

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan ilmu dan teknologi sangat berperan penting dalam bidang industri, khususnya dalam industri perkapalan. Industri perkapalan menjadi salah satu sektor penting dalam dunia kemaritiman dengan berbagai kontribusi yang signifikan. Perubahan industri kapal yang tadinya dari kapal kayu menjadi kapal baja menjadi keuntungan besar bagi dunia kemaritiman. Dalam mendesain sebuah kapal, salah satu hal yang perlu diperhatikan adalah haluan kapal. Haluan kapal menjadi sangat penting karena haluan kapal merupakan bagian kapal yang pertama kali berinteraksi dengan air selama pelayaran.

Kapal-kapal yang berlayar di lautan sering kali menghadapi potensi untuk mengalami *fenomena slamming*. *Slamming* bisa terjadi pada berbagai jenis kapal, termasuk kapal perang, kargo, pesiar, ikan dan lain-lainnya. *Slamming* adalah fenomena yang terjadi pada saat bagian haluan kapal naik melewati permukaan gelombang dan masuk kembali ke permukaan air dengan kecepatan tinggi. *Slamming* bisa terjadi pada kapal cepat ukuran kecil, yang dimana pada saat kapal melaju dengan kecepatan tinggi, bagian bawah dan haluan kapal menghantam gelombang yang dapat menyebabkan guncangan atau pun getaran yang dapat merusak struktur pada kapal. Ada berbagai macam posisi *slamming* yang dapat terjadi pada kapal diantaranya *bottom slamming*, *stern slamming*, *bow slamming*, *transversal slamming* dan *vertical slamming*. Namun pada umumnya *slamming* sering terjadi pada bagian haluan (*bow*) kapal yang di mana haluan kapal merupakan bagian yang pertama kali bersentuhan dengan gelombang atau air pada saat kapal berlayar di lautan. *Slamming* dapat menyebabkan *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 menahan beban yang terjadi pada saat kondisi *slamming*. Kondisi tersebut berpengaruh pada keselamatan operasi dan kekuatan struktur kapal serta dapat mengakibatkan tarikan pada plat bagian haluan dan deformasi pada member pendukung struktur haluan. Akan tetapi kerusakan yang sering terjadi akibat *slamming* adalah terjadinya patahan pada struktur kapal. penelitian ini bertujuan untuk menentukan berapa besar tekanan pada haluan kapal katamaran asimetris lambung *flat side outside* pada kondisi *slamming* di setiap kemiringan sudut jatuh haluan kapal melalui percobaan model.

Hagiwara, K & Yuhara, T (1974), telah melakukan penelitian "*Fundamental Study Of Wave Impact Loads On Ship Bows (1st Report)*" dimana 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 maksimum akan meningkat sekitar kuadrat dari 2 kecepatan impact relatif dan lebih dipengaruhi oleh sudut relatif antara gelombang haluan dan gelombang lambung dari pada radius lengkungan linggi haluan.

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

Berdasarkan penelitian tersebut maka, peneliti tertarik melakukan penelitian serupa yaitu menginvestigasi tekanan atau *water impact* yang diakibatkan slamming namun berfokus pada bagian linggi haluan kapal katamaran asimetris lambung *flat side outside* dengan mempertimbangkan parameter seperti beberapa sudut kemiringan dan bentuk struktur kapal itu sendiri. Pada percobaan ini peneliti menggunakan data ukuran utama kapal dari *Alexandria Engineering Journal* dengan model kapal katamaran skala 1:11,43. Sehingga peneliti mengangkat judul **“Studi Impact Pressure Pada Linggi Haluan Kapal Katamaran Asimetris Lambung Flat side Outside Dalam Berbagai Sudut Jatuh Melalui Percobaan Model”**.

