

**INVESTIGASI EKSPERIMEN BEBAN SLAMMING DAN INTERNAL
STRAIN PADA BURITAN KAPAL : PENGARUH MATERIAL BAJA
PADA MODEL KAPAL**

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



MUHAMAD IBNU WIDODO

D311 16 003

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2021

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

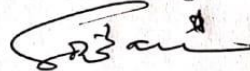
INVESTIGASI EKSPERIMEN BEBAN SLAMMING DAN INTERNAL STRAIN PADA BURITAN KAPAL: PENGARUH MATERIAL BAJA PADA MODEL KAPAL

Disusun Oleh :
Muhamad Ibnu Widodo
D31116003

Gowa, Maret 2022

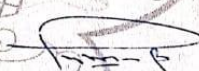
Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Pembimbing I



Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.
Nip. 19730206 200012 1 002

Pembimbing II




Ir. Lukman Bochari, MT.
Nip. 19561127 198803 1 001

Mengctahui,

Ketua Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin




Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT.
Nip. 19730206 200012 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhamad Ibnu Widodo

NIM : D311 16 003

Program Studi : Teknik Perkapalan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

Investigasi Eksperimen Beban *Slamming* dan *Internal Strain* Pada Buritan Kapal
:Pengaruh Material Baja Pada Model Kapal

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

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

Gowa, 20 Desember 2021

Yang menyatakan



Muhamad Ibnu Widodo

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillah, segala puji hanya bagi Allah SWT Tuhan segala manusia dari generasi ke generasi. Shalawat dan salam semoga senantiasa tercurah atas junjungan kita Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat dan para pengikutnya hingga akhir zaman. Sebagai Penulis Kami tidak henti-hentinya memanjatkan rasa syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan judul. “Investigasi Eksperimen Beban Slamming Internal Strain Pada Buritan kapal : Pengaruh Material Baja Pada Model Kapal”

Pengerjaan skripsi ini merupakan persyaratan bagi setiap mahasiswa untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Dalam suatu karya yang diharapkan adalah manfaat bagi siapa saja yang ingin mengambil manfaat darinya, dan hal inilah yang penulis sangat harap dan inginkan, dan sebagai tujuan utama adalah adanya ridho dari Allah SWT atas segala usaha dan aktivitas dalam Tugas Akhir.

Dalam penyusunan skripsi penulis menyadari bahwa tidak mungkin melakukan sendiri tanpa bantuan dari orang-orang di sekitar baik secara langsung maupun tidak langsung. Melalui lembar ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua tercinta Ibunda Srimurni dan Ayahanda Surahlin, atas kasih sayang dan doa yang senantiasa menemani dihari dan setiap langkah ku dalam melaksanakan

aktifitas ditiap harinya, segala dukungan semangat, dan doa restunya sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik.

2. Bapak Dr. eng Suandar Baso, ST., MT, selaku Ketua Program Studi Teknik Perkapalan Universitas Hasanuddin
3. Bapak Dr. eng Suandar Baso, ST., MT, selaku pembimbing I dan Bapak Ir., Lukman Bochary, MT., selaku pembimbing II yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan dalam pengerjaan skripsi ini.
4. Bapak Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dilp.-Ing. serta Ibu Hj. Rosmani. ST.,MT selaku penguji dalam tugas akhir ini.
5. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, atas ilmu dan wawasan yang diberikan selama masa studi penulis.
6. Seluruh Staf Pegawai Jurusan Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membantu selama ini.
7. Kepada saudara-saudara seperjuanganku Naval 016, terima kasih telah memberikan semangat dan pengalaman tentang makna dari persahabatan selama penulis menuntut ilmu di Jurusan Perkapalan.
8. Terima kasih buat kanda – kanda senior yang telah banyak membantu dan memberikan saran dalam penulisan skripsi penulis.
9. Seluruh anggota HMDP FT – UH yang telah membantu selama ini.
10. Kepada seluruh saudara Barbarian 016 Muhamad Toraray Delo, Muh Risquillah, Abdul Wahid Hasim, Muh Riky Adhitama, Chandra Basongan, Hasrul, Trias Muhady, Muh Annash Syafaruddin, Muh Fachreza Rahman, Nurul Awaliyah Mustari, Mila Karmila, yang selalu memberikan banyak saran dan motivasi serta sumbangsih moril maupun materi demi lancarnya segala urusan dalam penyusunan dan penulisan skripsi penulis.

11. Terima kasih kepada pak Yunus yang telah membantu dalam proses pembuatan model
12. Terkhusus buat saudara sekaligus patner 016 perkapalan Ode Gaffar Rakha. sejak awal pembuatan model sampai penyusunan skripsi selesai selalu siap dan sigap untuk membantu penulis dalam menyelesaikan segala urusan.

Penyusun menyadari dengan sepenuh hati bahwa didalam tugas akhir ini masih banyak terdapat kesalahan maupun kekurangan. Untuk itu peneliti memohon maaf dan meminta kritikan yang bersifat membangun demi kesempurnaan penelitian ini. Akhirnya penulis berharap semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi peneliti sendiri maupun bagi semua pihak yang berkenaan untuk membaca dan mempelajarinya. Semoga Tuhan Yang Maha Kuasa senantiasa memberikan rahmat dan karunia-Nya kepada kita semua.

