

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Seiring berjalannya waktu, industri perkapalan telah mengalami transformasi teknologi yang signifikan. Dari kapal kayu tradisional hingga sampai kapal baja modern dan desain kapal terutamanya pada haluan kapal menjadi semakin penting dalam menghadapi tantangan di lautan ketika kapal mengalami dampak kuat dari gelombang air laut (*Slamming*) yang menyebabkan suara keras dan getaran pada struktur kapal.

Pada saat kapal berlayar dilautan, tidak menutup kemungkinan terjadi *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 *impact pressure* yang kuat pada bagian haluan kapal, dan ini dapat memiliki dampak signifikan terhadap keamanan operasional. Linggi haluan yang menggunakan *bulbous bow*, sebagai elemen desain yang menonjol di bagian haluan kapal, memiliki peran penting dalam merespons interaksi kapal dengan air. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana kemiringan linggi haluan yang menggunakan *bulbous bow* mempengaruhi distribusi tekanan pada permukaan kapal.

Nova dkk. (2017) membahas penggunaan berbagai tipe *bulbous bow* untuk mengurangi efek *slamming* pada kapal perintis 750 DWT. Penelitian ini menunjukkan bahwa *bulbous bow* tipe Delta (Δ) memberikan probabilitas *slamming* terendah dibandingkan dengan tipe lainnya, seperti tipe Ellips dan Nabla, sehingga meningkatkan kenyamanan dan keselamatan pelayaran.

Hagiwara, K & Yuhara, T. (1974) mendeskripsikan, bahwasanya 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 memberikan wawasan tentang beban *slamming* yang bekerja pada haluan 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.

Pentingnya penelitian ini terletak pada kontribusinya terhadap pengembangan desain haluan kapal yang lebih efisien dan aman. Hasil dari penelitian ini dapat menjadi landasan untuk merekomendasikan perubahan dalam desain linggi haluan kapal yang dapat mengurangi tekanan hidrodinamika.

1.2. Teori

1.2.1. 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 nonterestrial. Hukum gravitasi Newton mendalihkan 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 ($9,81 \text{ m/s}^2$)

1.2.2. 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:

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

Dimana:

- v_t = Kecepatan benda (m/s)
- g = Percepatan gravitasi bumi (m/s^2)
- 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 ($9,81 m/s^2$)
- 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).

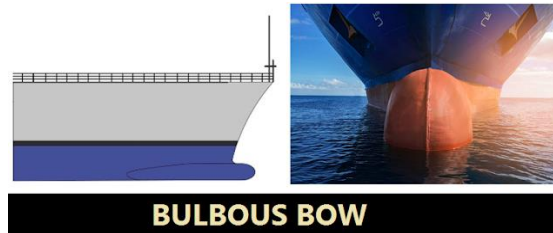
1.2.3. Dropping Test

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 (Gaffar, 2021).

1.2.4. Bulbous Bow

Bulbous bow adalah bagian kapal yang terletak di bawah garis air lambung kapal terintegrasi dengan konstruksi lambung. Bulbous bow pertama kali diperkenalkan pada tahun 1912 oleh angkatan laut Amerika Serikat, yang mana pada mulanya diperkenalkan oleh David Taylor. tipe haluan yang seperti ini paling sering ditemui di banyak kapal karena keuntungannya dalam mengurangi hambatan yang dihasilkan selama kapal sedang berlayar yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Haluan kapal Bulbous Bow
Sumber : Ilmu kapal dan logistik, 2023

1.2.5. Teori Slamming

1.2.5.1. 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).

1.2.5.2. 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 danambung 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).

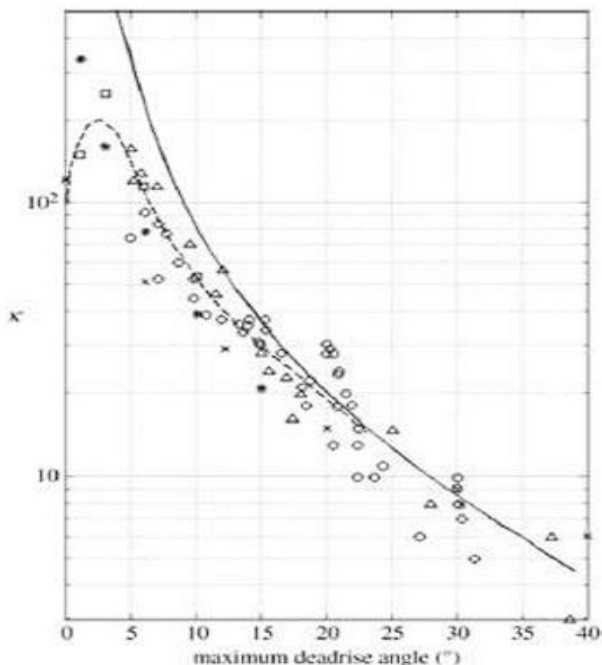
1.2.6. Fenomena Slamming

Fenomena *slamming* ditandai dengan durasi yang relatif singkat. Fenomena ini terjadi ketika sebuah benda masuk ke dalam air dengan sudut yang relatif kecil antara permukaan benda dan permukaan air yang dapat dilihat pada Gambar 2. Penjelasan klasik mengenai tekanan tinggi dengan kekuatan yang dihasilkan merupakan akselerasi antar cairan dan permukaan benda (Himaya, 2016).