1.2. Teori

1.2.1. Katamaran

Katamaran merupakan kapal dengan dua lambung kembar yang dihubungkan dengan struktur *bridging*. Dengan bentuk badan kapal katamaran yang memiliki dua lambung maka kapal jenis ini memiliki stabilitas yang cukup baik, selain itu luas permukaan kapal yang tercelup air relatif kecil sehingga memiliki sarat yang kecil pula. Katamaran mempunyai garis air lambung yang sangat ramping dengan tujuan untuk memperoleh hambatan yang rendah. Penentuan ketinggian struktur bagian atas badan kapal dari permukaan air merupakan fungsi dari tinggi gelombang dari rute pelayaran yang dilalui. Kombinasi luas deck yang besar dan berat kapal kosong yang rendah membuat kapal tipe ini dapat diandalkan untuk melayani transportasi muatan antar kota maupun untuk pariwisata. Katamaran memiliki beberapa kelebihan maupun kekurangan jika dibandingkan dengan kapal *monohull* (Muk-Pavic, 2006).

Adapun kelebihan dari kapal katamaran:

- a. Pada kapal dengan lebar yang sama tahanan gesek katamaran lebih kecil, sehingga pada tenaga dorong yang sama kecepatannya relatif lebih besar.
- b. Luas geladak dari katamaran lebih luas.
- c. Volume tercelup air dan luas permukaan basah lebih kecil.
- d. Stabilitas yang baik karena memiliki dua lambung.
- e. Dengan frekuensi gelombang yang tinggi, amplitudo relatif kecil sehingga tingkat kenyamanan lebih tinggi.
- f. Karena memiliki tahanan yang kecil maka biaya operasional menjadi kecil.
- g. Kekhawatiran penumpang pada faktor kapal terbalik menjadi lebih kecil, sehingga penumpang merasa lebih aman.

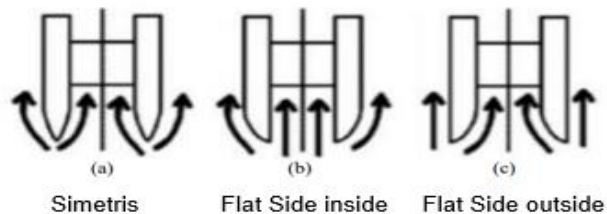
Sedangkan kekurangan kapal katamaran adalah:

- a. Teknik pembuatan yang lebih rumit sehingga membutuhkan keterampilan khusus.

- b. Dengan memiliki dua lambung maka manuver katamaran kurang baik jika dibandingkan dengan monohull.

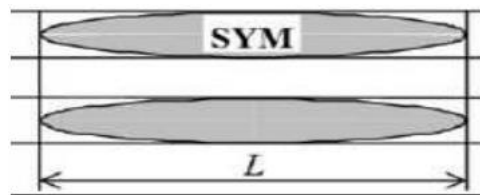
Bentuk lambung kapal katamaran memiliki banyak model, tetapi secara umum ada tiga bentuk dasar dari katamaran, yakni:

- Simetris.
- Asimetris dengan bagian dalam lurus (*Flat Side Inside*).
- Asimetris dengan bagian luar lurus (*Flat Side Outside*).



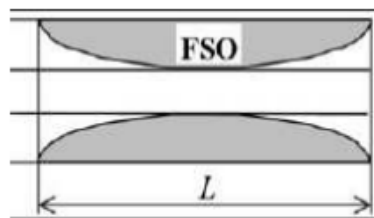
Gambar 1. Bentuk Lambung Kapal Katamaran

Sumber : Insel dan Molland, 1991



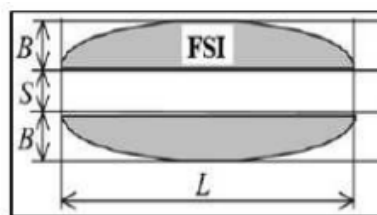
Gambar 2. Lambung Katamaran Simetris

Sumber : Arianto, 2010



Gambar 3. Lambung Katamaran Flat Side Outside

Sumber : Arianto, 2010



Gambar 4. Lambung Katamaran Flat Side Inside

Sumber : Arianto,2010

Menurut (Insel & Molland, 1990), kapal katamaran memberikan kebebasan pada aspek desain bentuk lambung kapal dan dimensi dari demihull untuk meningkatkan stabilitas transversal. Aspek desain yang fleksibel ini membuat katamaran dapat didesain relatif asimetris terhadap centerplan. Secara umum terdapat tiga macam bentuk dasar dari lambung katamaran yang dapat diadopsi, yaitu:

a. Katamaran Simetris

Katamaran simetris merupakan desain bentuk lambung katamaran yang diadaptasi langsung dari variasi bentuk lambung konvensional. Tidak adanya batasan dari 7 stabilitas membuat demihull katamaran dapat didesain dengan range yang besar dari L/B , B/T , C_b , C_{wp} dari monohull seperti bentuk lambung revolusioner SWATH.