AamiinYaaRabbalAalamiin

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Makassar, 20 Desember 2021

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	ii
Pernyataan Keaslian.....	iii
Kata Pengantar.....	iv
Daftar Isi.....	vii
Abstrak	ix
Daftar Notasi	xi
Daftar Tabel.....	xii
Daftar Gambar	xiii
Daftar Lampiran.....	xv
Bab I Pendahuluan	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
Bab II Tinjauan Pustaka	5
2.1 Gravitasi	5
2.2 Gerak Jatuh Bebas.....	6
2.3 <i>Dropping Test</i>	7
2.4 Teori <i>Slamming</i>	7
2.5 Fenomena <i>Slamming</i>	9
2.6 <i>Internal Strain</i>	11
2.7 <i>Slamming Experiment</i>	12
Bab III Metodologi Penelitian	17
3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian.....	17
3.2 Jenis Penelitian	17
3.3 Jenis Data dan Teknik Pengambilan Data.....	17
3.4 Metode Pengolahan Data	19

3.5 Kerangka Pemikiran.....	34
Bab IV Hasil dan Pembahasan	36
4.1 Model Kapal.....	36
4.2 Kalibrasi Sensor dan Nilai Tekanan	37
4.3 Hasil <i>Droptest</i>	40
4.3.1 Distribusi tekanan dan internal strain pada sudut kemiringan 0°.....	40
4.3.2 Distribusi tekanan dan internal strain pada sudut kemiringan 5°.....	42
4.3.3 Distribusi tekanan dan internal strain pada sudut kemiringan 10°.....	44
4.3.4 Distribusi tekanan dan internal strain pada sudut kemiringan 15°.....	46
Bab V Penutup.....	52
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	52
Daftar Pustaka.....	53
Lampiran	54

ABSTRAK

MUHAMAD IBNU WIDODO, 2021. “INVESTIGASI EKSPERIMEN BEBAN SLAMMING DAN INTERNAL STRAIN PADA BURITAN KAPAL : PENGARUH MATERIAL BAJA PADA MODEL KAPAL”. (Dibimbing oleh Suandar Baso dan Lukman Bochary)

Kapal dalam operasinya sangat dipengaruhi oleh kondisi laut terutama besar kecilnya gelombang. Gerakan kapal akibat gelombang sangat perlu diperhitungkan dalam tahap awal desain. Gelombang yang tinggi dapat mengakibatkan gerakan vertikal pada buritan kapal dimana ketika nilainya terlalu besar dapat membuat buritan kapal mengalami *slamming*. Karena hal tersebut kapal harus memiliki kekuatan konstruksi yang cukup untuk dapat menahan beban yang terjadi saat kondisi *slamming*. Kondisi tersebut berpengaruh pada keselamatan operasi dan kekuatan struktur kapal. *Slamming* juga dapat mengakibatkan takikan pada plat bagian buritan, *buckling* dan deformasi pada member pendukung struktur buritan. Kerusakan yang sering terjadi akibat *slamming* adalah terjadinya patahan pada struktur kapal. Maka perlu dikaji lebih lanjut untuk mengukur besarnya tekanan dan *internal strain* pada saat kapal mengalami *slamming*, serta menentukan distribusi tekanan pada bagian buritan kapal melalui pengujian model di *towing tank* pada kondisi air tenang. Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan, maka model kapal yang digunakan pada saat eksperimen dilengkapi dengan *piezoelectric material* dan force sensor untuk mengkalibrasi nilai tekanan dan nilai tegangan. Adapun hasil yang diperoleh setiap perubahan sudut kemiringan droptest yaitu pada sudut kemiringan $0,76^\circ$ dihasilkan tekanan maksimum sebesar $57,382 \text{ N/m}^2$, sudut kemiringan $9,33^\circ$ dihasilkan tekanan maksimum sebesar $60,599 \text{ N/m}^2$, sudut kemiringan $15,36^\circ$ dihasilkan tekanan maksimum sebesar $76,688 \text{ N/m}^2$, dan sudut kemiringan $19,25^\circ$ dihasilkan tekanan maksimum sebesar $94,921 \text{ N/m}^2$ yang terdapat pada sensor 2. Sudut kemiringan $0,76^\circ$ dihasilkan internal strain maksimum sebesar 12,334, sudut kemiringan $9,33^\circ$ dihasilkan internal strain maksimum sebesar 16,088, sudut kemiringan $15,36^\circ$ dihasilkan internal strain maksimum sebesar 21,987, dan sudut kemiringan $19,25^\circ$ dihasilkan internal strain maksimum sebesar 20,915 yang terdapat pada sensor 6. Berdasarkan hasil eksperimen, nilai tekanan dan *internal strain* mengalami peningkatan pada setiap kenaikan sudut kemiringan yang diberikan pada uji droptest. Distribusi tekanan dan *internal strain* terbesar terjadi pada bagian bawah buritan kapal. Dimana nilai tekanan mengalami peningkatan rata-rata sebesar 23,89% dan internal strain mengalami peningkatan rata-rata sebesar 24,29%.