Gambar 2. Fenomena slamming
Sumber : Veen, 2010

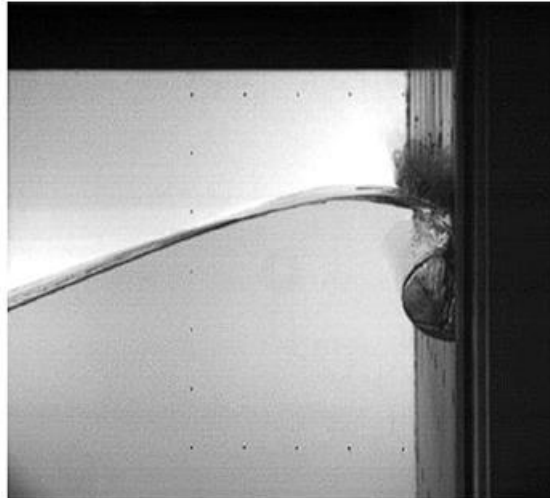
Dampak tekanan sangat bergantung pada sudut relatif antara benda dan permukaan cairan. Dampak ini telah dibuktikan melalui percobaan dengan menjatuhkan *wedges* dengan *deadrise* bervariasi. Khususnya ketika sudut relative kecil, tekanan meningkat tajam, seperti yang diilustrasikan pada Gambar3. Bila sudut relatif sangat rendah, di bawah 5 Derajat, 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 3. Koefisien tekanan puncak $k = (p/(1/2\rho v^2))$ dari benda dua dan tiga dimensi sebagai fungsi dari 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 derajat, maka secara umum berlaku Hukum *Froude*. Untuk *flat impact*, jika sudut relatif lebih kecil dari 5 derajat, tekanan udara mempengaruhi tekanan *slamming*, yang berarti bahwa tekanan *ambient* harus dikurangi untuk tes skala yang dapat dilihat pada Gambar 4. Meskipun ini akan meningkatkan kesamaan fenomena selama pegujian skala dan pada skala penuh (Himaya, 2016).



Gambar 4. Penutup udara selama benturan datar dari gelombang yang pecah terhadap dinding vertikal

Sumber: Himaya, 2016

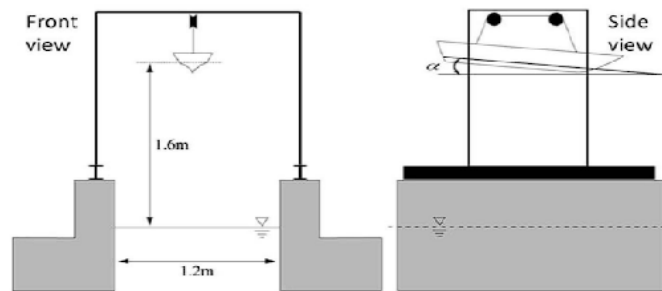
1.2.7. Slamming Experiment

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.

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.

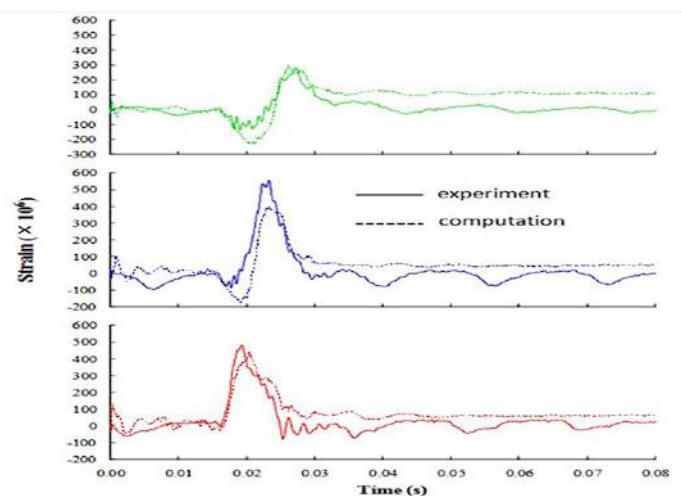
Dallinga. (2006) dalam penelitiannya, sebuah kapal kontainer dimodelkan dengan skala 1:26,7 yang mewakili 200 m ukuran panjang kapal kontainer yang sebenarnya. Hasil penelitian ini ditujukan untuk mengetahui respon badan kapal terhadap adanya *slamming* dan pengaruhnya terhadap operasional kapal dan kesimpulan dari penelitian ini merupakan sifat statistik dari respon badan kapal itu sendiri terhadap tekanan yang disebabkan oleh *slamming*. Meskipun menarik, statistik gabungan dari tubuh yang kaku dan respons cambuk mengatur secara praktis konsekuensi dari membanting dalam hal misalnya beban cambukan. Efeknya diperoleh dengan mencari maksimum dalam sinyal total dalam (berdasarkan waktu) kedekatan maksimum dari akselerasi benda tegar. Gambar 4 menunjukkan prosedur analisis. Keuntungan konseptual dari prosedur ini adalah fakta bahwa masalah mengidentifikasi jumlah “peristiwa” bantingan dielakkan.