b. Katamaran Asimetris

Katamaran Asimetris merupakan bentuk katamaran yang dikembangkan dengan menggeser volume displacement asimetris di dalam atau di luar centerline demihull untuk mengurangi efek interferensi yang merugikan antara demihull. Pada bentuk ini, bentuk lambung kapal di sisi dalam yaitu diantara lambung-lambungannya, tidaklah sepenuhnya asimetris karena tidak sepenuhnya datar. Secara umum, bentuk lambung bagian dalam dilakukan optimisasi untuk mendapatkan interferensi yang menguntungkan.

c. Katamaran Asimetri Penuh

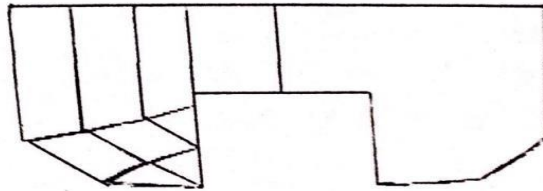
Katamaran asimetris penuh merupakan bentuk lambung yang diperoleh dengan menggeser semua volume displacement dari simetris hull ke salah satu sisi centerline seperti membagi monohull menjadi dua bagian centerline. Bentuk ini juga disebut separuh monohull atau lambung sobek.

Katamaran asimetris dan katamaran asimetris penuh dapat digunakan untuk meminimalkan pembentukan gelombang dan percikan di dalam terowongan (daerah antara lambung). Menurut Prof. Jacob van Renen van Niekerk (2002), berdasarkan performance kapal katamaran asimetris, kapal katamaran asimetris dibedakan menjadi 4 jenis, yaitu:

1. Katamaran Asimetris Tipe C

Kapal katamaran tipe C adalah kapal katamaran asimetris berbentuk sponsons dan memiliki deadrise yang rendah. Performance katamaran tipe C ini tergantung pada besar

kecilnya deadrise pada bagian bottom. Sama halnya dengan katamaran tipe lain kapal tipe C ini jenis kapal katamaran berkecepatan tinggi.

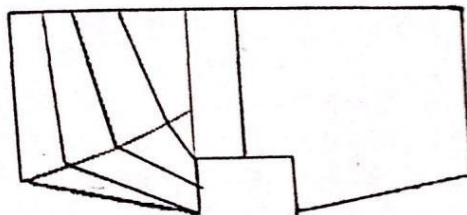


Gambar 5. Katamaran Asimetris Tipe C

Sumber : (Niekerk, 2000)

2. Katamaran Asimetris Tipe D

Kapal katamaran tipe D ini dikatakan sebagai split monohull dikarenakan pada katamaran ini terowongannya sempit dengan sudut bow yang tajam. Kapal katamaran tipe ini mempunyai kelemahan karakteristik dari katmaran dan monohull. Stabilitasnya lebih baik daripada monohull namun lebih jelek bila dibandingkan dengan katamaran tipe yang lainnya. Keuntungan katamaran jenis ini adalah dalam proses pembangunannya lebih mudah dan ekonomis bila dibandingkan dengan katamaran tipe lainnya.

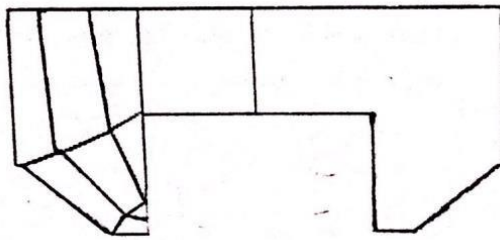


Gambar 6. Katamaran Asimetris Tipe D

Sumber : (Niekerk, 2000)

3. Katamaran Asimetris Tipe E

kapal katamaran jenis ini memiliki kerampingan yang tinggi dan memiliki ketinggian terowongan yang cukup tinggi. Desain kapal katamaran tipe ini dapat mengurangi hambatan gelombang. Karena sangat ramping, katamaran tipe ini memiliki beberapa kelemahan yaitu stabilitas yang dimiliki kapal tipe ini kurang bagus serta tidak dapat digunakan di daerah perairan yang memiliki gelombang besar.

