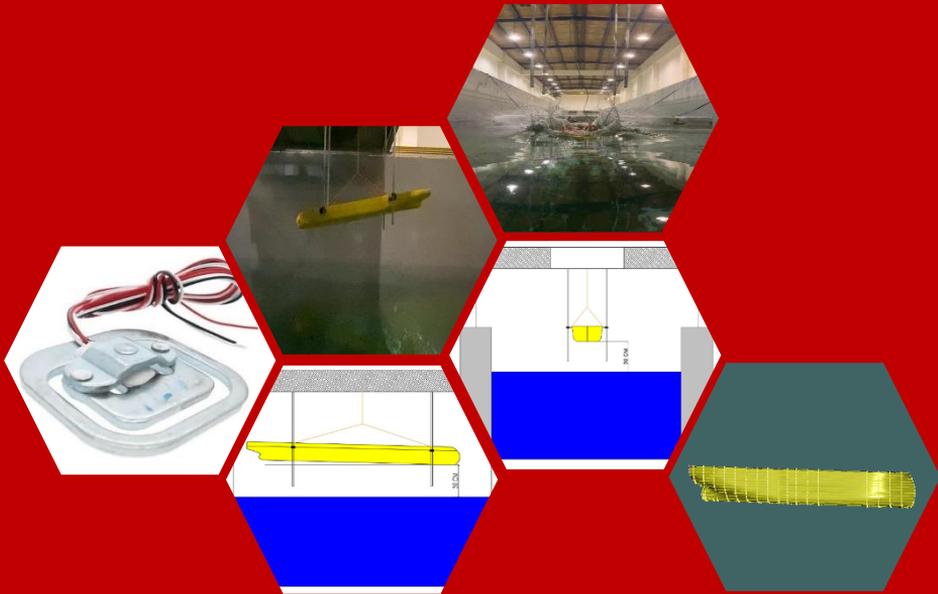


STUDI IMPACT PRESSURE PADA INVERTED BOW MELALUI PENGUJIAN MODEL



IBNU RUSY AJIUTOMO

D031201020

**PROGRAM TEKNIK PERKAPALAN
DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**



2024

**STUDI IMPACT PRESSURE PADA INVERTED BOW MELALUI
PENGUJIAN MODEL**

IBNU RUSY AJIUTOMO

D031201020



PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024

**STUDI IMPACT PRESSURE PADA INVERTED BOW MELALUI
PERCOBAAN MODEL**

IBNU RUSY AJIUTOMO

D031201020

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana

Program Studi Teknik Perkapalan

Pada

PROGRAM STUDI TEKNIK PERKAPALAN

DEPARTEMEN TEKNIK PERKAPALAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024

SKRIPSI

STUDI IMPACT PRESSURE PADA INVERTED BOW MELALUI PENGUJIAN MODEL

IBNU RUSY AJIUTOMO
D031201020

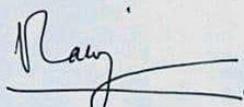
Skripsi,

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Teknik Perkapalan pada tanggal 10 Oktober 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

pada

Program Studi Teknik Perkapalan
Departemen Teknik Perkapalan
Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Gowa

Mengesahkan:
Pembimbing Tugas Akhir,



Ir. Rosmah, MT.
NIP : 19600620 198802 2 001

Mengetahui:
Ketua Program Studi,



Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST., MT
NIP : 19730206 200012 1 002

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Studi Impact Pressure Pada Inverted Bow Melalui Pengujian Model" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing **Ir. Rosmani, MT.** sebagai Pembimbing Utama. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi manapun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 10 Oktober 2024



IBNU RUSY AJIUTOMO
D031201020

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan Syukur kepada Allah SWT atas berkat segala nikmat yang diberikan, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “STUDI IMPACT PRESSURE PADA INVERTED BOW MELALUI PENGUJIAN MODEL” yang diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Perkapalan Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Dalam penyusunan dan penyelesaian skripsi ini tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Terkhusus Ibunda **Irawaty Akieb** yang terus mendoakan dari awal dan tak pernah berhenti memanjatkan doa, serta panutan ku Ayahanda **Bambang Atmudji** yang telah melakukan apapun untuk mengusahakan anaknya bisa berada di titik lebih dari dirinya. Dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan banyak terima kasih untuk semua pengorbanan tulus yang tentunya tidak akan pernah bisa terbalaskan. Semoga segala jerih payah dan doa kalian menjadi berkat dan berharga yang akan membawa manfaat bagi kita semua.
2. Kakak **Atma Syahrani Rahma**. Terima kasih banyak atas doa dan dukungan bahkan sudah memberikan motivasi dan saran kepada penulis dari awal perkuliahan sampai detik ini.
3. Adik **Risqa Tri Ontari**. Terimakasih banyak untuk menjadi alasan penulis untuk menyelesaikan masa perkuliahan sesegera mungkin
4. Bapak **Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST. MT.** selaku Ketua Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Ibu **Ir. Rosmani, MT.** selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu dan banyak memberikan bimbingan dalam pengerjaan skripsi ini.
6. Bapak **Prof. Dr. Eng. Suandar Baso, ST. MT.** dan bapak **Ir. Lukman Bochary, MT.** selaku dosen penguji tugas akhir ini yang telah memberiksan masukan dan saran terhadap tugas akhir ini.
7. Seluruh pegawai/staf jurusan perkapalan Fakultas teknik Universitas Hasanuddin atas kebaikan dalam membantu segala administrasi selama kuliah.
8. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala kebaikan, bimbingan, motivasi dan ilmu yang telah diberikan.
9. Seluruh teman-teman Naval 2020, Chazer 2020 dan Andromax 20 yang telah memberikan dukungan dan pengalaman yang berharga selama penulis menuntut ilmu di Departemen Teknik Perkapalan.
10. Om Iral Akieb yang telah menjadi pengganti sosok ayah selama penulis menempuh masa studi selama 4 tahun 2 bulan di perantaraan, yang telah mengajarkan penulis bagaimana caranya menjadi seorang lelaki di keluarga.
11. Om Adri dan Kak Aqsa yang telah membantu penulis menyelesaikan masalah pada penelitian ini dengan ide dan inovasi mereka penulis dapat menyelesaikan

penelitian ini.

12. Terimakasih kepada teman – teman yang telah menemani penulis mengukir kenangan yang berkesan selama menempuh masa perkuliahan, kepada Evandy, Nabil, Adib, Alfandy, Yitro, Husein
13. Terimakasih kepada Iqbal dan Aad yang sudah membantu penulis melalui skripsi ini dengan hiburan dan guyonan yang diberikan selama penulis menyusun skripsi
14. Terimakasih kepada diri sendiri yang terus bertahan hingga penulisan skripsi ini selesai, terimakasih untuk tidak pernah patah semangat walaupun model kapal patah, terimakasih untuk tidak pernah putus asa walaupun kabel sensor terputus
15. Semua pihak yang telah membantu, dalam bentuk fisik maupun dalam bentuk doa. Semoga Tuhan Yang Maha Esa membalas dan memberkati selalu kebaikan kalian dengan yang lebih baik.

ABSTRAK

IBNU RUSY AJIUTOMO. **Studi Impact Pressure Pada Inverted Bow Melalui Pengujian Model. (Dibimbing oleh Ir. Rosmani, MT.)**

Slamming adalah fenomena pada saat bagian haluan kapal naik melewati permukaan gelombang dan masuk kembali ke permukaan air dengan kecepatan tinggi. *Slamming* dapat menyebabkan tekanan impak (*impact pressure*) yang kuat pada bagian bawah kapal atau struktur kapal, dan ini dapat memiliki dampak signifikan terhadap kekuatan struktural dan keamanan operasional. Tujuan penelitian ini menentukan seberapa besar tekanan maksimum pada haluan kapal dengan bentuk *Inverted bow* pada saat kondisi *slamming* pada setiap sudut kemiringan jatuh melalui percobaan model dan mencari perbandingan antara sudut kemiringan jatuh kapal dengan haluan berbentuk *Inverted bow* dengan tekanan air pada saat kondisi *slamming* melalui percobaan model. Sudut jatuh pengujian model kapal yang akan digunakan untuk *dropping test* yaitu sudut kemiringan jatuh 5 derajat, 10 derajat, 15 derajat dan 20 derajat, dengan ketinggian 30 cm diatas air. Nilai tekanan diperoleh melalui *dropping test* dengan menggunakan sensor *loadcell*. Nilai tekanan maksimum pada masing-masing sudut kemiringan jatuh terjadi pada sensor 1 yang terpasang dihaluan Kapal berbentuk *Inverted Bow*. Adapun nilai yang dihasilkan yaitu, sudut kemiringan 5 derajat di hasilkan tekanan maksimum sebesar 34.953 N/m², sudut kemiringan 10 derajat dihasilkan tekanan maksimum sebesar 31.796 N/m², sudut kemiringan 15 derajat dihasilkan tekanan maksimum sebesar 23.739 N/m², dan sudut kemiringan 20 derajat dihasilkan tekanan maksimum sebesar 18.620 N/m². Hubungan antara tekanan maksimum pada haluan berbentuk *Inverted Bow* dengan sudut kemiringan 5 derajat, 10 derajat, 15 derajat, dan 20 derajat yaitu berbanding terbalik, yang dimana semakin besar sudut kemiringan pada haluan kapal maka tekanan maksimum yang dihasilkan pada haluan kapal nilainya semakin kecil.

Kata Kunci : Inverted Bow; Tekanan; Dropping Test; Percobaan Model; Loadcell

ABSTRACT

IBNU RUSY AJIUTOMO. Study of Impact Pressure on Inverted Bow Through Model Testing. (Supervised by Ir. Rosmani, MT.)