Baso. (2014) 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 5.



Gambar 5. 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 5.



Gambar 6. Perbandingan nilai tegangan pada perhitungan dan percobaan
Sumber : Baso, 2010

1.2.8. Teori Hukum Kesamaan Geometris

Hukum kesamaan geometris adalah prinsip yang digunakan dalam teknik dan ilmu fisika untuk memahami hubungan antara model skala dan objek aslinya. Hukum ini penting untuk eksperimen yang melibatkan model skala, seperti dalam pengujian hidrodinamika.

Dalam praktiknya, hukum kesamaan geometris dan prinsip hidrodinamika digunakan untuk mengembangkan desain kapal yang lebih efisien dan aman. Ini mencakup pengujian model skala, analisis aliran air, termasuk respon kapal terhadap gelombang untuk memastikan bahwa kapal dapat beroperasi dengan baik di berbagai kondisi laut.

1.2.9. Teori Skala

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

A. 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

B. 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.

C. Skala pengecilan

Skala pengecilan digunakan bilamana gambar yang dibuat lebih kecil daripada gambar yang sebenarnya, Penunjukkannya adalah $1:x$. Adapundaftar 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 dan1: 10000.

1.3. Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian ini adalah:

Menentukan besar tekanan pada haluan kapal yang menggunakan bulbous bow pada kondisi *slamming* di setiap kemiringan linggi haluan kapal.

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Menjadi bahan acuan dalam mendesain linggi haluan oleh para desainer kapal
- 2) Sebagai bahan pertimbangan bagi para *owner* dan perusahaan pelayaran dalam mengoperasikan kapal.
- 3) Sebagai referensi dan acuan untuk penelitian selanjutnya.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidrodinamika Kapal Departemen Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penelitian dilaksanakan terhitung mulai bulan Desember 2023 sampai Desember 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 perubahan sudut linggi haluan kapal akibat tekanan yang diperoleh dari *dropping test* pada sudut jatuh yang berbeda dengan menggunakan sensor *loadcell*.
- 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 yang dapat di lihat pada Tabel 1 dan gambar linesplan kapal dapat dilihat pada Gambar 7.

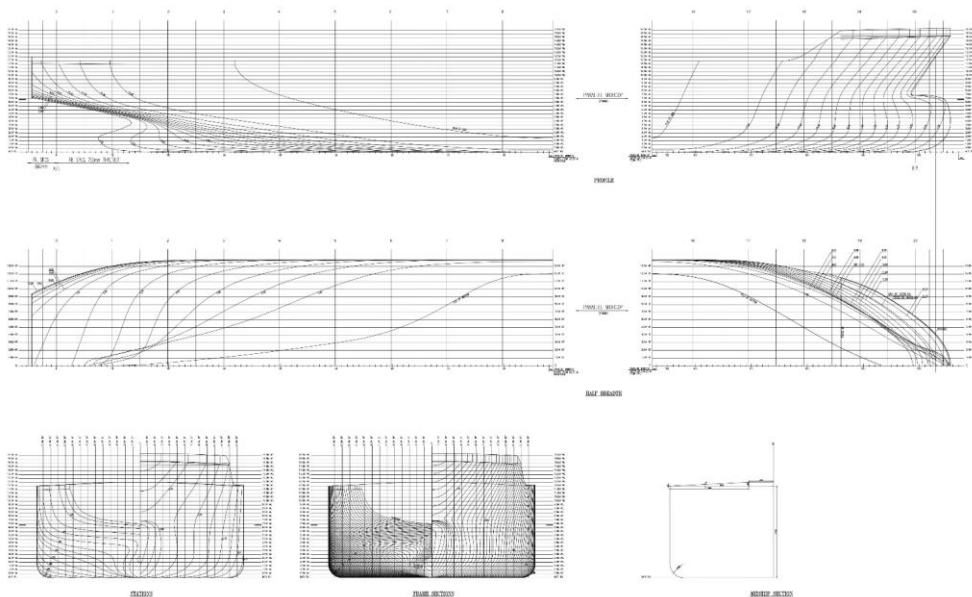
Tabel 1. Ukuran utama kapal

No	Ukuran utama	Nilai	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

Adapun ukuran model pada skala 1:100 ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Ukuran utama kapal skala 1:100

