya slamming dan pengaruhnya terhadap operasional kapal dan kesimpulan dari penelitian ini merupakan sifat statistik dari respon badan kapal itu sendiri terhadap tekanan yang disebabkan oleh slamming (Himaya, 2016).

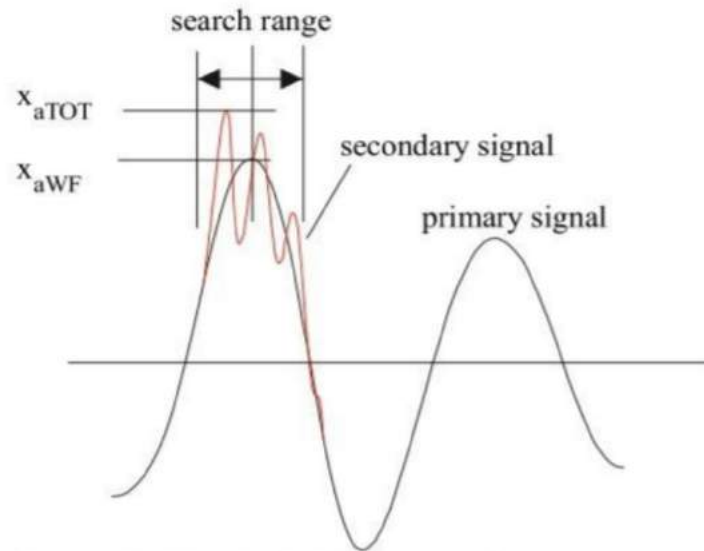
Respon fenomena slamming terhadap kekakuan dapat dilihat pada Gambar 2.4. berikut:



Gambar 2.4. Contoh *whipping response* (R P Dallinga, 2006)

Perbedaan antara respon vertikal terhadap haluan (bow) dan kekakuan yang diurutkan berdasarkan frekuensi seperti yang terlihat pada Gambar 2.4.,

selanjutnya dijelaskan dari sepersepuluh dan sepertiga nilai respon tertinggi (Himaya,2016). Hasil pecahan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.5. berikut:



Gambar 2.5. Analisis puncak *slamming* (R P Dallinga, 2006)

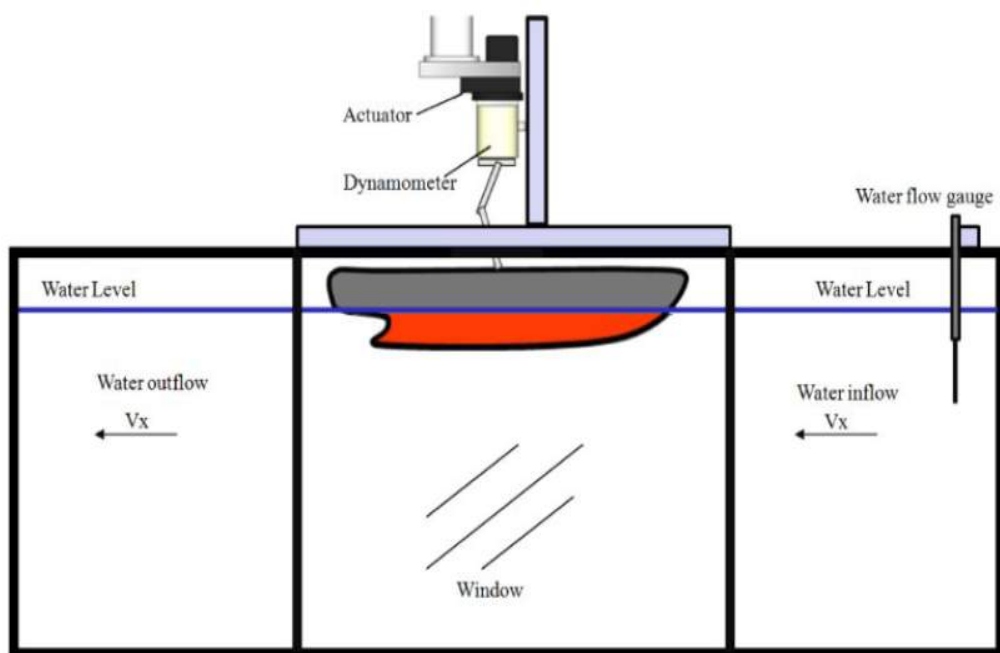
2. *An Eulerian Scheme with Lagrangian Particles for Computing Fluid Structure Interaction with Nonlinear Free Surface Flow in Marine Engineering* oleh Suandar Baso