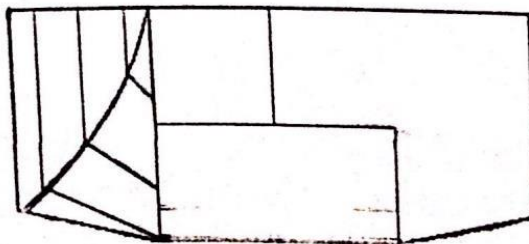


Gambar 7. Katamaran Asimetris Tipe E

Sumber : (Niekerk, 2000)

4. Katamaran Asimetris Tipe H

Tipe katamaran jenis ini mempunyai nama HySuCat. Selain itu, kapal katamaran tipe ini memiliki dasar deadrise yang tinggi dan ketinggian Gambar II. 2 Katamaran asimetris Tipe D (Niekerk, 2000) Gambar II. 3 Katamaran asimetris Tipe E (Niekerk, 2000) 9 terowongannya menengah. Kapal kataman ini memiliki nilai kecepatan yang bagus dan gelombang yang ditimbulkan sangat kecil. Namun diantara kelebihan tersebut kapal katamaran ini memiliki kelemahan pad saat docking atau bersandar karena pada bagian sisi lambung terdapat foil.



Gambar 8. Katamaran Asimetris Tipe H

Sumber : (Niekerk, 2000)

1.2.2. 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:

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

Dimana:

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

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

m1 = besar massa titik pertama (kg),

m2 = 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 ($9,81 \text{ m/s}^2$)

1.2.3. 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).

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 $vt = gt$ (Zollman & Fuller, 1994). Sedangkan persamaan yang digunakan untuk menentukan jarak yang ditempuh oleh suatu benda selama benda bergerak selama t detik dari tempat awal dapat digunakan persamaan:

$$y = \frac{1}{2} gt^2 \quad (3)$$

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)

1.2.4. 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)

1.2.5. Teori Slamming

1. Wake 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 (1990).

2. Effect Slamming

Penyebab slamming mengakibatkan efek lokal maupun global pada struktur. Whipping merupakan efek global akibat slamming. Hydroelastis 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. Hydroelastisitas 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 hidro-elastisitas 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)

3. Peluang *Slamming*

Menurut Bhattacharyya (1978) dalam menentukan peluang terjadinya Slamming harus didasarkan 2 syarat.

1. Dasar haluan naik melewati (emerge) gelombang, atau dengan kata lain gerakan relatif vertikal haluan melampaui sarat air bagian haluan ($z_b > T_b$), dan
2. Kecepatan relatif vertikal haluan mempunyai harga yang melewati harga kecepatan ambang batas slamming atau threshold velocity. Perlu diperhatikan bahwa, efek slamming yang sebenarnya hanya terjadi atau dialami oleh bangunan laut bilamana pada saat dasar haluan masuk kembali ke dalam air atau gelombang mempunyai kecepatan tertentu. Bilamana kecepatan terlalu rendah maka haluan dapat dikatakan hanya mencelup kembali ke dalam air, sehingga efek slamming atau hampasan tidak akan terasa. Dengan demikian peluang terjadinya slamming harus juga memenuhi 2 (dua) syarat tersebut, yakni, pertama harus memperhitungkan peluang gerakan vertikal haluan relatif lebih besar dari sarat air bagian haluan, atau secara matematis dituliskan:

$$\Pr(\text{haluan terangkat}) = \Pr(Z_{br} > T_b) = \text{eks} \left(-\frac{T_b^2}{2m_{ozbr}} \right) \quad (4)$$

Kedua, peluang kecepatan relatif vertikal haluan lebih besar dari kecepatan ambang batas slamming :

$$\Pr(\text{haluan terangkat}) = \Pr(V_{br} > V_{th}) = \text{eks} \left(-\frac{V_{br}^2}{2m_{oVbr}} \right) \quad (5)$$

Dengan:

Z_{br} : gerakan relatif vertikal haluan

V_{br} : kecepatan relatif vertikal haluan

T_b : sarat air dihaluan (posisi slamming ditinjau)