No	Ukuran utama	Nilai	Satuan
1	Length overall	1,58	m
2	Length between perpendicular	1,50	m
3	Breadth	0,28	m
4	Depth	0,12	m
5	Draught	0,07	m



Gambar 7. Linesplan model model kapal yang digunakan pada penelitian 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 impact pada kapal dan bagaimana sudut linggi haluan memengaruhi distribusi tekanan tersebut. Tekanan impact 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 impact 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

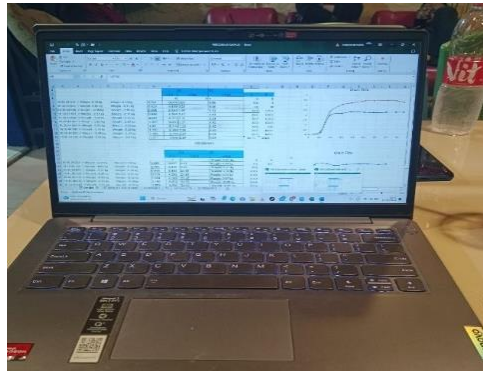
Jenis Penelitian ini berbasis eksperimen laboratorium, yaitu melakukan pengujian model yang bertujuan untuk mengetahui nilai tekanan pada linggi haluan kapal yang menggunakan bulbous bow diberbagai sudut dengan cara *dropping test* pada tangki percobaan dengan menggunakan bantuan beberapa komponen-komponen 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 yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

1) Laptop

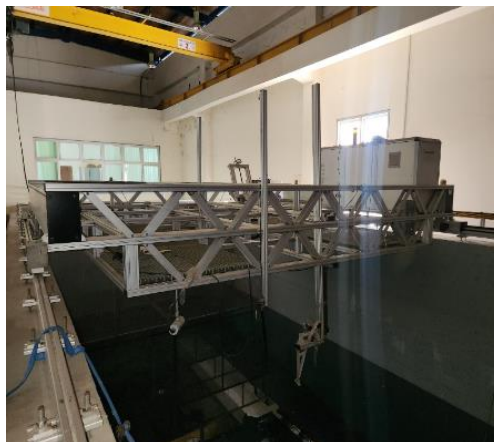
Dalam penelitian ini laptop digunakan sebagai perangkat untuk mencatat hasil yang didapat yang dihubungkan dengan Arduino Uno, selain itu laptop juga digunakan untuk mengolah data yang didapatkan serta mengolah semua aplikasi *software* yang digunakan selama penelitian ini berlangsung yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Laptop
Sumber: Properti pengujian

2) Towing Carriage

Pada penelitian ini *Towing carriage* dijadikan sebagai rangka pengujian model ketika *dropping test* dilakukan. Adapun *Towing carriage* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. 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 yang dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Towing tank
Sumber: Properti pengujian

4) *Load cell Device*

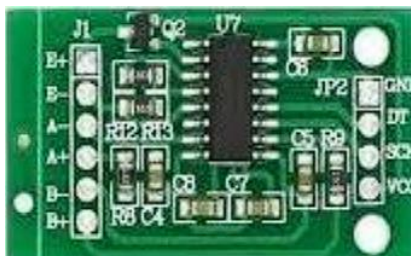
Load Cell Device adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur gaya atau berat. Alat ini biasanya digunakan dalam timbangan digital dan aplikasi pengukuran gaya lainnya. *Load Cell* ini bekerja berdasarkan prinsip deformasi elastis. Ketika gaya atau berat diaplikasikan pada *Load Cell*, material dalam *Load cell* akan mengalami deformasi. Deformasi ini kemudian diubah menjadi sinyal listrik yang dapat diukur. Contoh *Loadcell* yang digunakan dalam percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Loadcell device
Sumber : Google picture