Kata Kunci : *Slamming*, *Internal Strain* , Uji *Droptest*, eksperimen

ABSTRACT

MUHAMAD IBNU WIDODO, 2021. "EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF SLAMMING LOAD AND INTERNAL STRAIN AT THE STRENGTH OF THE SHIP: THE EFFECT OF STEEL MATERIALS ON THE SHIP MODEL". (Supervised by Suandar Baso and Lukman Bochary)

Vessels in their operations are strongly influenced by sea conditions, especially the size of the waves. The ship's motion due to waves really needs to be taken into account in the early stages of design. High waves can cause vertical movement at the stern of the ship where when the value is too large it can make the stern of the ship experience slamming. Because of this the ship must have sufficient construction strength to be able to withstand the loads that occur during conditions slamming. These conditions affect the safety of operations and the strength of the ship's structure. Slamming can also result in notches in the stern plate, buckling and deformation of the supporting members of the stern structure. 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 magnitude of the pressure and internal strain when the ship is slamming, as well as determining the pressure distribution at the stern of the ship through model testing in a towing tank in calm water conditions. To get the desired results, the ship model used during the experiment was equipped with a piezoelectric material and a force sensor to calibrate the pressure and voltage values. The results obtained for every change in the droptest angle, namely at a slope angle of 0.76° , the maximum pressure is 57.382 N/m^2 , the tilt angle is 9.33° , the maximum pressure is 60.599 N/m^2 , the slope angle is 15.36° , the maximum pressure is 76.688 N/m^2 , and a slope angle of 19.25° produces a maximum pressure of 94.921 N/m^2 contained in sensor 2. A tilt angle of 0.76° results in a maximum internal strain of 12.334, a tilt angle of 9.33° produces a maximum internal strain of 16.088, a tilt angle 15.36° resulted in a maximum internal strain of 21.987, and a tilt angle of 19.25° resulted in a maximum internal strain of 20.915 contained in sensor 6. Based on the experimental results, the pressure and values internal strain increased with each increase in the slope angle given in the droptest test. The largest distribution of pressure and internal strain occurs at the bottom of the ship's stern. Where the pressure value increased by an average of 23.89% and internal strain increased by an average of 24.29%.

Keywords: *Slamming, Internal Strain, Test Droptest, experimen*

DAFTAR NOTASI

Notasi	Nama	Satuan
DWT	Deadweight tonnage	Ton
V	Kecepatan sebuah benda	m/s
M	Dimensi massa (SI)	
L	Dimensi panjang (SI)	
T	Dimensi waktu (SI)	
P	Tekanan	Pa
ρ	Massa jenis fluida	Kg/m^3
v	<i>Kecepatan fluida</i>	m/s^2
F	Gaya	N
A	Luas	m^2
g	Gravitasi	9,81 KN/m
σ	Tegangan	N/m^2
FP	<i>Forward perpendicular</i>	
B_{MS},B	Lebar maksimum kapal	M
L_{PP},L_{BP}	<i>Lenght perpendicular</i>	M
T_{FP,d}	Sarat kapal	M
LOA	<i>Lenght over all</i>	M
LWL	<i>Lenght water line</i>	M
D	Tinggi kapal	M
V	Kecepatan kapal	m/s
Δ	Displacement	Ton
C_b	Koefisien bentuk kapal	
C_p	Koefisien perismatik kapal	
L_{WL model}	<i>Lenght water line model kapal</i>	M

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Ukuran utama kapal.....	18
Tabel 3.2. Ukuran model kapal	18
Tabel 3.3. Kebutuhan/ material pembuatan model.....	20
Tabel 3.4. Matriks waktu pengujian	24
Tabel 3.5. Matriks kebutuhan pengujian.....	24
Tabel 4.1. Hasil kalibrasi sensor	38
Tabel 4.2. Nilai tekanan pada setiap sudut kemiringan	49
Tabel 4.3. Nilai <i>internal strain</i> pada setiap sudut kemiringan	5

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Fenomena <i>slamming</i>	9
Gambar 2.2 <i>Peak pressure coefficients</i>	10
Gambar 2.3. <i>Air enclosure</i>	11
Gambar 2.4. Model <i>Elastic Body</i>	12
Gambar 2.5. Posisi <i>Piezo Sensor</i>	12
Gambar 2.6. Contoh <i>whipping response</i>	14
Gambar 2.7. Analisis puncak <i>slamming</i>	14
Gambar 2.8. Skema Uji Ketahanan Kapal	15
Gambar 2.9. Skema <i>Dropping Test</i>	16
Gambar 2.10. Perbandingan Nilai Tegangan pada Perhitungan dan Percobaan	16
Gambar 3.1 Lines Plan KM. Padang Bai	19
Gambar 3.2. Section Model.....	21
Gambar 3.3. Section pada material model	21
Gambar 3.4. Proses pemotongan <i>frame</i>	22
Gambar 3.5. <i>Frame</i> direkatkan pada <i>water line</i>	22
Gambar 3.6. Penambahan dempul dan mengaluskan lambung model	23
Gambar 3.7. Pengecatan model	23
Gambar 3.8. Laptop	25
Gambar 3.9. Alat tempat menggantungkan model (<i>Carriage</i>).....	26
Gambar 3.10. Kolam Uji (<i>Towing Tank</i>)	26
Gambar 3.11. <i>Ceramic sensor Piezo electric Vibration Sensor</i>	27
Gambar 3.12. Perangkat Arduino	27
Gambar 3.13. <i>Xplorer GLX</i>	28
Gambar 3.14. <i>Force sensor</i>	28
Gambar 3.15. <i>Breadboard</i>	29
Gambar 3.16. Kabel <i>jumper type male dan female</i>	29
Gambar 3.17. <i>Rubber paint</i>	30
Gambar 3.18. Kondisi <i>piezo electric</i>	30
Gambar 3.19. Sketsa Letak Sensor Pada kapal	31