Slamming is the phenomenon in which the bow of a ship rises over the wave surface and re-enters the water surface at high speed. Slamming can cause strong impact pressure on the bottom of the ship or ship structure, and this can have a significant impact on structural strength and operational safety. The purpose of this study is to determine the maximum pressure on the bow of a ship with an inverted bow during slamming conditions at each angle of inclination of the fall through model experiments and to find a comparison between the angle of inclination of the fall of the ship with an inverted bow with water pressure during slamming conditions through model experiments. The dropping angles of the ship model that will be used for the dropping test are 5 degrees, 10 degrees, 15 degrees and 20 degrees, with a height of 30 cm above the water. Pressure values were obtained through the dropping test using a loadcell sensor. The maximum pressure value at each angle of inclination of the fall occurs at sensor 1 which is installed at the bow of the Inverted Bow-shaped Ship. The resulting values are, the angle of inclination of 5 degrees produced a maximum pressure of 34,953 N/m², the angle of inclination of 10 degrees produced a maximum pressure of 31,796 N/m², the angle of inclination of 15 degrees produced a maximum pressure of 23,739 N/m², and the angle of inclination of 20 degrees produced a maximum pressure of 18,620 N/m². The relationship between the maximum pressure on the bow in the form of an Inverted Bow with a tilt angle of 5 degrees, 10 degrees, 15 degrees, and 20 degrees is inversely proportional, where the greater the tilt angle at the bow of the ship, the smaller the maximum pressure generated at the bow of the ship.

Keywords: Inverted Bow; Pressure; Dropping Test; Model Experiment; Loadcell

DAFTAR ISI

	Halaman
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Teori	2
1.2.1 Jenis – Jenis Haluan Kapal	2
1.2.2 Inverted Bow	5
1.2.3 Gravitasi	7
1.2.4 Gerak Jatuh Bebas	8
1.2.5 Dropping Test	9
1.2.6 Load Cell	9
1.2.7 Arduino Sensor	9
1.2.8 Teori Slamming	10
1.2.9 Fenomena Slamming	11
1.2.10 Slamming Experiment	12
1.2.11 Teori Skala	14
1.3 Tujuan dan Manfaat	15
BAB II METODE PENELITIAN	16
2.1 Tempat dan Waktu	16
2.2 Jenis Data dan Teknik Pengambilan Data	16
2.2.1 Jenis Data	16
2.2.2 Teknik Pengambilan Data	17

2.3 Metode Pengolahan Data	17
2.3.1 Persiapan Alat	17
2.3.2 Pembuatan Model	22
2.3.3 Pembuatan Rel	25
2.3.4 Persiapan Pengujian	26
2.3.5 Prosedur Pengujian Model	30
2.3.6 Analisis Data	34
2.4 Kerangka Pemikiran	35
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN	36
3.1 Model Kapal	36
3.2 Kalibrasi Sensor Loadcell	37
3.3 Set up Model pada Towing Tank	40
3.3.1 Set up Model Pada Kemiringan 5 Derajat	40
3.3.2 Set up Model Pada Kemiringan 10 Derajat	41
3.3.3 Set up Model Pada Kemiringan 15 Derajat	42
3.3.4 Set up Model Pada Kemiringan 20 Derajat	43
3.4 Hasil Pengujian Dropping Test	45
3.4.1 Visualisasi Hasil Pengujian Dropping Test 5 Derajat	45
3.4.2 Visualisasi Hasil Pengujian Dropping Test 10 Derajat	47
3.4.3 Visualisasi Hasil Pengujian Dropping Test 15 Derajat	49
3.4.4 Visualisasi Hasil Pengujian Dropping Test 20 Derajat	51
3.4.5 Visualisasi Hasil Pengujian Dropping Test Pada Kondisi Air Tenang	53
3.5 Analisis Tekanan Air Pada Haluan Kapal Akibat Slamming	55
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN	58
4.1 Kesimpulan	58
4.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN	61

DAFTAR TABEL

Nomor urut	Halaman
1. Ukuran utama kapal	16
2. Ukuran utama kapal skala 1: 100 cm.....	16
3. Kebutuhan / material pembuatan model	22
4. Kebutuhan bahan pembuatan rel.....	25
5. Matriks waktu pengujian	27
6. Matriks kebutuhan pengujian	27
7. Nilai tekanan pada setiap sudut kemiringan jatuh	55
8. Nilai koefisien tekanan pada setiap sudut kemiringan jatuh	56

DAFTAR GAMBAR

Nomor urut	Halaman
1. Haluan kapal plumb bow/straight Bow	2
2. Haluan kapal raked bow	3
3. Haluan kapal clipper bow	3
4. Haluan kapal spoon bow	3
5. Haluan kapal bulbous bow	4
6. Haluan kapal ram bow	4
7. Haluan kapal axe bow	4
8. Haluan kapal inverted bow	5
9. Kapal bourboun orca	5
10. Fenomena slamming	11
11. Kurva koefisien tekanan puncak $k = (P/(1/2\rho v^2))$ untuk bentuk dua dan tiga dimensi sebagai fungsi sudut <i>deadrise</i>	12
12. Udara tertutup yang terbentuk akibat benturan datar dari gelombang yang pecah terhadap dinding vertikal	12
13. Analisis puncak slaming	13
14. Skema dropping test	13
15. Perbandingan nilai tegangan pada perhitungan dan percobaan	14
16. Linesplan kapal dengan haluan inverted bow	17
17. Laptop	18
18. Towing Carriage	18
19. Towing tank	19
20. Loadcell device	19
21. Modul HX711	20
22. Perangkat arduino	20
23. Breadboard	21
24. Rel	21
25. Pemberat	21
26. Kabel jumper type male dan female	22
27. Section model	23
28. Pemasangan frame pada lunas	23
29. Pemasangan kulit pada frame	24
30. Proses pemberian resin pada model	24
31. Proses pemberian dempul pada model	24
32. Proses pengecatan model	25
33. Draft test	25
34. Proses pemasangan kapal pada rel	26
35. Sensor loadcell	28
36. Peletakan sensor	28
37. Rangkaian breadboard dan loadcell	29
38. Rangkaian arduino Uno, loadcell dan breadboard	29
39. Rangkaian arduino uno yang disambungkan pada laptop	30
40. Pemasangan model pada rel yang akan di uji	32
41. Keadaan kapal pada ketinggian 30 cm	33

42. Software arduino uno	33
43. Proses pelepasan kapal.....	34
44. Hasil pembacaan sensor	34
45. Kerangka Pemikiran.....	35
46. Model kapal.....	36
47. Skema dropping test	36
48. Letak sensor pada model.....	37
49. Pembacaan data kalibrasi.....	39
50. Peletakan beban	40
51. Waterpass 5 Derajat	41
52. Kondisi model sebelum menyentuh air pada sudut kemiringan 5 derajat	41
53. Waterpass 10 derajat	42
54. Kondisi model sebelum menyentuh air pada sudut kemiringan 10 derajat	42
55. Waterpass 15 derajat	43
56. Kondisi model sebelum menyentuh air pada sudut kemiringan 15 derajat	43
57. Waterpass 20 derajat	44
58. Kondisi model sebelum menyentuh air pada sudut kemiringan 20 derajat	44
59. Time history dropping test kemiringan 5 derajat	45
60. Tekanan puncak per satuan waktu pada sudut kemiringan 5 derajat.....	46
61. Time history dropping test kemiringan 10 derajat	47
62. Tekanan puncak per satuan waktu pada sudut kemiringan 10 derajat.....	48
63. Time history dropping test kemiringan 15 derajat	49
64. Tekanan puncak per satuan waktu pada sudut kemiringan 15 derajat.....	50
65. Time history dropping test kemiringan 20 derajat	51
66. Tekanan puncak per satuan waktu pada sudut kemiringan 15 derajat.....	52
67. Time history dropping test kemiringan 15 derajat kondisi air tenang.....	53
68. Tekanan puncak per satuan waktu pada sudut kemiringan 15 derajat.....	54
69. Nilai Tekanan di tiap Variasi Sudut Kemiringan	55
70. Nilai koefisien tekanan di tiap variasi sudut kemiringan jatuh	56

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan	Satuan
LOA	Length of all	M
LWL	Length of waterline	M
B	Lebar Kapal	M
H	Tinggi Kapal	M
T	Sarat Kapal	M
F	Gaya	N
G	Konstanta gravitasi	Nm ² /Kg ²
m1	Besar massa titik pertama	Kg
m2	Besar massa titik kedua	Kg
r	Jarak antara kedua massa titik	m
g	Percepatan gravitasi bumi	m/s ²
w	Gaya berat	n
m	Massa benda	Kg
y	Jarak yang ditempu	m
P	Tekanan	N/M ²
A	Luas Sensor	M ²
p	Panjang	
l	Lebar	

DAFTAR LAMPIRAN

1. Data hasil pengujian droptest pada kemiringan 5 derajat.....	58
2. Data hasil pengujian droptest pada kemiringan 10 derajat.....	61
3. Data hasil pengujian droptest pada kemiringan 15 derajat.....	64
4. Data hasil pengujian droptest pada kemiringan 5 derajat.....	67
5. Data hasil pengujian droptest pada air tenang.....	71

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kapal dalam operasinya di perairan laut bebas pasti akan beroperasi di lautan dengan kondisi gelombang yang ekstrem, hal ini kerap terjadi untuk kapal dengan ukuran utama yang besar yang beroperasi di lautan bebas. Cuaca laut yang ekstrem dapat menyebabkan gelombang yang cukup tinggi sehingga kapal mengalami Gerakan akibat gelombang tinggi tersebut. Gerakan kapal akibat gelombang sangat perlu diperhitungkan dalam tahap awal desain. Gelombang yang tinggi dapat mengakibatkan gerakan vertikal pada haluan kapal dimana ketika nilainya terlalu besar dapat membuat haluan kapal mengalami slamming. Slamming adalah fenomena pada saat bagian haluan kapal naik melewati permukaan gelombang dan masuk kembali ke permukaan air dengan kecepatan tinggi.

Slamming dapat menyebabkan tekanan impact (*impact pressure*) yang kuat pada bagian bawah kapal atau struktur, dan ini dapat memiliki dampak signifikan terhadap kekuatan struktural dan keamanan operasional. 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 haluan, buckling dan deformasi pada member pendukung struktur haluan. Kerusakan yang sering terjadi akibat slamming adalah terjadinya patahan pada struktur kapal.

Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi dampak tekanan pada haluan kapal katamaran dengan bentuk *inverted bow* dengan berbagai sudut melalui percobaan model. Pemahaman mendalam tentang fenomena ini digunakan untuk meningkatkan efisiensi operasional kapal, mengoptimalkan desain, dan pada gilirannya, meningkatkan keselamatan pelayaran.