5) Modul HX711

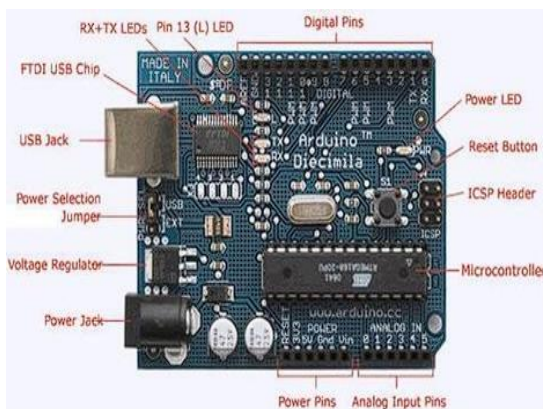
Modul HX711 berfungsi sebagai modul ADC dengan mengubah resistansi yang diterima menjadi besaran tegangan. Hasil modul ini stabil, memiliki sensitivitas tinggi, dan dapat menghitung perubahan dengan cepat. Modul HX711 yang dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Modul HX711
Sumber: Properti Pengujian

6) Arduino

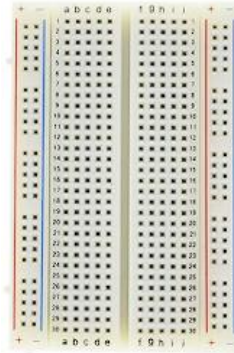
Untuk mengetahui nilai yang dikeluarkan dari sensor tersebut digunakan perangkat Arduino yang berfungsi sebagai pengendali *microcontroller* yang dapat mengatur kecepatan data yang dikeluarkan oleh *load cell device* perangkat Arduino inilah yang dihubungkan ke laptop untuk dapat melihat hasilnya. Arduino yang digunakan ini dilengkapi dengan pengaman 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*. Arduino yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 13. 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 *load cell device* dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Breadboard

Sumber: Google picture

8) Pemberat

Pemberat pada penelitian kali ini digunakan untuk mengkalibrasi sensor *load cell* yang dimana akan di tempatkan diatas sensor dan sensor akan membaca berat dari pemberat yang berada di atas sensor. Pemberat yang digunakan dalam percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Pemberat

Sumber: Google picture

9) Jumper wire

Jumper wire merupakan kabel penghubung yang digunakan untuk menghubungkan Interface Amplifier ke perangkat Arduino Mega dan menghubungkan antara Interface Amplifier ke breadboard maupun perangkat Arduino Mega ke breadboard. Jumper wire yang digunakan dalam percobaan kali ini dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Jumper wire

Sumber: Properti pengujian

2.3.2. Pembuatan Model

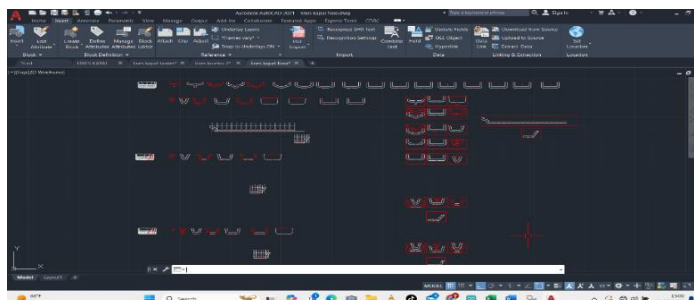
Model dibuat di Laboratorium Hidrodinamika Departemen Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Beberapa kebutuhan yang diperlukan selama pembuatan model dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Kebutuhan bahan 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

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*.



Gambar 17. Section model

Sumber: Hasil olah data

2. Setelah gambar *bodyplan* di setiap section telah selesai selanjutnya kami mengirimkan file gambar tersebut ke tempat pemotongan otomatis menggunakan mesin *cutting* otomatis.

3. *Section* yang telah dipotong selanjutnya di bentuk sesuai nomor *frame*. *Frame* yang telah di potong selanjutnya dilekatkan pada lunas yang telah di bentuk pula menggunakan lem. Pemasangan/ perekatan *frame* dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Pemasangan *frame*

Sumber: Pembuatan model

4. *Frame* yang telah direkatkan kemudian dipasangkan kulit mengikuti pola *frame* yang telah terpasang. Model yang telah dilakukan pemasangan kulit dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Pemasangan kulit

Sumber: Pembuatan model

5. Pada bagian luar yang telah terbentuk kemudian diberikan resin. Model yang telah diberikan resin dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 20. Pemberian resin

Sumber: Pembuatan model

- Setelah diberikan resin pada bagian luar, kemudian model di amplas halus. Model yang telah diampas halus kemudian diberikan dempul secara merata. Setelah diberikan dempul kemudian di amplas kasar dan halus. Model yang telah diberikan dempul dapat dilihat pada Gambar 21.