Gambar 3.20. Instalasi Pada <i>Breadboard</i>	31
Gambar 3.21. Bagian – bagian Pada <i>Breadboard</i>	32
Gambar 3.22. <i>Block Diagram</i> Rangkaian <i>Piezoelectric Device</i>	33
Gambar 3.23. Diagram Alur Penelitian.....	35
Gambar 4.1. Model Kapal	36
Gambar 4.2. Skema Eksperimen Dropping Test	36
Gambar 4.3. Letak sensor pada model kapal.....	37
Gambar 4.4. Hasil Kalibrasi sensor.....	38
Gambar 4.5. Kondisi aktual saat kapal sebelum menyentuh air pada sudut kemiringan 0°	40
Gambar 4.6. Tekanan per satuan waktu pada sudut kemiringan $0,78^{\circ}$	41
Gambar 4.7. <i>Internal strain</i> per satuan waktu pada sudut kemiringan $0,78^{\circ}$..	41
Gambar 4.8. Kondisi aktual saat kapal sebelum menyentuh air pada sudut kemiringan 5°	42
Gambar 4.9. Tekanan per satuan waktu pada sudut kemiringan $9,33^{\circ}$	43
Gambar 4.10. <i>Internal strain</i> per satuan waktu pada sudut kemiringan $9,33^{\circ}$.	43
Gambar 4.11. Kondisi aktual saat kapal sebelum menyentuh air pada sudut kemiringan 10°	45
Gambar 4.12. Tekanan per satuan waktu pada sudut kemiringan $15,36^{\circ}$	45
Gambar 4.13. <i>Internal strain</i> per satuan waktu pada sudut kemiringan $15,36^{\circ}$	45
Gambar 4.14. Kondisi aktual saat kapal sebelum menyentuh air pada sudut kemiringan 15°	47
Gambar 4.15. Tekanan per satuan waktu pada sudut kemiringan $19,25^{\circ}$	47
Gambar 4.16. <i>Internal strain</i> per satuan waktu pada sudut kemiringan $19,25^{\circ}$	48
Gambar 4.17. Nilai tekanan ditiap variasi sudut kemiringan	49
Gambar 4.18. Nilai <i>internal strain</i> ditiap variasi sudut kemiringan.....	5

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data hasil pengujian *droptest* pada kemiringan 0°.

Lampiran 2. Data hasil pengujian *droptest* pada kemiringan 5°.

Lampiran 3. Data hasil pengujian *droptest* pada kemiringan 10°.

Lampiran 4. Data hasil pengujian *droptest* pada kemiringan 15°.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Kapal dalam operasinya sangat dipengaruhi oleh kondisi laut terutama besar kecilnya gelombang. Gerakan kapal akibat gelombang sangat perlu diperhitungkan dalam tahap awal desain. Gelombang yang tinggi dapat mengakibatkan gerakan vertikal pada buritan kapal dimana ketika nilainya terlalu besar dapat membuat buritan kapal mengalami *slamming*. Karena hal tersebut kapal harus memiliki kekuatan konstruksi yang cukup untuk dapat menahan beban yang terjadi saat kondisi *slamming*. Kondisi tersebut berpengaruh pada keselamatan operasi dan kekuatan struktur kapal. *Slamming* juga dapat mengakibatkan takikan pada plat bagian buritan, *buckling* dan deformasi pada member pendukung struktur buritan. Kerusakan yang sering terjadi akibat *slamming* adalah terjadinya patahan pada struktur kapal.

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.

Santoso D.R. et al, (2005) melakukan penelitian berjudul “*Development of Instrumentation System for Stress Intensity Factor Measurement using Piezoelectric Material*”. Pada penelitian tersebut dibuat sebuah sistem instrumentasi yang sederhana dan ekonomis untuk pengukuran *Stress Intensity Factor* (SIF), yang meliputi pembuatan sensor regangan dengan menggunakan elemen *piezoelectric*, rangkaian pengkondisi sinyal untuk sensor berbasis *piezoelectric*, serta sistem data akuisisi baik *hardware* maupun *software*.

Berdasarkan penelitian tersebut maka, penulis tertarik melakukan penelitian serupa yaitu menginvestigasi tekanan atau water impact yang diakibatkan slamming namun berfokus pada bagian buritan saja dengan mempertimbangkan parameter seperti healing degree dan bentuk struktur kapal itu sendiri.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa besar tekanan air pada buritan kapal pada saat kondisi *slamming*?
2. Berapa besar *internal strain* pada buritan kapal pada saat kondisi *slamming*?
3. Bagaimana distribusi tekanan dan *internal strain* akibat adanya *slamming* dari hasil pengujian model?