Pada "*Fundamental Study Of Wave Impact Loads On Ship Bows (1st Report)*" oleh Hagiwara, K & Yuhara, T (1974), studi mengenai *impact pressure* pada linggi haluan dengan berbagai sudut melalui percobaan model telah dilakukan oleh para peneliti. Dalam studi tersebut, model linggi haluan semi-silinder tiga dimensi dengan skala 1/3 dijatuhkan dari berbagai ketinggian ke permukaan air diam pada sudut relatif kecil (0, 5, dan 15 derajat) dengan total berat jatuh 10 ton setiap kali. Dari hasil percobaan, hubungan antara tekanan impact maksimum, kecepatan impact relatif, sudut relatif antara gelombang haluan dan gelombang lambung, dan radius lengkungan linggi haluan diperoleh. Ditemukan bahwa tekanan *impact maximum* akan meningkat sekitar kuadrat dari kecepatan impact relatif dan lebih dipengaruhi oleh sudut relatif antara gelombang haluan dan gelombang lambung daripada radius lengkungan linggi haluan.

Baso et al. (2021), menyelidiki tekanan bantingan haluan pada model kapal secara eksperimental melalui uji jatuh. Efek dari sudut tumbukan (0-30 derajat) dan berat model dipelajari. Penelitian ini bertujuan untuk mengkarakterisasi tekanan slamming haluan melalui eksperimen dan menganalisis pengaruh sudut tumbukan dan berat. Penelitian ini memberikan wawasan tentang beban slamming yang bekerja pada lambung kapal dalam kondisi laut yang realistis. Hasilnya menunjukkan tekanan puncak menurun dengan meningkatnya sudut benturan. Berat model yang lebih berat menyebabkan tekanan yang lebih tinggi. Koefisien tekanan puncak paling tinggi untuk kondisi muatan penuh pada sudut tumbukan yang kecil.

1.2 Teori

1.2.1 Jenis – Jenis Haluan Kapal

Berikut ini adalah jenis-jenis haluan kapal atau tipe bow yaitu sebagai berikut:

1. Plumb Bow/Straight Bow

Jenis haluan kapal yang sejajar sempurna dengan lunas. Ini merupakan bentuk yang sederhana dan umum digunakan untuk kapal yang berlayar di laut. Tipe haluan ini memberikan stabilitas yang memadai dan memastikan perjalanan kapal semulus mungkin. Untuk haluan berbentuk *plumb bow / straight bow* dapat dilihat pada Gambar 1.

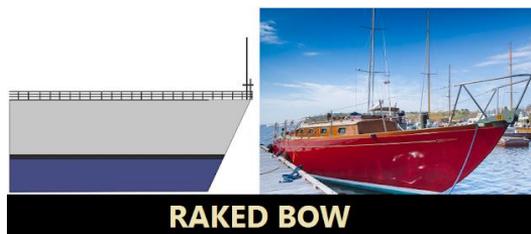


Gambar 1. Haluan kapal plumb bow/straight Bow

Sumber: Ilmu kapal dan logistik,2023

2. Raked Bow

Jenis haluan kapal yang memiliki bentuk panjang dan miring, sering digunakan pada kapal kayu untuk meningkatkan kemampuan berlayar. Desain ini umumnya ditemui pada kapal mewah dan kapal penumpang selama beberapa periode waktu. Ciri khas dari raked bow adalah kelengkungan cekungnya yang meruncing ke garis yang sangat tipis di permukaan air. Untuk haluan berbentuk *raked bow* dapat dilihat pada Gambar 2.



RAKED BOW

Gambar 2. Haluan kapal raked bow
Sumber: Ilmu kapal dan logistik,2023

3. Clipper Bow

Awalnya dirancang dengan tujuan khusus untuk menjadi kapal yang cepat dan ramping. Nama “clipper” berasal dari bentuk haluan kapal. Ini dirancang dengan sisi yang tinggi dan tampilan yang sangat lurus ke depan dengan bentuk yang hampir tajam. Busur jenis ini sangat cocok untuk berlayar karena dapat menembus air dengan hambatan minimum. Clipper bow dirancang untuk kapal sangat cepat dan bisa berlari lebih cepat dan mengalahkan sebagian besar kapal lain. Untuk haluan berbentuk *clipper bow* dapat dilihat pada Gambar 3.

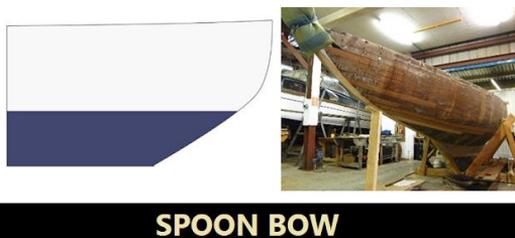


CLIPPER BOW

Gambar 3. Haluan kapal clipper bow
Sumber: Ilmu kapal dan logistik,2023

4. Spoon Bow

Tipe haluan kapal dengan desain busur yang cembung ke geladak. Alasan disebut haluan kapal “sedok” adalah karena bentuk lekukan di bagian atasnya dengan kurva menyerupai sendok. Desain bow seperti ini dapat menghasilkan wave making resistance karena kelengkungan pada penampangnya. Untuk haluan berbentuk *spoon bow* dapat dilihat pada Gambar 4.

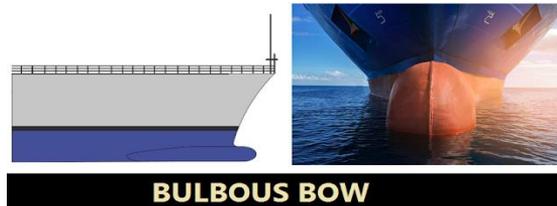


SPOON BOW

Gambar 4. Haluan kapal spoon bow
Sumber: Ilmu kapal dan logistik,2023

5. Bulbous Bow

Tipe haluan yang paling sering ditemui di banyak kapal karena keuntungannya dalam pemakaian ini. Bulbous adalah bentuk khas lambung kapal jika dilihat dari permukaan air, yang disebabkan oleh haluan yang bulat lebih dalam di dalam air daripada efisiensi bahan bakar, kecepatan, dan stabilitas. Untuk haluan berbentuk *bulbous bow* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Haluan kapal bulbous bow
Sumber: Ilmu kapal dan logistik,2023

6. Ram Bow

Jenis haluan kapal dengan bentuk perpanjangan yang lebih dibangun di bawah air pada bawah lambung kapal. Ram bow ini merupakan desain panjang dan ramping yang membantu kapal menembus air dengan efisiensi maksimum, sehingga berbentuk seperti anak panah yang mengarah ke depan. Untuk haluan berbentuk *ram bow* dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Haluan kapal ram bow
Sumber: Ilmu kapal dan logistik,2023

7. Axe Bow

Tipe bow kapal yang memiliki bentuk tajam dan runcing ke depan. Alasan disebut axe bow karena bagian depan lambung yang panjang, dalam dan sempit yang menyerupai kapak. Untuk haluan berbentuk *axe bow* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Haluan kapal axe bow
Sumber: Ilmu kapal dan logistik,2023

8. Inverted Bow

Inverted Bow, yang juga dikenal X-Bow, mengacu pada jenis haluan kapal di mana bagian terpanjang tidak berada di bagian atas, melainkan terletak di bagian bawah lambung. Seperti desain bow kapak, haluan ini mengurangi lemparan (gerakan naik turun) dan bantingan, menciptakan pengalaman perjalanan yang lebih baik bagi kru kapal. Untuk haluan berbentuk *inverted bow* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Haluan kapal inverted bow

Sumber: Ilmu kapal dan logistik,2023

1.2.2 Inverted Bow

Inverted bow (kadang-kadang juga disebut sebagai reverse bow). Inverted bow memaksimalkan panjang garis air dan meningkatkan kecepatan kapal, serta memiliki drag hidrodinamik yang lebih baik daripada bow biasa. Di sisi lain, inverted bow memiliki daya apung yang lebih kecil dan cenderung menyelam di bawah gelombang, bukannya menusuk atau melewatinya. Kemudian jenis bow ini dikembangkan dan dimodifikasi menjadi inverted bow.

X-Bow memiliki karakteristik bow yang mengarah kebelakang kapal dimulai dari ujung paling depan kapal. Desain bow ini diuji dan dipergunakan untuk mendapatkan kecepatan kapal yang tinggi, hambatan kapal yang rendah serta mengurangi penggunaan bahan bakar minyak. Hasil pengujian yang dilakukan, penggunaan X-Bow dapat memecah gelombang haluan secara halus dan mengurangi speed loss pada saat kapal beroperasi.

Pada tahun 2005 Ulstein Group Industries memperkenalkan X-Bow yang diperkenalkan penggunaannya pada kapal Anchor Handling tug Supply (AHTS) Bourbon Orca. Kapal Bourbon Orca dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Kapal bourboun orca

Sumber: Ulstein group industries

Seperti pada Gambar 2.2 X-Bow memiliki karakteristik bow yang mengarah kebelakang kapal dimulai dari ujung paling depan kapal. Desain bow ini diuji dan dipergunakan untuk mendapatkan kecepatan kapal yang tinggi, hambatan kapal yang rendah serta mengurangi penggunaan bahan bakar minyak. Hasil pengujian yang dilakukan, penggunaan X-Bow dapat memecah gelombang haluan secara halus dan mengurangi speed loss pada saat kapal beroperasi.