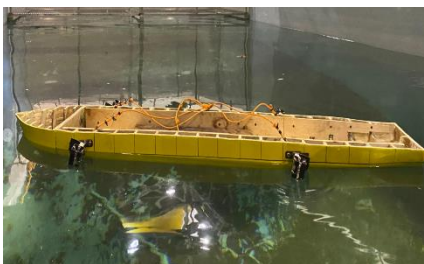
Gambar 21. Pemberian dempul.
Sumber: Pembuatan model

- Pengecatan model menggunakan cat semprot warna abu-abu sebagai cat dasar model dan selanjutnya menggunakan cat semprot warna kuning sebagai warna asli model. Model yang telah diberikan warna/ cat dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22. Pengecatan model
Sumber: Pembuatan model

- 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. *Draft test* dapat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 23. Draft test
Sumber: Hasil olah data

2.3.3. Pembuatan Rel

Rel dibuat di Laboratorium Hidrodinamika Departemen Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Beberapa kebutuhan yang diperlukan selama pembuatan rel 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

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 dan kecepatan jatuhnya objek sehingga percobaan dapat dilakukan dengan lebih akurat dan presisi. Rel juga membantu mengurangi variasi atau penyimpangan 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 24.



Gambar 24. Rel

Sumber: Properti pengujian

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 prosedur pengujian model. Masing-masing hal tersebut akan dibahas berikut ini.

A. 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

B. 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.

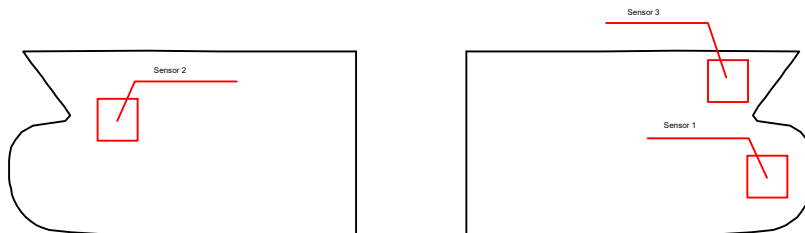
Tabel 6. Matriks kebutuhan pengujian

No	Nama Barang	Jumlah
Model		
1	Model Kapal	1 buah
Peralatan		
2	Laptop	1 buah
3	<i>Towing Carriage</i>	1 buah
4	<i>Load cell device</i>	2 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	Rell	4 buah

C. Langkah Instalasi *Loadcell Device* pada haluan kapal

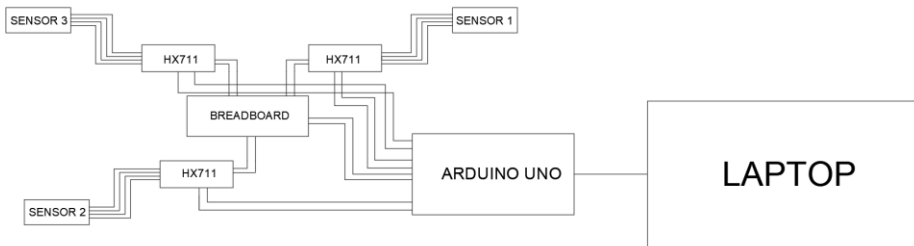
Untuk instalasi *Loadcell Device* pada haluan kapal dapat dilakukan dengan langkah-langkah dibawah ini:

- Pastikan sensor *load cell* siap digunakan dengan memperhatikan kabel/kawat yang terhubung pada sensor.
- Sensor *Loadcell* ditempelkan secara zigzag pada bagian haluan kapal. Diletak sensor dapat dilihat pada Gambar 25.

**Gambar 25.** Peletakan sensor

Sumber: Hasil olah data

- Sensor *loadcell* dihubungkan pada kabel kemudian disambungkan dengan *jumper wire* pada *breadboard*, dalam hal ini breadboard adalah, skema rangkaian sensor dapat dilihat pada Gambar 26.



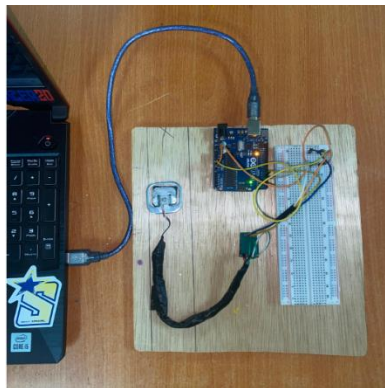
Gambar 26. Skema rangkaian sensor *Loadcell* ke laptop

Sumber: Hasil olah data

Strip kiri dan strip kanan mampu meneruskan nilai yang dihasil dari *microcontroller loadcell device* ke perangkat arduino. Strip kiri memiliki besaran nilai yang sama apabila kabel penghubung dari *loadcell device* ke perangkat Arduino 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 dipasang secara horizontal.

d. *Breadboard* dihubungkan ke *arduino uno*

e. *Arduino uno* dihubungkan dengan laptop yang digunakan untuk merekam dan mengolah data yang dapat dilihat pada Gambar 28.