1.3. Batasan Masalah

Beberapa hal yang menjadi batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Kapal yang digunakan adalah kapal *ferry* dengan struktur *bulbous bow*.
2. Material yang digunakan untuk membuat model adalah material baja.
3. Pengujian yang dilakukan yaitu *dropping test* dengan prinsip jatuh bebas. Dengan 4 variasi sudut kemiringan 0°, 5°, 10° dan 15°.
4. Menggunakan 6 sensor *piezo electric device* pada lambung dan gading yang ditempatkan pada bagian buritan.
5. Pengujian dilakukan di Laboratorium Hidrodinamika Kapal Departemen Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Pengukuran tekanan dilakukan pada bagian buritan saja.

1.4. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang sudah dikemukakan sebelumnya maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Berapa besar tekanan air pada buritan kapal pada saat mengalami *slamming*?
2. Berapa besar *internal strain* pada buritan kapal pada saat mengalami *slamming*?
3. Bagaimana distribusi tekanan akibat adanya *slamming* pada buritan kapal dari hasil pengujian model?

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini dilakukan tidak lain mempertimbangkan manfaat yang ingin dicapai yakni :

1. Menjadi bahan acuan dalam menganalisa pengaruh gelombang terhadap gerak *slamming* pada buritan kapal.
2. Sebagai bahan pertimbangan bagi para *owner* dan perusahaan pelayaran dalam mengoperasikan kapal.
3. Sebagai referensi dan acuan untuk penelitian selanjutnya.

1.6. Sistematika Penulisan

Skripsi ini disusun menjadi beberapa bagian untuk mendapatkan alur penulisan yang jelas dan sistematis, yaitu.

BAB I : Pendahuluan, dalam bab ini mengemukakan informasi secara keseluruhan dari penelitian ini yang berkenaan dengan Latar belakang, judul penelitian, yang kemudian diturunkan pada Rumusan masalah, Batasan masalah, Tujuan penelitian, Manfaat penelitian, dan sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB II : Tinjauan Pustaka, bab ini menguraikan dengan singkat teori-teori yang digunakan sebagai dasar dalam penelitian ini. Teori-teori tersebut

mengenai gravitasi, gerak jatuh bebas, *dropping test*, teori *slamming*, fenomena *slamming*, *internal strain*, dan *slamming experiment*.

BAB III : Metodologi Penelitian, dalam bab ini dikemukakan lokasi atau daerah penelitian, waktu penelitian, jenis penelitian, jenis data, teknik pengolahan data, serta kerangka pikir penelitian.

BAB IV : Hasil dan Pembahasan, dalam bab ini diuraikan permasalahan yang diteliti yaitu *investigasi* eksperimen beban *slamming* dan *internal strain* pada buritan kapal.

BAB V : Penutup, dalam bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian serta saran-saran yang direkomendasikan penulis terkait tentang penelitian ini.

Daftar Pustaka

Lampiran

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,

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} = m_1 g \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana,

- 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:

$$w = m \times g \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana,

- w = Gaya berat (N)
- m = massa benda (kg), dan
- g = percepatan gravitasi bumi (9,81 m/s²).

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 permukaan 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.

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.

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 peralambatan 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.

2.3. Dropping Test

Dropping test merupakan kegiatan pengujian dengan menjatuhkan suatu benda dari ketinggian tertentu. Dalam penelitian ini, dropping test dimaksudkan untuk mengetahui seberapa besar tekanan dan internal strain pada 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 peristiwa yang terjadi akibat gerakan vertikal kapal dan dalam kondisi gerakan yang ekstrim sehingga menyebabkan buritan kapal keluar dari permukaan air dan kembali jatuh ke permukaan air. Kecepatan jatuhnya buritan 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. (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 saat gelombang cukup besar.

Menentukan peluang terjadinya slamming harus didasarkan 2 syarat. Pertama yaitu dasar buritan naik melewati gelombang, atau dengan kata lain gerakan relatif vertikal buritan melewati sarat air bagian buritan ($Z_b > T_b$), dan kedua yaitu kecepatan relatif vertikal buritan mempunyai harga yang melewati harga kecepatan ambang batas slamming atau *threshold velocity* (Bhattacharya, 1978).

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

$$Pr = \Pr(Z_{br} > T_b) = \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{os}}\right) \quad (2.3)$$

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

$$Pr = \Pr(V_{br} > V_{th}) = \exp\left(-\frac{V_{br}^2}{2m_{2s}}\right) \quad (2.4)$$

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

$$Pr(Slam) = \Pr(Z_{br} > T_b \text{ dan } V_{br} > V_{th}) = \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{os}} - \frac{V_{br}^2}{2m_{2s}}\right) \quad (2.5)$$

dimana:

Z_{br} = Gerakan relatif vertikal buritan,

V_{br} = Kecepatan relatif buritan,

V_{th} = Kecepatan ambang,

T_b = Sarat pada buritan,

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

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

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

$$N_T = \frac{3600 \times T}{2\pi} \sqrt{\frac{m_{2s}}{m_{0s}}} \times \exp\left(-\frac{Tb^2}{2m_{0s}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{2s}}\right) 1/det \quad (2.6)$$

Untuk menghitung intensitas slamming setiap detik dapat menggunakan persamaan (Bhattacharya, 1978):

$$N_T = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2m_{0s}}{2m_{2s}}} \times \text{Pr Slamming} \quad (2.7)$$