Dalam desain kapal, inverted bow (kadang-kadang juga disebut sebagai reverse bow). Inverted bow memaksimalkan panjang garis air dan meningkatkan kecepatan kapal, serta memiliki drag hidrodinamik yang lebih baik daripada bow biasa. Di sisi lain, inverted bow memiliki daya apung yang lebih kecil dan cenderung menyelam di bawah gelombang, bukannya menusuk atau melewatinya. Kemudian jenis bow ini dikembangkan dan dimodifikasi menjadi inverted bow. Inverted bow ini diaplikasikan terhadap bentuk badan kapal combatant hull. (Utama & Priyasamba, 2019)

Konsep haluan atau bow revolusioner untuk dunia perancangan kapal terutama kapal Offshore Support Vessel (OSV) diperkenalkan oleh Ulstein Group dari Norwegia. Konsep haluan dengan bentuk haluan yang tinggi dan bulat tetapi mengembang keatas. Desain terbaru ini sangat berbeda dari kapal – kapal konvensional. Kapal dengan desain haluan seperti Ulstein X-Bow memiliki daya apung besar sebab ada penambahan volume dari bentuknya. Ulstein X-bow pertama kali diluncurkan pada tahun 2005. Dikenal sebagai Inverted Bow karena dari bentuk haluan dengan bagian atas membalik kearah belakang. Ulstein X- Bow membuat ruang akomodasi kapal di bagian anjungan menjadi lebih luas. Kapal dengan desain Ulstein X–Bow awalnya memang dirancang untuk kapal pekerja lepas pantai. Kapal dengan bow seperti ini memiliki analisa seakeeping yang lebih baik dibanding kapal haluan konvensional. Selain seakeeping kapal dengan tipe haluan Ulstein X Bow ini juga dapat mengefisiensi bahan bakar. Bentuk haluan seperti ini membuat ombak-ombak terpecahkan secara lebih halus. (K.Restu dkk, 2017)

Kapal dengan desain haluan Ulstein X-Bow memiliki beberapa keuntungan, yaitu:

- a) Kecepatan pelayaran yang lebih tinggi saat terjadi cuaca buruk
- b) Mengurangi konsumsi bahan bakar saat haluan kapal berhadapan langsung dengan ombak atau laut tenang
- c) Mengurangi konsumsi bahan bakar karena hambatan juga ikut berkurang
- d) Meniadakan goncangan-goncangan
- e) Anggukan-anggukan kapal lebih rendah
- f) Menghindari terjadinya kebasahan geladak
- g) Mengurangi kemungkinan kerusakan akibat cuaca buruk
- h) Meningkatkan kapasitas daya muat

- i) Mengurangi kebisingan dan getaran
- j) Menjaga peralatan mooring
- k) Mengurangi beban dari kulit kapal karena eliminasi dari flare
- l) Memecah ombak dengan lebih halus

1.2.3 Gravitasi

Dengan menggunakan hukum keduanya, Newton membuktikan bahwa ada gaya tarik menarik bervariasi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara Matahari dan planet akan menghasilkan orbit elips, seperti yang diamati oleh Kepler. Dia kemudian membuat yang berani asumsi bahwa gaya tarik menarik ini bekerja antara dua benda di alam semesta. Sebelum Newton, tidak banyak yang percaya bahwa hukum fisika dapat dipatuhi Bumi dapat diterapkan pada benda-benda langit. (Kepler, 1998)

Newton mengubah pemahaman kita sifat alam nonterrestrial dengan menunjukkan bahwa hukum fisika berlaku sama baiknya terhadap benda-benda terestrial dan nonterrestrial. Hukum gravitasi Newton mendalilkan bahwa ada gaya tarik menarik antara setiap pasangan partikel titik itu sebanding dengan produk massa partikel dan berbanding terbalik sebanding dengan kuadrat jarak yang memisahkannya. (Kepler, 1998)

Setiap titik massa menarik setiap massa titik lain dengan gaya sepanjang potong dari kedua titik. Gayanya berbanding lurus dengan hasil dari dua massa dan berbanding terbalik dengan kuadrat dari jarak antara mereka:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} m_1 g \quad (1)$$

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 diatas dapat diturunkan menjadi persamaan untuk menghitung gaya berat. Gaya berat adalah gaya tarik gravitasi yang bekerja pada suatu benda. Arah gaya berat selalu menuju pusat bumi, dan besarnya bergantung pada massa dan percepatan gravitasi yang dimana persamaannya sebagai berikut:

$$W = m \times g \quad (2)$$

Dimana,

w	= gaya berat (n),
m	= massa benda (kg), dan
g	= percepatan gravitasi bumi (9,81 m/s ²)

1.2.4 Gerak Jatuh Bebas

Suatu benda dikatakan mengalami gerak jatuh bebas, jika benda tersebut dilepaskan dari suatu ketinggian tertentu terhadap tanah tanpa kecepatan awal. Benda yang dijatuhkan dari atas akan jatuh ke bumi karena benda tersebut mendapat percepatan gravitasi (g) yang arahnya selalu menuju ke pusat bumi (Supriyadi, 2008).

Menurut Zollman & Fuller (1994) di dalam gerak jatuh bebas, gesekan dan gaya archimedes terhadap udara diabaikan sehingga dapat dikatakan bahwa gerak jatuh bebas sebenarnya hanya terjadi dalam ruang hampa. Jika suatu benda dijatuhkan dari suatu ketinggian dari permukaan tanah dengan percepatan gravitasi, maka untuk mengetahui kecepatan benda pada saat jatuh bebas dapat digunakan persamaan :

$$vt = gt \quad (3)$$

Dimana:

vt = Kecepatan benda (m/s)

g = Percepatan gravitasi bumi (m/s²)

t = Waktu (s)

Sedangkan persamaan yang digunakan untuk menentukan jarak yang ditempuh oleh suatu benda selama benda bergerak selama t detik dari tempat awal dapat digunakan persamaan:

$$y = \frac{1}{2}gt^2 \quad (4)$$

Dimana:

y = Jarak yang ditempuh (m)

g = percepatan gravitasi bumi (9,81 m/s²)

t = waktu (s)

Dalam setiap kesempatan, gerak jatuh dipelajari oleh para ilmuwan dengan hati-hati dan teliti. Dalam keadaan hambatan hampa udara didapatkan bahwa semua benda, tidak peduli ukuran dan beratnya, pada setiap titik dipermukaan bumi jatuh dengan percepatan yang sama. Bila jarak yang ditempuh

adalah kecil bila dibandingkan dengan jejari bumi, percepatan selama jatuh adalah tetap. Pengaruh dari hambatan udara dan berkurangnya percepatan dengan ketinggian akan diabaikan. Gerak yang ideal ini disebut "jatuh bebas".(Ristiawan, 2018)

1.2.5 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. (Gaffar,2021)

1.2.6 Load Cell

Load cell yang juga dikenal sebagai transducer, merupakan perangkat elektromekanis yang mengubah gaya mekanis menjadi sinyal listrik dengan bekerja berdasar pada prinsip deformasi sebuah material akibat adanya tegangan mekanis . Hubungan antara tegangan mekanik dan deformasi yang dihasilkan disebut regangan, terjadi di lapisan kulit material, sehingga memungkinkan untuk mengukurnya dengan sensor regangan atau load cell. Ini adalah dasar untuk menentukan tegangan mekanis. Karena load cell merupakan sensor berat, maka nilai resistansi pada load cell akan berubah ketika diberi beban pada inti besinya

Sensor load cell merupakan jenis sensor yang digunakan untuk mengubah satu energi agar menjadi energi lain yang biasanya digunakan untuk membuat perubahan dari suatu gaya sehingga menjadi energi listrik. Besarnya tekanan yang dirasakan atau diberikan pada beban akan menentukan perubahan tegangan listrik yang terjadi. Terdapat komponen Strain Gauge untuk sensor load cell. Strain gauge merupakan komponen elektronik yang digunakan dalam pengukuran suatu tekanan. Komponen tersebut terbentuk dari foil logam atau kawat logam yang memiliki sifat insulatif (isolasi) yang dipasang di dalam sensor load cell yang berperan dalam pengukuran suatu tekanan yang dihasilkan dari pembacaan beban. Bahan sensor load cell tersebut disusun dari berbagai jenis bahan yakni stainless steel, baja, dan juga aluminium.

1.2.7 Arduino Sensor

Arduino adalah platform perangkat keras (hardware) yang dirancang untuk memudahkan pengembangan dan prototyping proyek-proyek elektronik. Alat ini terdiri dari papan sirkuit cetak berukuran kecil yang dilengkapi dengan mikrokontroler dan sejumlah pin input/output yang dapat digunakan untuk menghubungkan sensor, aktuator, dan komponen elektronik lainnya. Mikrokontroler pada papan Arduino adalah otak utama yang mengontrol berbagai komponen yang terhubung dengannya. Papan Arduino biasanya dilengkapi dengan berbagai macam varian mikrokontroler dari berbagai produsen, seperti ATmega yang diproduksi oleh

Microchip Technology. Meskipun demikian, Arduino lebih sering dikaitkan dengan platform open-source yang dikelola oleh Arduino.cc.

Salah satu keunggulan utama Arduino adalah lingkungan pemrograman yang mudah digunakan. Pengguna dapat membuat program (kode) menggunakan bahasa pemrograman C/C++ yang telah disederhanakan dan diberi perpustakaan fungsi-fungsi khusus Arduino. Lingkungan pengembangan Arduino (Arduino IDE) menyediakan antarmuka yang ramah pengguna untuk mengunggah kode ke papan Arduino melalui koneksi USB atau bahkan Bluetooth, tergantung pada varian papan.

1.2.8 Teori Slamming

1. Wave Impact Load

Beban *slamming* memiliki dampak yang sangat besar dalam desain struktur kapal. Kemungkinan terjadinya *slamming* ditemukan dengan mendefinisikan kecepatan ambang relatif dari terjadinya *slamming*. Untuk mengetahui lebih dalam tentang ambang batas terjadinya *slamming*, perlu untuk mempelajari model teoritis atau melakukan percobaan pada dampak air terhadap dek dan lambung struktur kapal dan juga perlu untuk mengembangkan kriteria rasional untuk batas operasional akibat *slamming*. Kriteria harus berkaitan dengan beban *slamming* yang digunakan dalam desain struktural yaitu respons struktur akibat *slamming*. (Faltinsen 2005).

2. Effect Slamming

Penyebab *slamming* mengakibatkan efek lokal maupun global pada struktur. *Whipping* merupakan efek global akibat *slamming*. *Hydroelastic* penting untuk beban global dan juga memiliki beberapa efek lokal pada kasus tekanan *slamming* yang tinggi dalam durasi waktu singkat. Bila sudut yang terbentuk antara permukaan dan ambung permukaan bebas sangat kecil, maka dimungkinkan terjadi tekanan tinggi. *Hydro-elasticitas* berarti bahwa aliran fluida dan reaksi elastis struktur dianggap secara bersamaan dan saling interaksi, yaitu:

- Getaran elastis menyebabkan aliran fluida dengan bidang tekanan
- Media dinamis mempengaruhi getaran elastis struktural.