V_{th} : kecepatan ambang batas slamming

m_{ozbr} : varian atau luasan dibawah spektra respons gerakan relatife vertikal haluan

m_{oVbr} : varian atau luasan dibawah spektra respons kecepatan relatife verikal haluan

m_{oVbr} : varian atau luasan dibawah spektra respons kecepatan relatife haluan

Dengan demikian peluang-peluang yang terjadi pada saat slamming dapat di hitung dengan kombinasi persamaan (4) dan persamaan (5), yang tertuliskan:

$$\Pr(\text{haluan terangkat}) = \Pr(Z_{br} > T_b \text{ dan } V_{br} > V_{th}) = \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{0Zbr}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{0Vbr}}\right) \quad (6)$$

Kecepatan ambang batas atau threshold velocity dapat diperoleh dengan mengambil acuan berikut: Bhattacharyya memberikan acuan = 12.0 ft/det (= 3.65 m/det) untuk kapal dengan panjang 520 ft (= 158.5 m), bila panjang kapal mempunyai harga berbeda maka dapat diperoleh dengan memperhitungkan hukum skala, yakni ft/det.

4. Intensitas Slamming

Intensitas slamming per satuan waktu dapat dihitung memakai persamaan berikut:

$$N_{slam} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m_{2Zbr}}{m_{0Zbr}}} \times \Pr(\text{slam}) \text{ 1/det} \quad (7)$$

atau

$$N_{slam} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m_{2Zbr}}{m_{0Zbr}}} \times \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{0Zbr}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{0Vbr}}\right) \text{ 1/det} \quad (8)$$

atau

$$N_{slam} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{m_{2Zbr}}{m_{0Zbr}}} \times \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{0Zbr}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{2Zbr}}\right) \text{ 1/det} \quad (9)$$

Jika kita ingin mengetahui jumlah kejadian slamming atau intensitas slamming dalam waktu operasi tertentu (T_0), maka kita dapat menghitung intensitas slamming dengan memodifikasi persamaan (8) atau persamaan (9)

$$N_{slam}(T_0 \text{ jam}) = \frac{3600 \times T_0}{2\pi} \sqrt{\frac{m_{2Zbr}}{m_{0Zbr}}} \times \exp\left(-\frac{T_b^2}{2m_{0Zbr}} - \frac{V_{th}^2}{2m_{2Zbr}}\right) \text{ 1/det} \quad (10)$$

5. Tekanan Slamming

Besarnya tekanan yang terjadi pada dasar kapal di haluan akibat terjadinya slamming dapat dihitung dengan mempertimbangkan kecepatan relatif vertikal haluan ekstrim (Djarmiko, 2002) , yakni:

$$P_s = \frac{1}{2} \rho k \hat{V}_{br}^2 \text{ (kPa)} \quad (11)$$

Dimana ρ adalah massa jenis air laut, k koefisien slamming (= 9.0 rata – rata). Kecepatan relatif vertikal haluan $\hat{V}_{br}$ it dihitung dengan persamaan:

$$\hat{V}_{br} = \sqrt{2 \times \ln \left\{ \frac{3600T_0}{2\pi} \exp \left(-\frac{T_b^2}{2m_0Z_{br}} - \frac{V_{th}^2}{2m_0V_{br}} \right) \right\} \sqrt{\frac{2m_2V_{br}}{2m_0Z_{br}}} \times \sqrt{2m_0Z_{br}}} \quad (12)$$

Atau

$$\hat{V}_{br}^2 = 2 \times \ln \left\{ \frac{3600T_0}{2\pi} \exp \left(-\frac{T_b^2}{2m_0Z_{br}} - \frac{V_{th}^2}{2m_0V_{br}} \right) \right\} \sqrt{\frac{2m_2V_{br}}{2m_0Z_{br}}} \times 2m_2Z_{br} \quad (13)$$

Sehingga tekanan akibat slamming menjadi:

$$P_s = \rho k \times \ln \left\{ \frac{3600T_0}{2\pi} \exp \left(-\frac{T_b^2}{2m_0Z_{br}} - \frac{V_{th}^2}{2m_0V_{br}} \right) \right\} \sqrt{\frac{2m_2V_{br}}{2m_0Z_{br}}} \times 2m_2Z_{br} \quad (14)$$