2.5. Fenomena Slamming

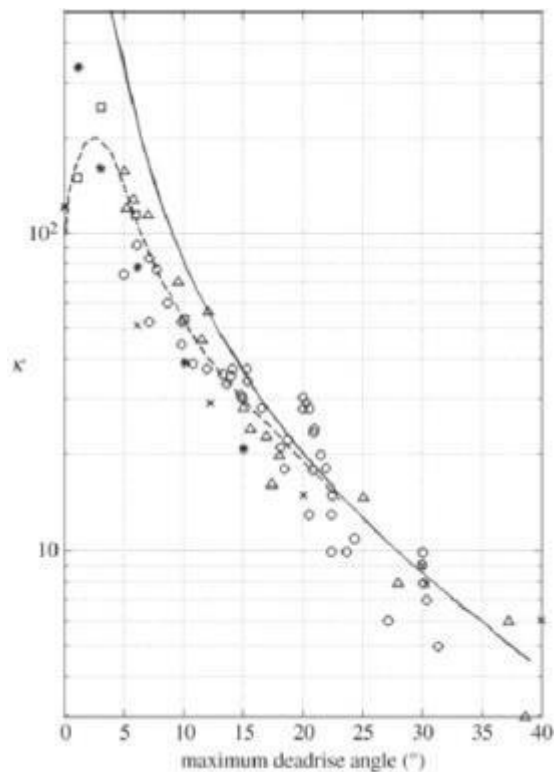
Fenomena slamming ditandai dengan durasi yang relatif singkat. Fenomena ini terjadi ketika sebuah benda masuk ke dalam air dengan sudut yang relatif kecil antara permukaan benda dan permukaan air. Penjelasan klasik mengenai tekanan tinggi dengan kekuatan yang dihasilkan merupakan akselerasi antar cairan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



Gambar 2.1. *Fenomena Slamming*
Sumber: Veen, 2010

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. 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).

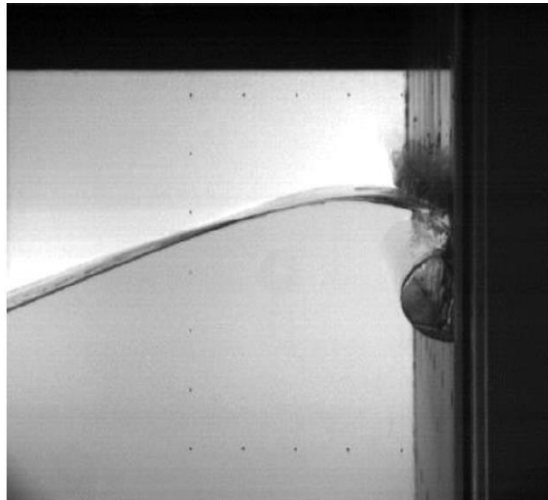


Gambar 2.2. *Peak pressure coefficients $k = (p/(1/2\rho v^2))$ of two and three dimensional bodies as function of the deadrise angle. Result from experiments: spheres (crosses), ellipsoids (open circles), curve wedger (open wedges), two dimensional wedges (open squares), cones (asterisks) and theory : Wagner theory (solid line). The dashed line is a fit to the experimental data.*

Sumber : Adapted from Lloyd & Andrew.

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 (Himaya, 2016).



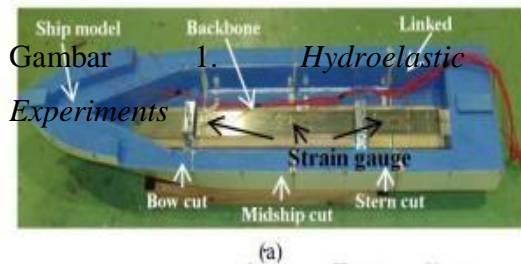
Gambar 2.3. *Air enclosure during a flat impact of a breaking wave against a vertical wall*

Sumber: Himaya, 2016

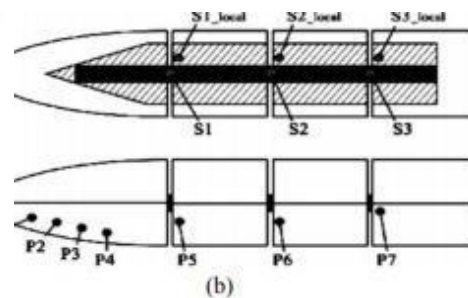
2.6. Internal Strain

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, lentur, geseran 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).

Diasumsikan bahwa *impact load* dan regangan disebabkan oleh *slamming* yang diperoleh dari *elastic body* dengan sudut *deadrise* ke permukaan air yang tenang.