Dalam analisis struktural konvensional (tanpa *hydro-elasticitas* atau efek dinamis), pemuatan hidrodinamik dianggap sebagai struktur kaku. Loading diterapkan dalam cara kuasi-stabil ketika dihasilkan statis struktural elastis dan plastik deformasi dan tegangan dihitung. Solusi lengkap masalah hidrodinamik cukup kompleks dan pendekatan harus dilakukan. Untuk penyederhanaan kita dapat mengabaikan kompresibilitas air. Tampaknya sangat tinggi tekanan *slamming* tidak penting untuk baja dan aluminium struktur. Sebagai tinggi puncak tekanan dilokalisasi dalam ruang dan waktu. Gaya impuls yang penting bagi respon struktur. (Ahmad, 2015)

1.2.9 Fenomena Slamming

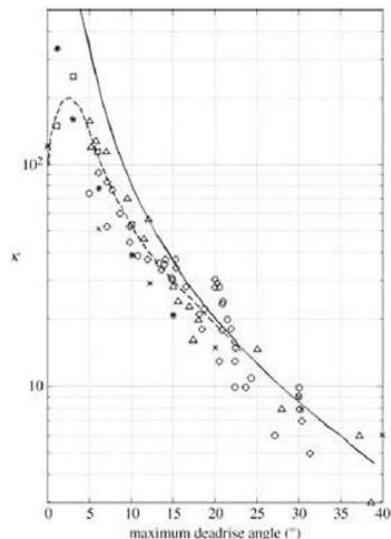
Fenomena *slamming* ditandai dengan durasi yang relatif singkat. Fenomena ini terjadi ketika sebuah benda masuk ke dalam air dengan sudut yang relatif kecil antara permukaan benda dan permukaan air. Penjelasan klasik mengenai tekanan tinggi dengan kekuatan yang dihasilkan merupakan akselerasi antar cairan dan permukaan benda (Himaya, 2016). Fenomena *slamming* dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Fenomena slamming

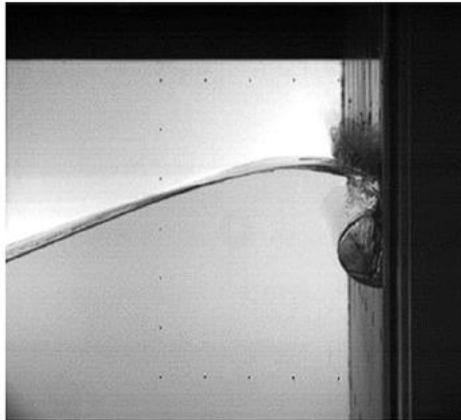
Sumber: Veen, 2010

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 kopiesibilitas volume udara ini berperan penting dalam tekanan pada sebuah benda (Himaya, 2016). Kurva koefisien tekanan puncak dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Kurva koefisien tekanan puncak $k = (P/(1/2\rho v^2))$ untuk bentuk dua dan tiga dimensi sebagai fungsi sudut *deadrise*
 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). Udara tertutup yang berbentuk akibat benturan gelombang dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Udara tertutup yang terbentuk akibat benturan datar dari gelombang yang pecah terhadap dinding vertikal
 Sumber: Himaya, 2016

1.2.10 Slamming Experiment

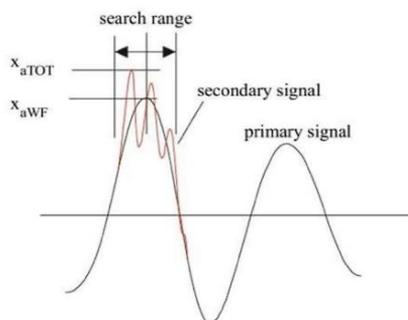
Pada saat terjadi fenomena slamming, dilakukan berbagai eksperimen atau penelitian untuk mengetahui besarnya tekanan yang terjadi akibat slamming atau *slamming impact*. Penelitian mengenai fenomena *slamming* telah diteliti oleh beberapa orang sebagai berikut.

Nasir (2011) mendeskripsikan 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). Adapun hasil akhir dari pengujian ini merupakan nilai tekanan sesaat air pada model *WISE* yang nantinya digunakan untuk pembuatan model itu sendiri.

Dalinga (2006) dalam penelitiannya, sebuah kapal kontainer dimodelkan dengan skala 1:26,7 yang mewakili 200 m ukuran panjang kapal kontainer yang

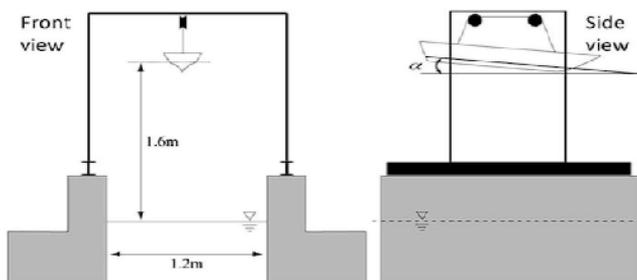
sebenarnya. Hasil penelitian ini ditujukan untuk mengetahui respon badan kapal terhadap adanya *slamming* dan pengaruhnya terhadap operasional kapal dan kesimpulan dari penelitian ini merupakan sifat statistik dari respon badan kapal itu sendiri terhadap tekanan yang disebabkan oleh *slamming*.

Perbedaan antara respon vertikal terhadap haluan (*bow*) dan kekakuan yang diurutkan berdasarkan frekuensi seperti yang terlihat pada Gambar 13 selanjutnya dijelaskan dari sepersepuluh dan sepertiga nilai respon tertinggi (Himaya,2016). Hasil pecahan tersebut dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Analisis puncak slaming
Sumber : Dallinga, 2006

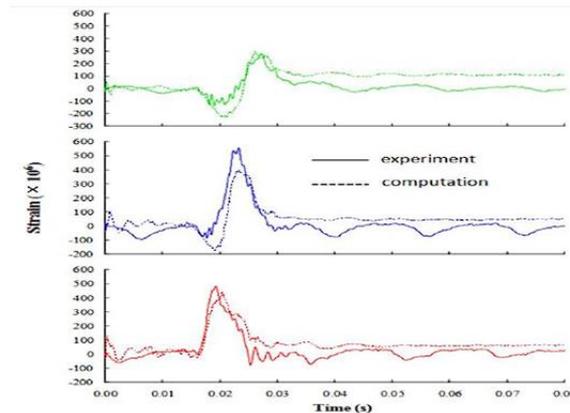
Baso (2010) mengklaim bahwasanya untuk *dropping test*, percobaan dirancang dalam tiga dimensi dan dilakukan dalam tangki gelombang menengah yang dilakukan untuk menyelidiki hubungan antara gerak *elastic* dan dampak tekanan akibat adanya *slamming*. Eksperimental dilakukan berdasarkan teori jatuh bebas dengan kecepatan konstan. Skema dari *dropping test* berdasarkan teori jatuh bebas dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Skema dropping test
Sumber : Baso, 2010

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 15.



Gambar 15. Perbandingan nilai tegangan pada perhitungan dan percobaan
Sumber: Baso,2010

1.2.11 Teori Skala

Menurut Ferdiana (2014) mengemukakan bahwa setiap jenis gambar mempunyai ukuran yang berbeda-beda, ada yang kecil dan ada yang besar. Oleh karena itu, sering kali tidak memungkinkan menggambar suatu gambar dalam kertas gambar ukuran tertentu dalam ukuran sebenarnya. Untuk itu, ukuran gambar harus diperkecil jika bendanya besar, dan harus diperbesar jika bendanya terlalu kecil, pengecilan atau pembesaran gambar dilakukan dengan skala tertentu. Skala adalah perbandingan ukuran linear pada gambar terhadap ukuran lineardari benda sebenarnya. Ada tiga macam skala gambar, yaitu

- Skala pembesaran

Pembesaran digunakan jika gambarnya dibuat lebih besar daripada benda sebenarnya. Misalnya, jika bendanya kecil dan rumit seperti pada rangkaian kontrol pada lampu jalan, maka harus menggunakan skala pembesaran untuk menggambarkan rangkaian ini. Penunjukan untuk skala pernbesaran adalah $x:1$, sedangkan ukuran lengkap yang dianjurkan adalah 50:1, 20:1, 10:1, 5:1 dan 2:1

- Skala penuh

Skala penuh digunakan bilamana gambarnya dibuat sarna besar dengan benda sebenarnya. Skala ini dianjurkan untuk sedapat mungkin dipergunakan supaya dapat membayangkan benda yang sebenarnya, atau untuk memudahkan pemeriksaan. Penunjukan skala penuh adalah 1:1.

- Skala pengecilan

Skala pengecilan digunakan bilamana gambar yang dibuat lebih kecil daripada gambar yang sebenarnya, Penunjukannya adalah 1:x. Adapun daftar penunjukkan skala pengecilan yang dianjurkan yakni 1: 2, 1: 20, 1: 200, 1: 2000, 1: 5, 1: 50, 1: 500, 1:5000, 1: 10, 1: 100, 1: 1000 dan 1: 10000

1.3 Tujuan dan Manfaat

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

1. Menentukan seberapa besar tekanan maksimum pada haluan model kapal dengan bentuk *inverted bow* pada saat kondisi *slamming* pada setiap sudut kemiringan melalui percobaan model ?
2. Mengetahui perbandingan antara sudut kemiringan haluan model kapal berbentuk *inverted bow* dengan tekanan maksimum pada saat kondisi *slamming* melalui percobaan model ?

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Hasil penelitian dapat memberikan informasi terkait nilai tekanan pada haluan model kapal berbentuk *inverted bow* melalui percobaan model.
2. sebagai pertimbangan dalam mendesain kapal menggunakan haluan berbentuk *inverted bow*

BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidrodinamika Kapal Departemen Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penelitian dilaksanakan terhitung mulai bulan Februari 2024 sampai Oktober 2024.

2.2 Jenis Data dan Teknik Pengambilan Data

2.2.1 Jenis Data

- a) Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan jenis data primer / langsung, merupakan data yang diperoleh dari hasil percobaan eksperimen model di laboratorium berupa perilaku kapal akibat tekanan yang diperoleh dari dropping test pada sudut yang berbeda.
- b) Data sekunder / tidak langsung, merupakan data yang diperoleh melalui bahan-bahan tertulis dari sumber data yang erat kaitannya dengan penelitian ini. Setelah data sekunder kapal terkumpul, kemudian data akan diverifikasi untuk persiapan pembuatan model. Kapal yang digunakan dalam penelitian ini adalah jenis kapal tanker. Dengan data umum pada Tabel 1.