Pada penelitian ini beberapa karya eksperimental dijelaskan secara rinci yaitu uji ketahanan di air yang tenang, gerak kapal di gelombang, *entry test* dan *dropping test*. Uji ketahanan kapal dilakukan dalam sirkulasi tangka saluran air. Kemudian, gerakan kapal di gelombang dilakukan dalam towing tank. Entry test untuk model silinder elastis dan model persegi panjang elastis dilakukan dalam tangki gelombang kecil. Masuknya air uji diatur dalam dua dimensi Model (2D) untuk kedua model.

Untuk *dropping test*, percobaan dirancang dalam tiga dimensi dan dilakukan dalam tangki gelombang menengah. Dalam percobaan ini, untuk

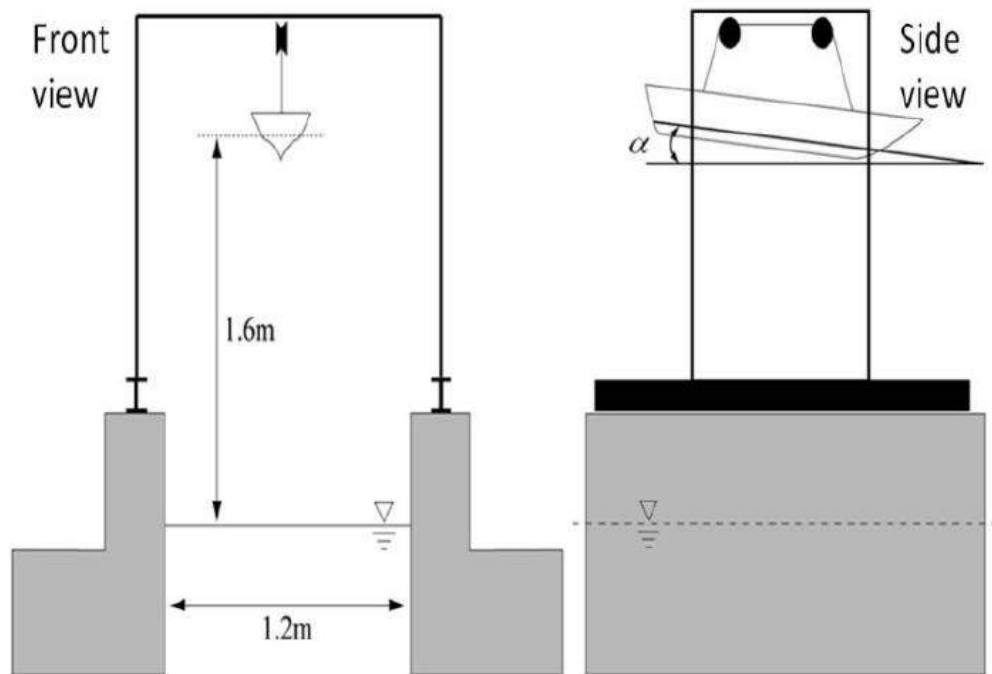
mempertimbangkan gerakan elastis model kapal, model kapal dibagi menjadi empat bagian dan setiap bagian dihubungkan dengan menggunakan tulang punggung yang terbuat dari logam.

Pada experimental setup dijelaskan mengenai ukuran utama model kapal yang digunakan, skema uji ketahanan kapal. Skema uji ketahanan kapal dapat dilihat pada Gambar 2.6. dibawah ini.