1.2.6. Fenomena Slamming

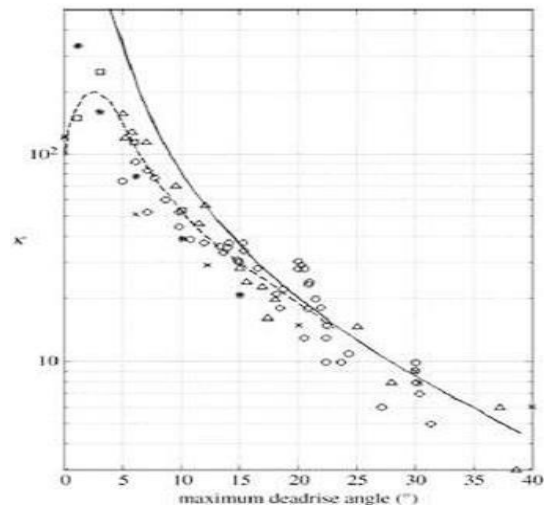
Fenomena slamming ditandai dengan durasi yang relatif singkat. Fenomena ini terjadi ketika sebuah benda masuk ke dalam air dengan sudut yang relatif kecil antara permukaan benda dan permukaan air. Penjelasan klasik mengenai tekanan tinggi dengan kekuatan yang dihasilkan merupakan akselerasi antar cairan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



Gambar 9. Fenomena Slamming

Sumber : Safehaven Marine, 2024

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 kopresibilitas volume udara ini berperan penting dalam tekanan pada sebuah benda (Himaya, 2016).



Gambar 10. 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).



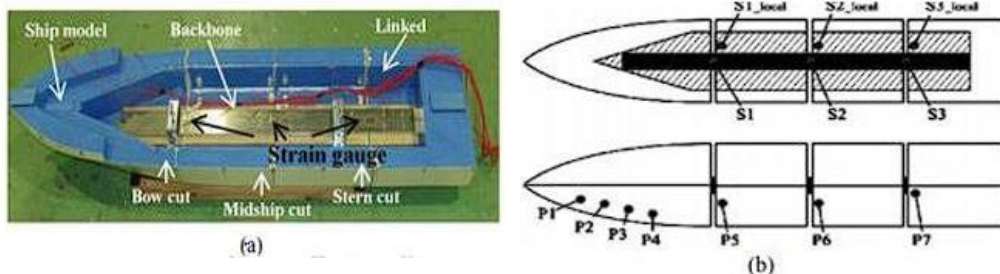
Gambar 11. Udara tertutup yang terbentuk akibat benturan datar dari gelombang yang pecah terhadap dinding vertikal

Sumber: Himaya, 2016

1.2.7. Internal Strain

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

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



Gambar 12. (a) Model Elastic Body dan (b) Posisi Piezo Sensor
Sumber : Suandar Baso, 2014

Pengaturan eksperimental ditentukan dan dirancang berdasarkan teori jatuh bebas dengan konstanta kecepatan jatuh. Untuk mempertimbangkan gerakan elastis, kapal. Model ini dibagi menjadi empat bagian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12 Sensor tekanan terletak di haluan dan bawah permukaan model di P1, P2, P3, P4, P5, P6 dan P7 dan alat pengukur strain d berada di backbone di S1, S2 dan S3 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 12 Data tekanan diukur dari semua titik dikelompokkan menjadi tiga bagian, yaitu, busur (Pbow), lambung (Phull) dan buritan (Pstern) untuk dikaitkan dengan data regangan di S1, S2 dan S3. Bagian yang terpisah terhubung menggunakan backbone lampiran terbuat dari logam. Kekakuan lentur EI dan kepadatan kapal adalah 351 N/m^2 dan 243 kg/m^3 . Dalam percobaan, sudut deadrise β kapal, model didefinisikan sebagai sudut bertabrakan antara permukaan air tenang dan haluan kapal pada kondisi awal. (Hidemi Mutsuda, Suandar Baso and Yasuaki Doi Tahun 2014).