Tabel 1. Ukuran utama kapal

No.	Ukuran Utama	Kapal	Satuan
1	LENGTH OVERALL	157,7	m
2	LENGTH BETWEEN PERPENDICULAR	149,5	m
3	BREADTH	27,7	m
4	DEPTH	12	m
5	DRAUGHT	7	m

Sumber: Galangan

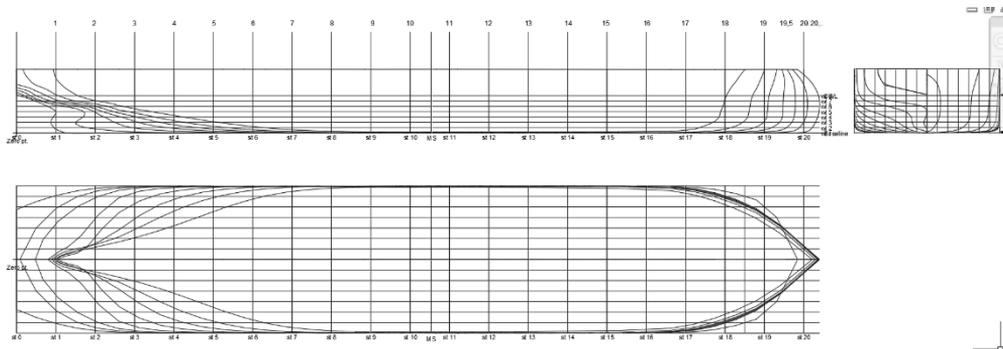
Adapun lines kapal di modifikasi bagian haluannya menjadi haluan dengan bentuk inverted bow lalu ukuran model di skalakan dengan skala 1:100 cm ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Ukuran utama kapal skala 1: 100 cm

No.	Ukuran Utama	Model Kapal	Satuan
1	LENGTH OVERALL	1,577	m
2	LENGTH BETWEEN PERPENDICULAR	1,495	m
3	BREADTH	0,277	m
4	DEPTH	0,12	m
5	DRAUGHT	0,07	m

Sumber: Hasil olah data

Adapun lines kapal panderman setelah modifikasi bagian haluannya menjadi haluan dengan bentuk *inverted bow* dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Linesplan kapal dengan haluan inverted bow

Sumber: Hasil olah data maxsurf

2.2.2 Teknik Pengambilan Data

Adapun metode pengumpulan data penelitian dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Metode pengujian model dan observasi, dalam hal ini melakukan pengujian langsung pada model kapal yang diteliti pada tangki percobaan yang dilengkapi peralatan pendukung. Metode ini merupakan pengamatan secara langsung terhadap kegiatan eksperimen yang sedang berlangsung,
2. Studi literatur, dimana kita harus terlebih dahulu memahami konsep dasar tekanan impak pada kapal dan bagaimana sudut linggi haluan memengaruhi distribusi tekanan tersebut. Tekanan impak terjadi ketika air mengenai bagian depan kapal, terutama di linggi haluan, yang merupakan titik pertama yang berinteraksi dengan air saat kapal bergerak. Pentingnya memahami tekanan impak ini terletak pada kebutuhan untuk merancang kapal yang dapat mengurangi tekanan tersebut guna meningkatkan efisiensi bahan bakar dan keselamatan struktural.

2.3 Metode Pengolahan Data

Jenis Penelitian ini berbasis eksperimen laboratorium, yaitu melakukan pengujian Impact Pressure pada linggi haluan kapal diberbagai sudut dengan cara dropping test pada tangki percobaan dengan menggunakan bantuan beberapa komponen-komponen yang berada di tangki percobaan / Towing Tank yang tersedia di Laboratorium Hidrodinamika Kapal Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Untuk mengolah data tahap – tahap pengolahan yang digunakan sebagai berikut.

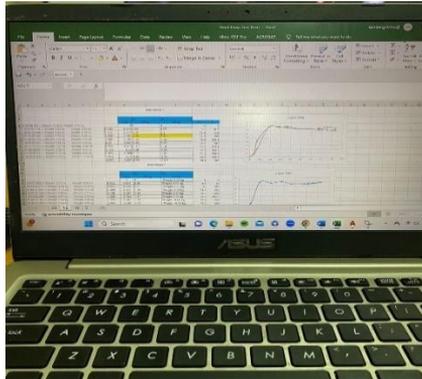
2.3.1 Persiapan Alat

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1. Laptop

Dalam penelitian ini laptop digunakan sebagai perangkat untuk mencatat hasil yang didapat yang dihubungkan dengan Arduino Uno, selain itu laptop juga

digunakan untuk mengolah data yang didapatkan serta mengolah semua aplikasi *software* yang digunakan selama penelitian ini berlangsung. Untuk laptop yang digunakan pada pengujian dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Laptop

Sumber: Properti pengujian

2. Towing Carriage

Pada penelitian ini *Towing Carriage* dijadikan sebagai rangka pengujian model ketika *dropping test* dilakukan. Untuk *towing carriage* yang digunakan pada pengujian dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Towing Carriage

Sumber: Properti pengujian

3. Towing Tank

Kolam uji atau towing tank adalah sebagai media pengujian ketika penarikan model berlangsung, pada fasilitas kolam uji atau *towing tank* yang terdapat pada Laboratorium Hidrodinamika Departemen Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin mempunyai panjang kolam 40 meter dan kedalaman kolam 8 meter dengan lebar 3 meter. Untuk *towing tank* yang digunakan pada pengujian dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Towing tank
Sumber: Properti pengujian

4. Loadcell Device

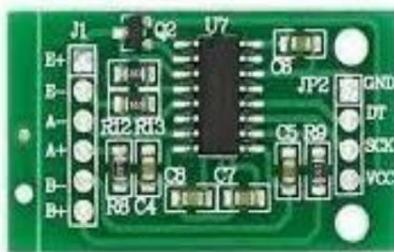
Loadcell Device adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur gaya atau berat. Alat ini biasanya digunakan dalam timbangan digital dan aplikasi pengukuran gaya lainnya. *Loadcell* ini bekerja berdasarkan prinsip deformasi elastis. Ketika gaya atau berat diaplikasikan pada *loadcell*, material dalam *loadcell* akan mengalami deformasi. Deformasi ini kemudian diubah menjadi sinyal listrik yang dapat diukur. Proses ini umumnya melibatkan penggunaan *strain gauge*. Untuk *loadcell* yang digunakan pada pengujian dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 20. Loadcell device
Sumber: Google picture

5. Modul HX711

HX711 adalah suatu komponen yang terintegrasi dari “AVIA SEMIKONDUKTOR”, memiliki presisi sebesar *24-bit Analog to Digital Converter (ADC)* didesain sebagai sensor timbangan digital maupun sebagai aplikasi industrial control yang terkoneksi dengan sensor. HX711 berfungsi sebagai modul ADC dengan mengubah resistansi yang diterima menjadi besaran tegangan. Hasil modul ini stabil, memiliki sensitivitas tinggi, dan dapat menghitung perubahan dengan cepat. Untuk modul HX711 yang digunakan pada pengujian dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Modul HX711
Sumber: Google Picture

6. Arduino

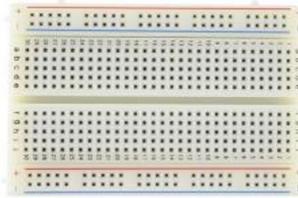
Untuk mengetahui nilai yang dikeluarkan dari sensor tersebut digunakan perangkat Arduino yang berfungsi sebagai pengendali *microcontroller* yang dapat mengatur kecepatan data yang dikeluarkan oleh *loadcell device*, perangkat arduino inilah yang dihubungkan ke laptop untuk dapat melihat hasilnya. Arduino yang digunakan ini dilengkapi dengan pengamanan arus di port USB yang berfungsi melindungi PC atau Laptop dari kerusakan. Arduino yang digunakan memiliki total 14 *pin programmable input/output* dan 6 *pin analog input*. Untuk perangkat arduino yang digunakan pada pengujian dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22. Perangkat arduino
Sumber: Google Picture

7. Breadboard

Breadboard merupakan perangkat *wiring* yang digunakan untuk membuat rangkaian elektronik. Pada penelitian ini breadboard digunakan untuk membuat rangkaian instalasi antara perangkat Arduino dengan *microcontroller* pada *loadcell device*. Untuk perangkat *breadboard* yang digunakan pada pengujian dapat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 23. Breadboard
Sumber: Google Picture

8. Rel

Rel pada penelitian ini digunakan sebagai lintasan pada proses *dropping test* kapal agar sudut pada saat kapal di jatuhkan tetap pada sudut awal. Untuk rel yang digunakan pada pengujian dapat dilihat pada Gambar 24.



Gambar 24. Rel
Sumber: Properti pengujian

9. Pemberat

Pemberat pada penelitian kali ini digunakan untuk mengkalibrasi sensor *loadcell* yang dimana akan di tempatkan diatas sensor dan sensor akan membaca berat dari pemberat yang berada di atas sensor. Untuk pemberat yang digunakan untuk mengkalibrasi sensor *loadcell* dapat dilihat pada Gambar 25.



Gambar 25. Pemberat
Sumber: Google Picture

10. Jumper Wire

Jumper Wire merupakan kabel penghubung yang digunakan untuk menghubungkan Interface Amplifier ke perangkat Arduino uno dan menghubungkan antara Interface Amplifier ke breadboard maupun perangkat Arduino uno ke *breadboard*. Untuk perangkat *jumper wire* yang digunakan pada pengujian dapat dilihat pada Gambar 26



Gambar 26. Kabel jumper type male dan female

Sumber: Google picture

2.3.2 Pembuatan Model

Model dibuat di Laboratorium Hidrodinamika Departemen Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Beberapa kebutuhan yang diperlukan selama pembuatan model dapat dilihat pada Tabel 3.