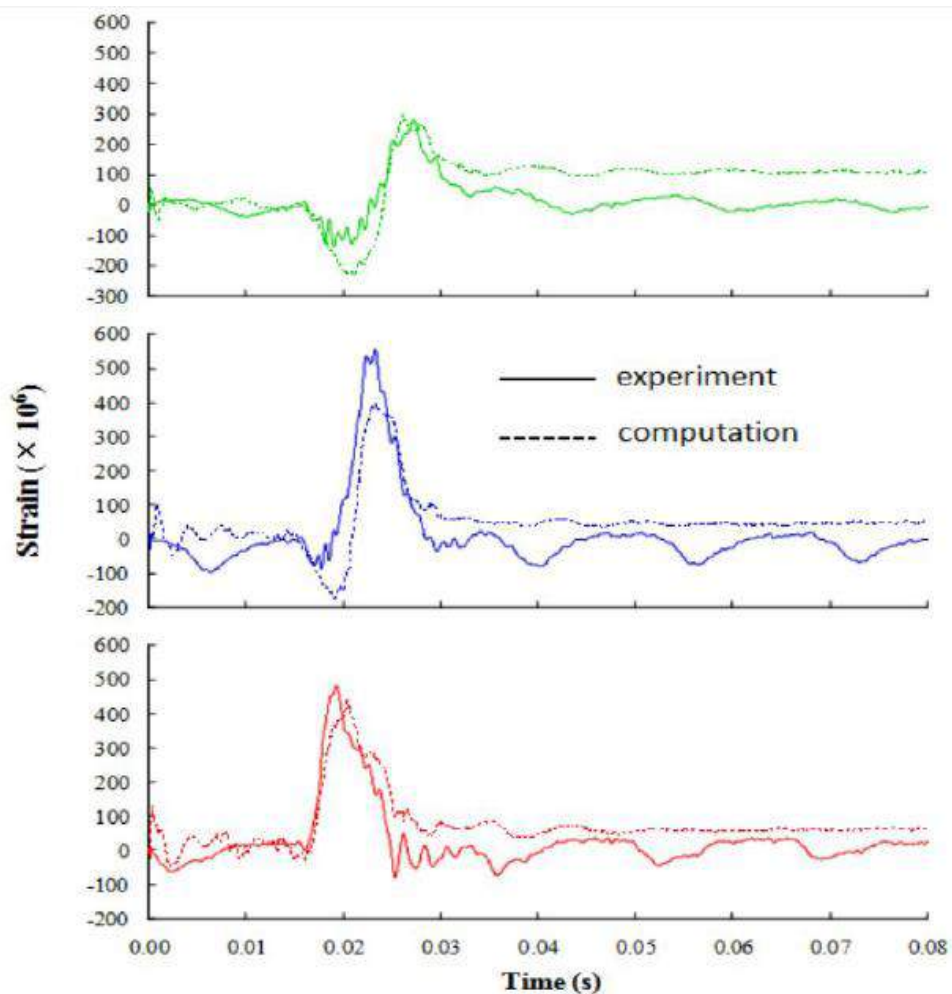
Gambar 2.6. Skema Uji Ketahanan Kapal

Untuk *dropping test* pada penelitian ini dilakukan untuk menyelidiki hubungan antara gerak elastic dan dampak tekanan akibat adanya slamming. Eksperimental dilakukan berdasarkan teori jatuh bebas dengan kecepatan konstan. Pada Gambar. 2.7. dapat dilihat skema dari *dropping test* berdasarkan teori jatuh bebas.



Gambar 2.7. Skema *Dropping Test*

Sensor tekanan terletak di permukaan bawah model dan diukur dengan menggunakan piezo-electric sensor. Dalam penelitian ini, tahanan dan gerak kapal dihitung dengan menggunakan metode numerik, untuk menginterpretasi dampak slamming kapal hydroelasticity. Secara grafik hasil dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.8. dibawah ini.



Gambar 2.8 Perbandingan Nilai Tegangan pada Perhitungan dan Percobaan.