Gambar 27. Rangkaian arduino uno yang dihubungkan pada laptop

Sumber: Hasil olah data

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)
 - A- (Hijau) ke A- (HX711)
 - Hubungkan HX711 ke Arduino 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:

```
#define DOUT 3
#define CLK 2
#define DOUT1 5
#define CLK1 4
#define DOUT2 8
#define CLK2 9
HX711 scale1 (DOUT, CLK);
HX711 scale2 (DOUT1, CLK1);
HX711 scale3 (DOUT2, CLK2);
```

//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(-1005210); //-105210//Calibration Factor obtained from first
sketch
  scale2.set_scale(-97210);
  scale3.set_scale(-10210);
  scale1.tare(); //Reset the scale to 0
  scale2.tare();
  scale3.tare();
}

//=====
// LOOP
//=====
void loop() {
  Serial.print("Weight_1: ");
  Serial.print(scale1.get_units(), 3); //Up to 3 decimal pointsfrf
  Serial.print(" kg ");
  Serial.print("Weight_2: ");
  Serial.print(scale2.get_units(), 3);
  Serial.println(" kg"); //Change this to kg and re-adjust the calibration factor if you
follow lbs
  Serial.print("Weight_3: ");
  Serial.print(scale3.get_units(), 3);
  Serial.println(" kg");
  if(Serial.available())
  {
    char temp = Serial.read();
    if(temp == 't' || temp == 'T')
      scale1.tare();
      scale2.tare(); //Reset the scale to zero
      scale3.tare();
  }
}

```

- 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 yang dapat dilihat pada Gambar 28.

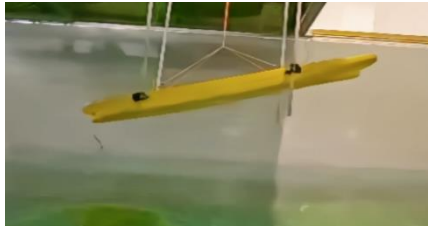


Gambar 28. Pemasangan model pada rel yang akan di uji

Sumbe: Hasil olah data

4) Pelaksanaan Dropping Test

- Angkat model kapal dengan mekanisme pengangkatan ke ketinggian tertentu yakni 30 cm yang dapat dilihat pada Gambar 29.



Gambar 29. Keadaan kapal pada ketinggian 30 cm

Sumber: Hasil olah data

- Jalankan Arduino untuk mulai mengukur berat (bacaannya akan terlihat di Serial Monitor). Proses ini dapat dilihat pada Gambar 31.

A screenshot of the Arduino IDE Serial Monitor window. The window title is 'Serial Monitor'. The code in the editor includes comments and setup for a scale. The Serial Monitor output shows a series of weight measurements in kilograms, such as '0.000 kg', '-0.000 kg', and '-0.000 kg'. The system tray at the bottom shows the time as 14:41 and the date as 22/08/2024.

```
Serial.println(152000);  
Serial.println("Press F to start");  
scale.set_scale(1800000); //180000 calibration factor obtained from first weigh  
scale.set_scale(97500);  
scale.set_scale(-1800000);  
scale tare();  
//Reset the scale to 0  
scale.tare();  
scale.tare();  
scale.tare();
```

Message from send message to Arduino Uno on COM9:

```
0:27:12.476 -> Weigh: 0.000 kg  
0:27:12.520 -> Weigh: 0.000 kg  
0:27:12.565 -> Weigh: 0.000 kg  
0:27:12.609 -> Weigh: 0.000 kg  
0:27:12.654 -> Weigh: 0.000 kg  
0:27:12.698 -> Weigh: 0.000 kg  
0:27:12.743 -> Weigh: 0.000 kg  
0:27:12.787 -> Weigh: 0.000 kg  
0:27:12.831 -> Weigh: 0.000 kg  
0:27:12.876 -> Weigh: 0.000 kg  
0:27:12.920 -> Weigh: 0.000 kg  
0:27:12.965 -> Weigh: 0.000 kg  
0:27:13.009 -> Weigh: 0.000 kg  
0:27:13.054 -> Weigh: 0.000 kg  
0:27:13.098 -> Weigh: 0.000 kg  
0:27:13.143 -> Weigh: 0.000 kg
```

Gambar 30. Software arduino uno

Sumber : Hasil olah data

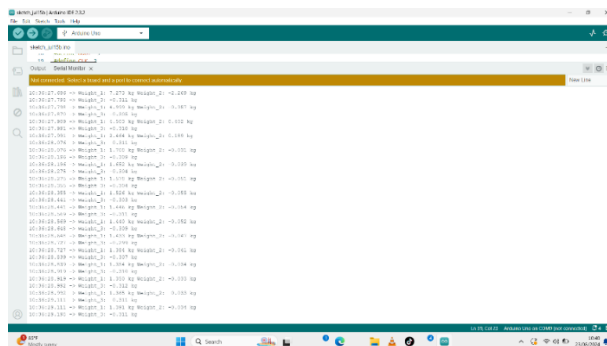
- Lepaskan model kapal ke air sehingga jatuh loadcell akan membaca tekanan yang terjadi pada kapal yang dapat dilihat pada Gambar 31.



Gambar 31. Proses pelepasan kapal

Sumber : Hasil olah data

- Amati perubahan berat yang tercatat oleh Arduino di Serial Monitor yang dapat dilihat pada Gambar 32.



Gambar 32. Hasil pembacaan sensor

Sumber : Hasil olah data

5) Analisis data

- Catat bacaan dari Serial Monitor setiap kali terjadi dampak.
- Analisis data untuk menentukan dampak yang diterima oleh model kapal.
- Lakukan beberapa kali uji untuk mendapatkan data yang konsisten dan akurat

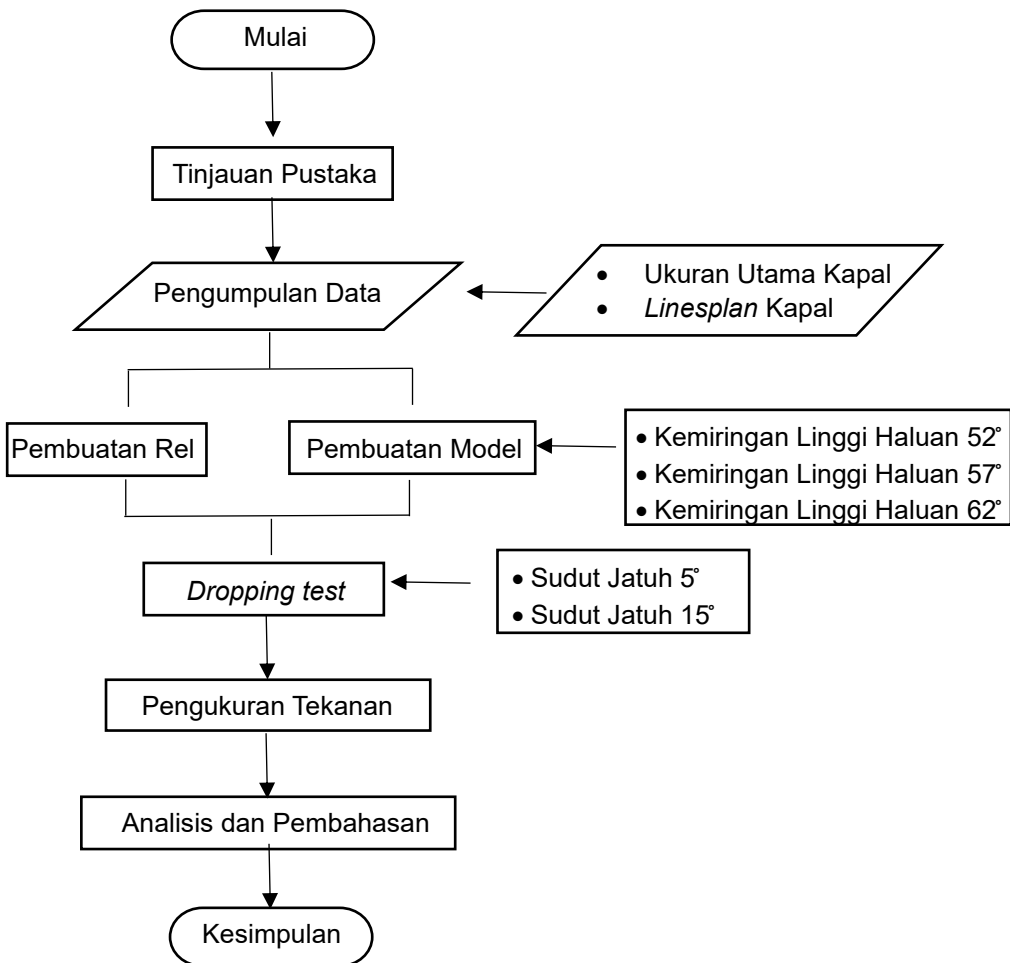
2.3.6. Analisis Data

Setelah pengujian model, dilakukan analisis data dengan tahapan sebagai berikut:

- a) Hasil dari pengujian dropping test model di towing tank adalah tekanan dan tegangan total model terhadap waktu (s).
- b) Nilai tekanan dan tegangan total model terhadap waktu (s) kemudian dibuat menjadi grafik tekanan terhadap nilai peningkatan sudut kemiringan model. Hal ini dilakukan untuk melihat bagaimana pengaruh perilaku badan kapal terhadap variasi sudut dropping test model

2.4. Kerangka Pemikiran

Kerangka berpikir 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 33.



Gambar 33. Kerangka pemikiran