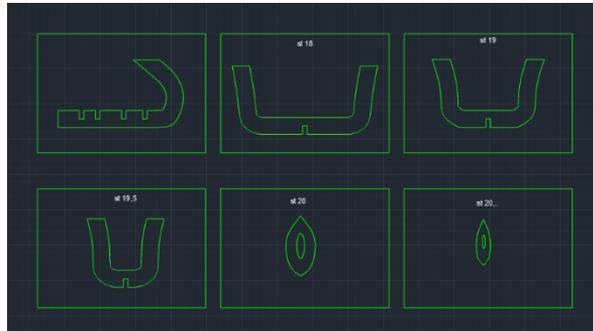
Tabel 3. Kebutuhan / material pembuatan model

No	Komponen	Satuan	Jumlah
1	Tripleks 3 mm	Lembar	1
2	Dempul	Kaleng	5
3	Cat Dasar (Abu-abu)	Kaleng	2
4	Cat kuning	Kaleng	3
5	Spidol	Buah	1
6	Kuas	Buah	2
7	Amplas	Meter	3
8	Mata Gerinda Potong	Buah	1
9	Mata Gerinda Amplas	Buah	1
10	Penggaris	Buah	1
11	Gerinda	Buah	1
12	Pisau Dempul	Pack	1
13	Pulpen	Buah	2

Sumber: Persiapan pembuatan model

Pembuatan model terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Gambar model di bagi beberapa *section (bodyplan)*, yang dimana setelah section di bagi selanjutnya diberikan ketebalan sesuai dengan ketebalan *frame* kapal untuk mendapatkan pola *frame*. *Section model* dapat dilihat pada Gambar 27.



Gambar 27. Section model
Sumber: Hasil Olah data autocad

2. Setelah gambar *bodyplan* di setiap section telah selesai selanjutnya kami mengirimkan file gambar tersebut ke tempat pemotongan otomatis menggunakan mesin *cutting* otomatis.
3. *Frame* yang telah di potong selanjutnya dilekatkan pada lunas yang telah di bentuk pula menggunakan lem. Proses pemasangan frame pada lunas dapat dilihat pada Gambar 28.



Gambar 28. Pemasangan frame pada lunas
Sumber: Proses pembuatan model

4. *Frame* yang telah direkatkan kemudian dipasangkan kulit mengikuti pola *frame* yang telah terpasang. Proses pemasangan kulit pada *frame* dapat dilihat pada Gambar 30.



Gambar 29. Pemasangan kulit pada frame
Sumber: Proses pembuatan model

5. Pada bagian luar yang telah terbentuk kemudian diberikan resin, jika sudah kering kemudian di amplas halus. Proses pemberian resin pada model kapal dapat dilihat pada Gambar 30.



Gambar 30. Proses pemberian resin pada model
Sumber: Proses pembuatan model

6. Model yang telah diampas halus kemudian diberikan dempul agar permukaan model lebih rata dan di amplas kasar dan halus sebelum di cat. Proses pemberian dempul pada model yang telah di resin dapat dilihat pada Gambar 31.



Gambar 31. Proses pemberian dempul pada model
Sumber: Proses pembuatan model

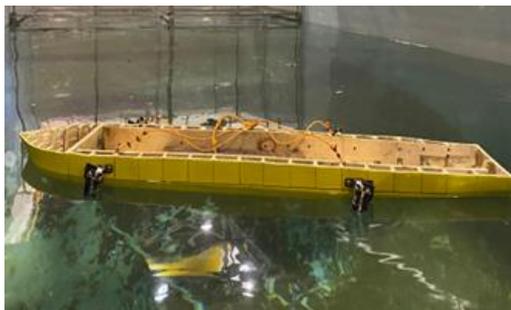
7. Pengecatan model menggunakan cat semprot warna abu-abu sebagai cat dasar model dan selanjutnya menggunakan cat semprot warna kuning

sebagai warna asli model. Proses pengecatan model dapat dilihat pada Gambar 32.



Gambar 32. Proses pengecatan model
Sumber: Proses pembuatan model

8. Penimbangan model untuk mendapatkan berat kosong model dan tes *draft* di *towing tank*. *Test draft* ini dilakukan dengan menambahkan pemberat pada model hingga kapal mencapai *full draft*. Setelah mencapai *full draft*, total berat dari pemberat ditimbang. Berat kosong model dijumlahkan dengan berat total pemberat sama dengan total *displacement* model. Proses pengujian *draft* dapat dilihat Gambar 33.



Gambar 33. Draft test
Sumber: Proses pembuatan model

2.3.3 Pembuatan Rel

Rel dibuat di Laboratorium Hidrodinamika Departemen Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Beberapa kebutuhan yang diperlukan selama pembuatan model dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kebutuhan bahan pembuatan rel

No	Komponen	Satuan	Jumlah
1	Holo 3.6 inchi	Batang	1
2	Holo 1.5 Inchi	Batang	1
3	Rel	Buah	16
4	Baut	Buah	24

5	Mur kuping	Buah	4
6	Kawat las	Kg	1
7	Mata bor	Buah	4
8	Mata Gerinda amplas	Buah	1
9	Mata gerinda	Buah	3
10	Cat Hitam	Kaleng	1
11	Ring Mur	Plastik	1
12	Tali tis	Buah	20
13	Lem Sling	Rol	1

Sumber: Persiapan pembuatan rel

Rel dalam percobaan *dropping test* memiliki fungsi penting sebagai penuntun atau jalur yang memastikan bahwa kapal yang dijatuhkan mengikuti lintasan yang diinginkan dengan konsisten. Dengan menggunakan rel, kita dapat mengontrol arah jatuhnya objek sehingga percobaan dapat dilakukan dengan lebih akurat dan presisi. Rel juga membantu mengurangi variasi atau penyimpangan sudut jatuh yang tidak diinginkan selama pengujian, sehingga hasil percobaan menjadi lebih dapat diandalkan dan dapat dibandingkan satu sama lain. Rel yang digunakan dalam penelitian kali ini dapat dilihat pada Gambar 34.



Gambar 34. Proses pemasangan kapal pada rel

Sumber: Proses pembuatan rel

2.3.4 Persiapan Pengujian

Sebelum melakukan pengujian kapal, terdapat beberapa hal yang harus dipersiapkan. Hal yang harus dipersiapkan diantaranya adalah matriks waktu pengujian, matriks kebutuhan pengujian, dan proesdur pengujian model. Masing-masing hal tersebut akan dibahas berikut ini.

1. Matriks waktu pengujian

Matriks waktu pengujian diperlukan untuk mengetahui berapa lama tiap tahapan pengujian dilakukan. Matriks waktu pengujian secara rinci disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Matriks waktu pengujian

No	Tahapan Pengujian	Waktu
Persiapan		
1	Menyalakan saklar pada sumber listrik	1 menit
2	Menyambungkan alat sensor <i>load cell</i> ke laptop	5 menit
3	Memasang/mengganti haluan pada model kapal	10 menit
4	Memasang model pada kapal pada <i>towing carriage</i>	5 menit
5	Mengatur sudut kemiringan <i>drop test</i> model kapal	5 menit
6	Membuka aplikasi <i>Arduino</i>	1 menit
Pengujian		
7	<i>Dropping Test</i>	5 jam

Sumber: Hasil olah data

2. Matriks kebutuhan pengujian

Matriks kebutuhan pengujian merupakan rincian kebutuhan yang dibutuhkan dalam pengujian ini. Matriks kebutuhan pengujian secara rinci dapat di lihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Matriks kebutuhan pengujian

No	Nama Barang	Jumlah
Model		
1	Model Kapal PANDERMAN	1 buah
Peralatan		
2	Laptop	1 buah
3	<i>Towing Carriage</i>	1 buah
4	<i>Load cell device</i>	3 buah
5	<i>Arduino</i>	1 buah
6	<i>bread board</i>	1 buah
7	<i>Jumper wire</i>	16 buah
8	kamera	2 buah
9	Beban	2 buah
10	Rel	4 buah

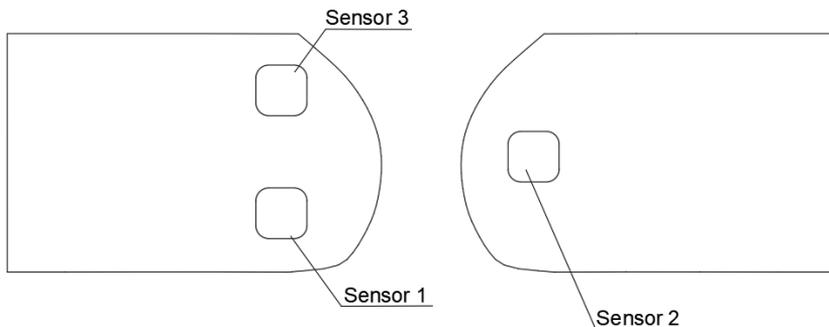
Sumber: Hasil olah data

3. Langkah Instalasi Loadcell Device pada haluan kapal
 - a. Pastikan sensor *loadcell* siap digunakan dengan memperhatikan kabel / kawat yang terhubung pada sensor, adapun sensor *loadcell* yang dimaksud pada Gambar 35.



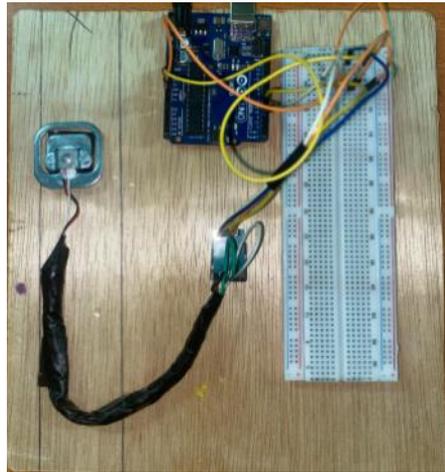
Gambar 35. Sensor loadcell
Sumber: Google picture

- b. Sensor *loadcell* ditempelkan secara zigzag pada bagian haluan kapal. letak sensor dapat dilihat pada Gambar 36.



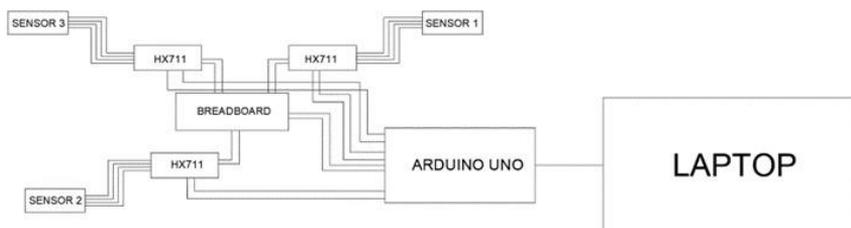
Gambar 36. Peletakan sensor
Sumber: Instalasi loadcell device di haluan

4. Sensor loadcell dihubungkan pada kabel kemudian disambungkan dengan jumper wire pada breadboard, dalam hal ini breadboard adalah, perangkat wiring yang digunakan untuk membuat rangkaian, rangkaiandapat dilihat pada Gambar 37.