Gambar 2.4. Model *Elastic Body*
 Sumber : Suandar Baso, 2014



Gambar 2.5. Posisi *Piezo Sensor*
 Sumber : Suandar Baso, 2014

Pengaturan eksperimental ditentukan dan dirancang berdasarkan teori jatuh bebas dengan konstanta kecepatan jatuh. Untuk mempertimbangkan gerakan elastis, kapal. Model ini dibagi menjadi empat bagian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14a. Sensor tekanan terletak di haluan dan bawah permukaan model di P1, P2, P3, P4, P5, P6 dan P7 dan alat pengukur *strain* d berada di *backbone* di S1, S2 dan S3 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8b. Data tekanan diukur dari semua titik dikelompokkan menjadi tiga bagian, yaitu, busur (*Pbow*), lambung (*Phull*) dan buritan (*Pstern*) untuk dikaitkan dengan data regangan di S1, S2 dan S3. Bagian yang terpisah terhubung menggunakan *backbone* lampiran terbuat dari logam. Kekakuan lentur EI dan kepadatan kapal adalah 351 N/m^2 dan 243 kg/m^3 . Dalam percobaan, sudut *deadrise* β kapal, model didefinisikan sebagai sudut bertabrakan antara permukaan air tenang dan haluan kapal pada kondisi awal. (Hidemi Mutsuda, Suandar Baso and Yasuaki Doi, 2014).

2.7. Slamming Experiment

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. Mochammad Nasir, Sistem Pengukuran Distribusi Tekanan Menggunakan Sensor PDVF Film Pada Pengujian *Landing Model WISE (Wing In Surface Effect) Craft*. ITS Paper.

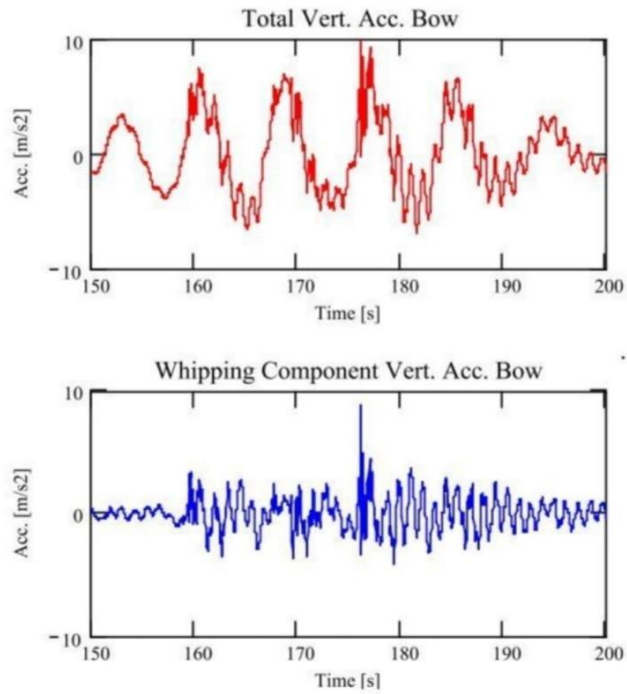
Pada penelitian ini dilakukan penelitian pengukuran distribusi tekanan pada *main hull* dan ponton WISE menggunakan sensor *piezoelectric* (PDVF) pada proses pendaratan kapal bersayap WISE di air. Untuk mendapatkan karakteristik beban *impact* hasil pengujian proses *landing* model WISE, maka dilakukan perancangan sistem pengukuran dan data akuisisi yang digunakan untuk pengambilan data yang dihasilkan oleh *sensor impact* (PDVF Film).

Pengujian *slamming* ini menggunakan 19 buah *pressure transducer* (PDCR200) dan 4 buah *pressure sensor* yang diletakkan pada bagian dalam *hull* kapal. pengujian yang dilakukan adalah *vertical impact test*, *inclined entry test*, dan *forced pitching test*. Adapun hasil akhir dari pengujian ini merupakan nilai tekanan sesaat air pada model WISE yang nantinya digunakan untuk pembuatan model itu sendiri.

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

Dalam peelitian 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).

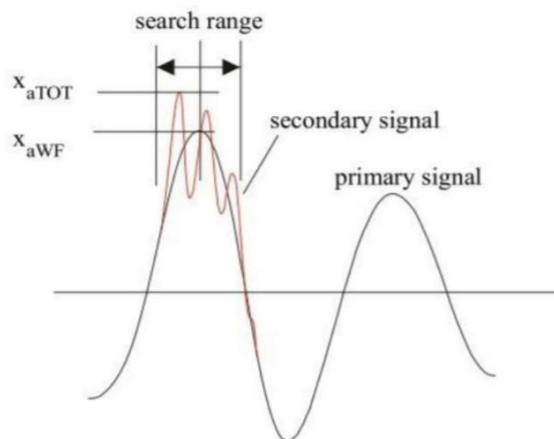
Respon fenomena *slamming* terhadap kekakuan dapat dilihat pada Gambar 2.6. berikut:



Gambar 2.6. Contoh whipping response

Sumber: R P Dallinga, 2006

Perbedaan antara respon vertikal terhadap haluan (bow) dan kekakuan yang diurutkan berdasarkan frekuensi seperti yang terlihat pada Gambar 2.6., selanjutnya dijelaskan dari sepersepuluh dan sepertiga nilai respon tertinggi (Himaya,2016). Hasil pecahan tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.7. berikut:



Gambar 2.7. Analisis puncak slamming

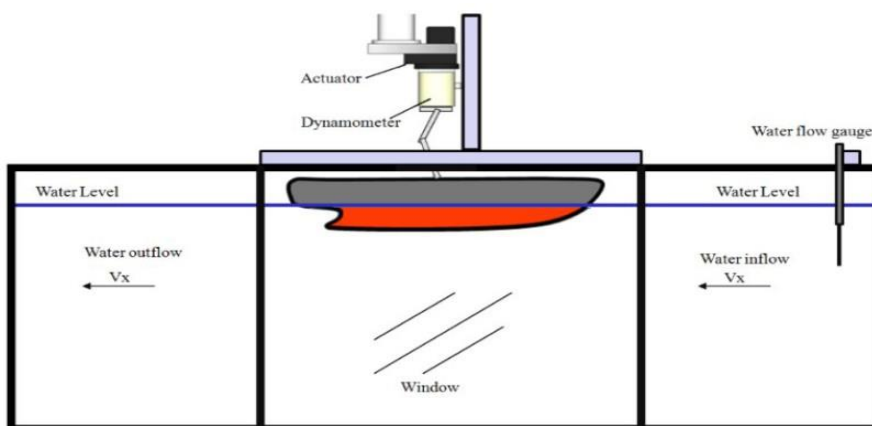
Sumber: R P Dallinga, 2006

3. *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.

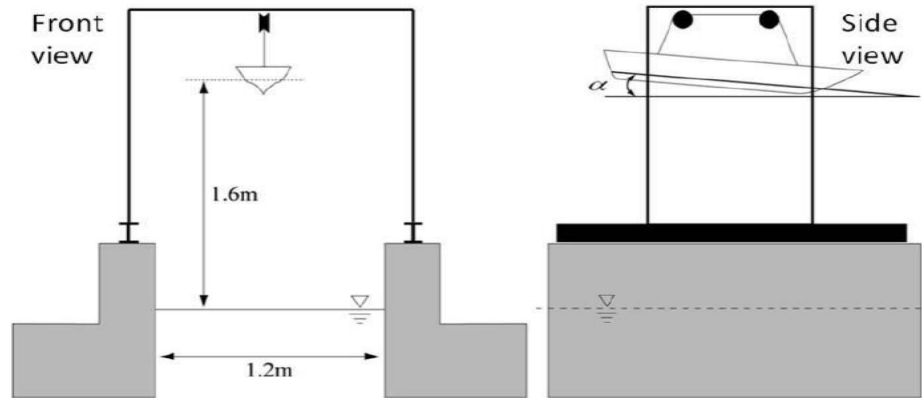
Pada experimental setup dijelaskan mengenai ukuran utama model kapal yang digunakan, skema uji ketahanan kapal. Skema uji ketahanan kapal dapat dilihat pada Gambar 2.8. dibawah ini.



Gambar 2.8. Skema Uji Ketahanan Kapal.

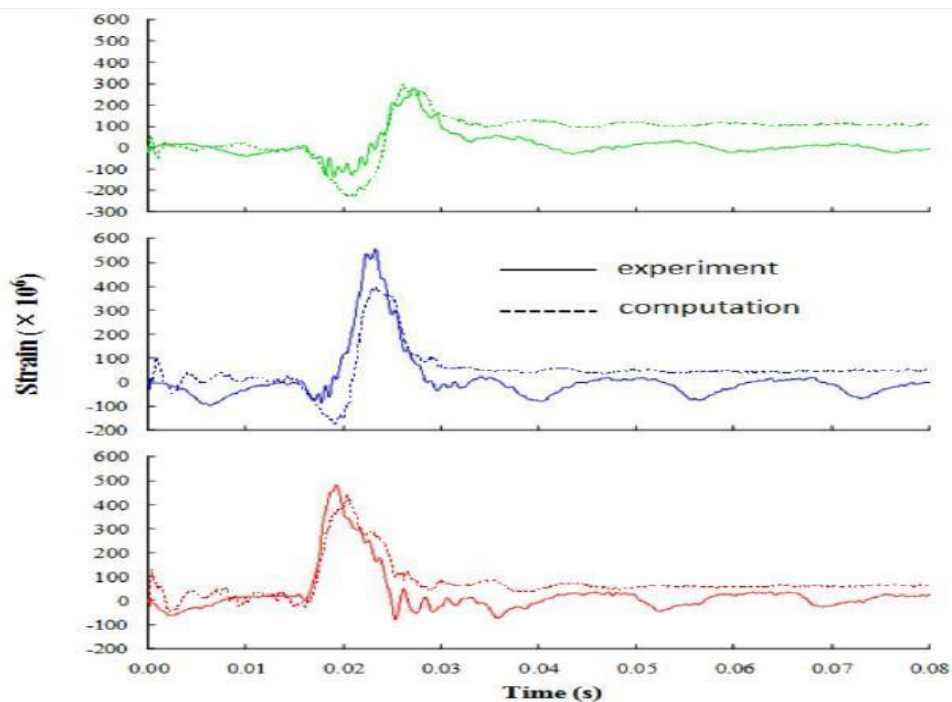
Untuk dropping test pada penelitian ini dilakukan untuk menyelidiki hubungan antara gerak elastic dan dampak tekanan akibat adanya slamming. Eksperimental dilakukan berdasarkan teori jatuh bebas dengan kecepatan

konstan. Pada Gambar. 2.9. dapat dilihat skema dari dropping test berdasarkan teori jatuh bebas.



Gambar 2.9. 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 2.10. dibawah ini.



Gambar 2.10. *Perbandingan Nilai Tegangan pada Perhitungan dan Percobaan.*