2.7 ANSYS

ANSYS merupakan *software* berbasis *Finite Element Analysis* (FEA) hingga yang dipakai untuk menganalisa masalah – masalah rekayasa (*engineering*). Penggunaan ANSYS mencakup simulasi struktur, panas, dinamika fluida, akustik, dan elektromagnetik. ANSYS merupakan *Computer Aided Engineering* (CAE)

yang dikembangkan oleh ANSYS, Inc. Perusahaan tersebut telah mengembangkan banyak produk CAE. ANSYS Workbench berisi beberapa fasilitas, diantaranya:

1. *Mechanical*, untuk analisa struktur (statik) dan thermal (perpindahan panas).
2. *Fluid Flow*, yang terdiri dari ANSYS CFX dan *Fluent*, untuk analisa CFD (*Computational Fluid Dynamics*).
3. *Engineering Data*, sebagai database material lengkap dengan *properties*-nya, seperti:

A. *Poisson Ratio*

Poisson Ratio adalah konstanta elastisitas yang dimiliki oleh setiap material. Sebuah material yang diberikan gaya satu arah, ditarik maupun ditekan, akan mengalami perubahan bentuk. Selain perubahan bentuk ke arah gaya yang diberikan, ada juga perubahan bentuk ke arah yang tegak lurus dengan arah gaya. *Poisson Ratio* adalah perbandingan dari perubahan arah aksial dengan perubahan arah transversal tersebut. Ketika sebuah gaya satu arah diberikan kepada material tersebut sehingga menghasilkan regangan dan membuat material tersebut berdeformasi.

Poisson Ratio dapat menggambarkan karakter dan sifat masing-masing material. Mayoritas material memiliki rentang *poisson ratio* antara -1.0 sampai dengan 0.5. Material yang stabil, isotropis, dan elastis bisa memiliki *poisson ratio* yang berkisar antara 0.0 sampai 0.5. Hal ini dikarenakan modulus young, modulus puntir dan modulus deformasi harus bernilai positif. Karet memiliki *poisson ratio* mendekati 0.5. Polimer busa memiliki *poisson ratio* negatif, jika material tersebut ditarik, ketebalannya justru akan

bertambah. Misalnya pada sebuah baja dengan *poisson ration* 0,3. Hal tersebut berarti bahwa jika ada satu inci per inci deformasi ke arah tegangan yang diberikan, maka akan terdapat 0,3 inci per inci deformasi yang tegak lurus terhadap arah gaya yang diberikan.

B. Massa Jenis

Massa jenis adalah pengukuran massa setiap satuan volume benda. Semakin tinggi massa jenis suatu benda, maka semakin besar pula massa setiap volumenya. Massa jenis rata-rata setiap benda ialah total massa dibagi dengan total volumenya.

Kerapatan suatu zat disebut massa jenis, yang dilambangkan dengan ρ (rho), yakni hasil bagi massa zat oleh volumenya. Hal ini sesuai dengan sifat utama dari suatu zat, yakni massa dan volume. Secara matematis, massa jenis suatu zat bisa ditentukan melalui persamaan berikut ini:

$$\rho = m/V$$

dengan:

ρ = massa jenis (kg/m^3)

m = massa zat (kg)

V = volume zat (m^3)

C. Modulus Young

Modulus Elastisitas adalah perbandingan antara tegangan dan regangan dari suatu benda. Modulus elastisitas dilambangkan dengan E dan satuannya N/m^2 . Modulus elastisitas disebut juga Modulus Young. Modulus Elastisitas juga didefinisikan sebagai berikut:

“Selama gaya F yang bekerja pada benda elastis tidak melampaui batas elastisitasnya sehingga perbandingan antara tegangan (σ) dengan regangan (ϵ) adalah konstan.”

Bilangan (konstantan) tersebut dinamakan modulus elastis atau modulus Young (E). Jadi, modulus elastis atau modulus young merupakan perbandingan antara tegangan dengan regangan yang dialami oleh suatu benda. Secara matematis ditulis seperti berikut.

$$E = \sigma / \epsilon$$

dengan:

E = modulus Young (N/m^2 atau Pa)

σ = tegangan (Pa)

ϵ = regangan

Nilai modulus elastisitas hanya bergantung pada jenis bahan suatu benda, tidak bergantung pada ukuran ataupun bentuk benda.

4. Design Modeler, digunakan untuk membangun geometri model yang akan dianalisa dan juga dapat digunakan untuk memodifikasi hasil gambar dari perangkat lunak CAD.
5. Meshing Application, fasilitas untuk “meshing” baik pada CFD maupun Explicit Dynamics.
6. Explicit Dynamic, digunakan untuk menampilkan visualisasi fisik dalam kurun waktu tertentu terhadap pemodelan atau produk yang dibuat, misalnya *drop test*.