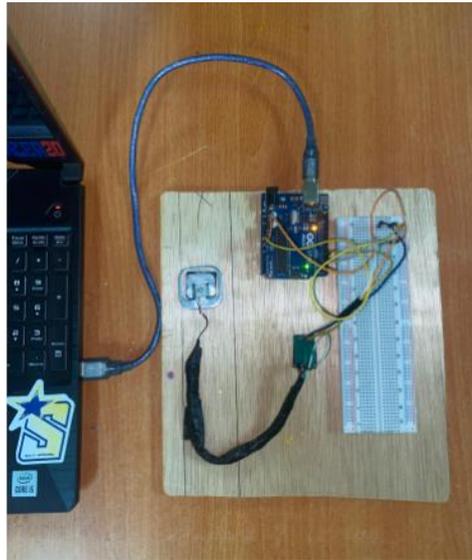
Gambar 37. Rangkaian breadboard dan loadcell
Sumber: Perakitan loadcell

Strip kiri dan strip kanan mampu meneruskan nilai yang dihasil dari microcontroller *loadcell device* ke perangkat *arduino uno*. Strip kiri memiliki besaran nilai yang sama apabila kabel penghubung dari *loadcell device* ke perangkat *arduino uno* dipasang secara vertikal di strip kiri, begitu pula sebaliknya pada strip kanan yang memiliki besaran nilai yang sama apabila kabel penghubung dari *loadcell device* ke perangkat *arduino uno* dipasang secara horizontal. Skema pemasangan sambungan instalasi dari *interface amplifier* pada *breadboard* dapat dilihat pada Gambar 38.



Gambar 38. Rangkaian arduino Uno,loadcell dan breadboard
Sumber: Perakitan loadcell

- d. Arduino uno dihubungkan dengan laptop yang digunakan untuk merekam dan mengolah data, *Arduino uno* yang telah terhubung dengan laptop dapat dilihat pada Gambar 39.



Gambar 39. Rangkaian arduino uno yang disambungkan pada laptop
Sumber: Perakitan loadcell

2.3.5 Prosedur Pengujian Model

Sebelum melakukan Pengujian perilaku kapal di towing tank perlu dilakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Jumlah air di towing tank cukup untuk melakukan pengujian. Kondisi kolam yang bersih dan tidak ada kotoran yang dapat mempengaruhi hasil pengujian.
2. Aplikasi arduino dan semua sensor dapat terbaca.
3. Komputer dalam kondisi baik dan siap untuk digunakan.

Setelah melakukan beberapa tahapan untuk memastikan perilaku kapal di towing tank selanjutnya akan dilakukakan pengukuran tekanan kapal melalui prosedur pengujian yang terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Persiapan Hardware:
 - Rangkaian *loadcell*
Hubungkan *loadcell* ke modul HX711 Loadcell Amplifier sesuai dengan petunjuk sebagai berikut:
 - E+ (Merah) ke E+ (HX711)
 - E- (Hitam) ke E- (HX711)
 - A+ (Putih) ke A+ (HX711)
 - (Hijau) ke A- (HX711)
 Hubungkan HX711 ke *arduino uno* dengan bantuan *breadboard*
 - VCC HX711 ke 5V, untuk menghubungkan dua sensor atau lebih maka wiring harus terhubung ke breadboard dengan pemasangan sebaris.
 - GND HX711 ke GND pada arduino

- DT HX711 1 terhubung pada pin 3 arduino
- DT HX711 2 terhubung pada pin 5 arduino
- SC HX711 1 terhubung pada pin 2 arduino
- SC HX711 2 terhubung pada pin 4 arduino

2. Persiapan Software

- Program Arduino

Buat sketch baru di Arduino IDE dan Masukkan Kode Berikut:

```
- #include "HX711.h" //You must have this library in your
  arduino library folder
-
- #define DOUT 3
- #define CLK 2
- #define DOUT1 5
- #define CLK1 4
- HX711 scale1 (DOUT, CLK);
- HX711 scale2 (DOUT1, CLK1);
-
- //Change this calibration factor as per your load cell once
  it is found you many need to vary it in thousands
-
-
- //=====
  =====
- //                               SETUP
- //=====
  =====
- void setup() {
-   Serial.begin(115200);
-   Serial.println("Press T to tare");
-   scale1.set_scale(-99210); //-105210//Calibration Factor
  obtained from first sketch
-   scale2.set_scale(-99210);
-   scale1.tare(); //Reset the scale to 0
-   scale2.tare();
- }
-
- //=====
  =====
- //                               LOOP
```

```

- //=====
- =====
- void loop() {
-   Serial.print("Weight: ");
-   Serial.print(scale1.get_units(), 2); //Up to 3 decimal
pointsfrf
-   Serial.print(" kg \t");
-   Serial.print("Weight: ");
-   Serial.print(scale2.get_units(), 2);
-   Serial.println(" kg"); //Change this to kg and re-adjust
the calibration factor if you follow lbs
-
-   if(Serial.available())
-   {
-     char temp = Serial.read();
-     if(temp == 't' || temp == 'T')
-       scale1.tare();
-       scale2.tare(); //Reset the scale to zero
-   }
-
- }

```

Lalu upload kode ke *arduino*

3. Persiapan *Dropping Test*

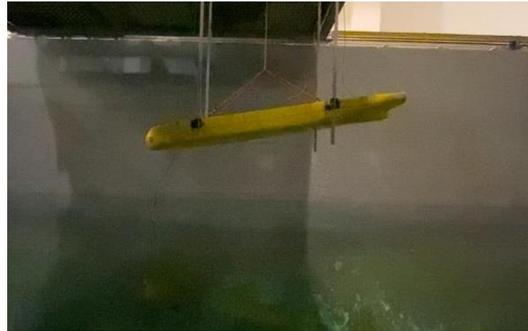
- Tempatkan *loadcell* pada tempat yang akan menerima dampak dari *dropping test*.
- Pasang model kapal atau bagian kapal yang akan diuji pada rel. Kapal yang telah terpasang pada rel dapat dilihat pada Gambar 40.



Gambar 40. Pemasangan model pada rel yang akan di uji
Sumber: Proses pengujian model

4. Pelaksanaan Dropping Test

- Angkat model kapal dengan mekanisme pengangkatan ke ketinggian tertentu yakni 0,3 meter. Posisi kapal dapat dilihat pada Gambar 41.



Gambar 41.Keadaan kapal pada ketinggian 30 cm
Sumber: Proses pengujian model

- Jalankan Arduino untuk mulai mengukur berat (bacaannya akan terlihat di Serial Monitor). Pembacaan sensor dapat dilihat pada Gambar 42.

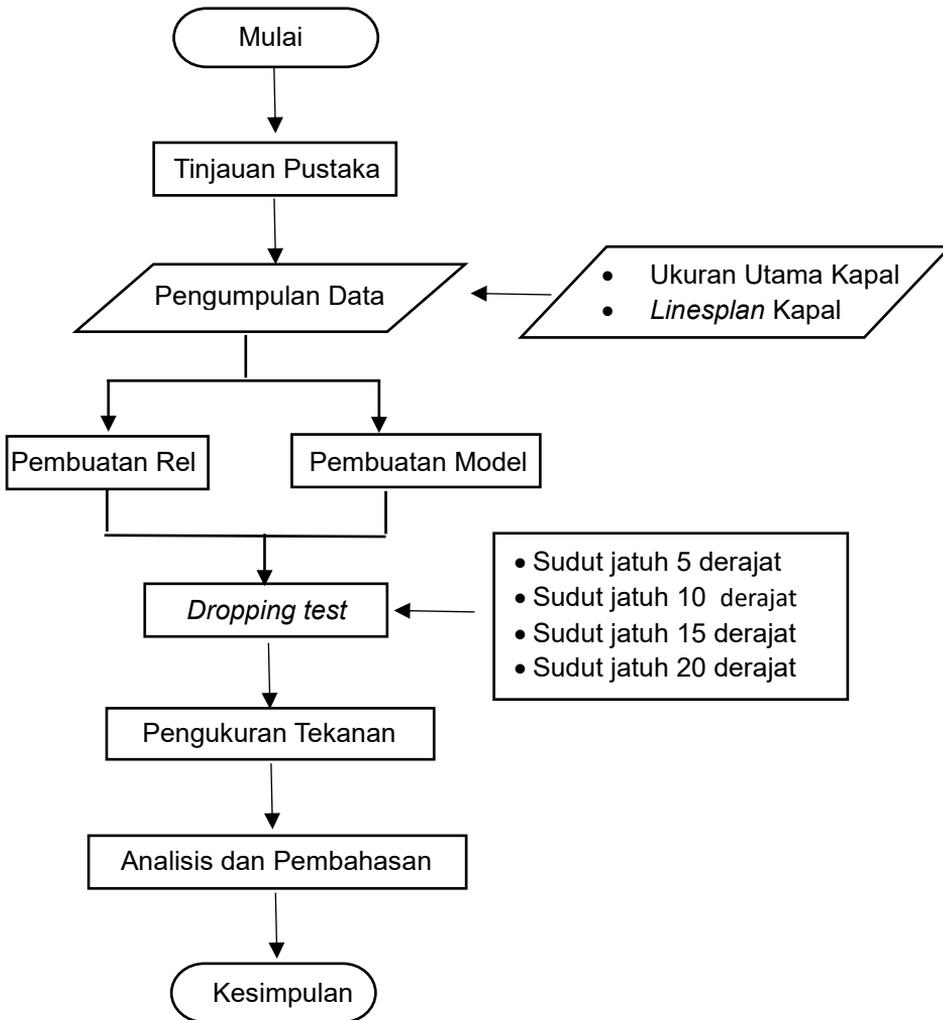


Gambar 42. Software arduino uno
Sumber: Proses pengujian model

- Lepaskan model kapal ke air sehingga jatuh loadcell akan membaca tekanan yang terjadi pada kapal. Proses pelepasan kapal dapat dilihat pada Gambar 43.

2.4 Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran merupakan alur dari proses penelitian yang akan membantu dalam menyelesaikan penelitian ini. Adapun kerangka berpikir dari penelitian ini dapat digambarkan dalam bentuk diagram alur (Flowchart) seperti pada gambar 45.



Gambar 45. Kerangka Pemikiran