1.2.8. Slamming Experiment

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

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

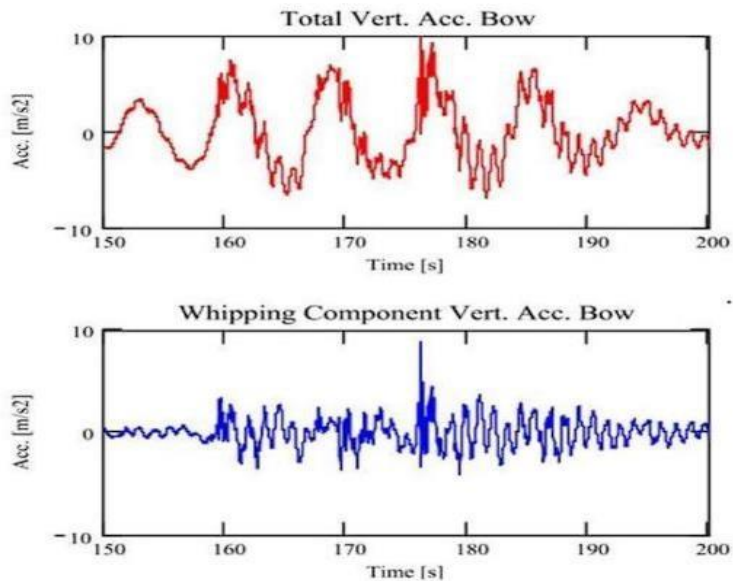
Pada penelitian ini dilakukan penelitian pengukuran distribusi tekanan pada main hull dan ponton WISE menggunakan sensor piezoelectric (PDVF) pada proses pendaratan kapal bersayap WISE di air. Untuk mendapatkan karakteristik beban impact hasil pengujian proses landing model WISE, maka dilakukan perancangan sistem pengukuran dan data akuisisi yang digunakan untuk pengambilan data yang dihasilkan oleh sensor impact (PDVF Film). (Gaffar, 2021)

Pengujian slamming ini menggunakan 19 buah pressure transducer (PDCR200) dan 4 buah pressure sensor yang diletakkan pada bagian dalam hull kapal. pengujian yang dilakukan adalah vertical impact test, inclined entry test, dan forced pitching test. Adapun hasil akhir dari pengujian ini merupakan nilai tekanan sesaat air pada model WISE yang nantinya digunakan untuk pembuatan model itu sendiri. (Gaffar, 2021)

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

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

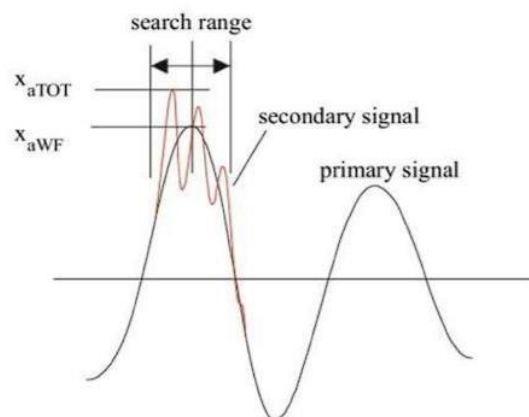
Respon fenomena slamming terhadap kekakuan dapat dilihat pada Gambar 13 berikut:



Gambar 13. Contoh whipping response

Sumber : Dallinga, 2006

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 14 berikut:



Gambar 14. Analisis puncak slamming

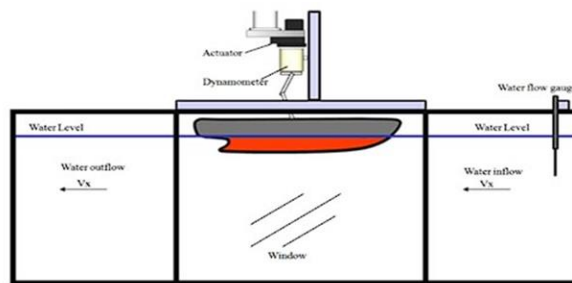
Sumber : Dallinga, 2006

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

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

Untuk dropping test, percobaan dirancang dalam tiga dimensi dan dilakukan dalam tangki gelombang menengah. Dalam percobaan ini, untuk mempertimbangkan gerakan elastis model kapal, model kapal dibagi menjadi empat bagian dan setiap bagian dihubungkan dengan menggunakan tulang punggung yang terbuat dari logam.

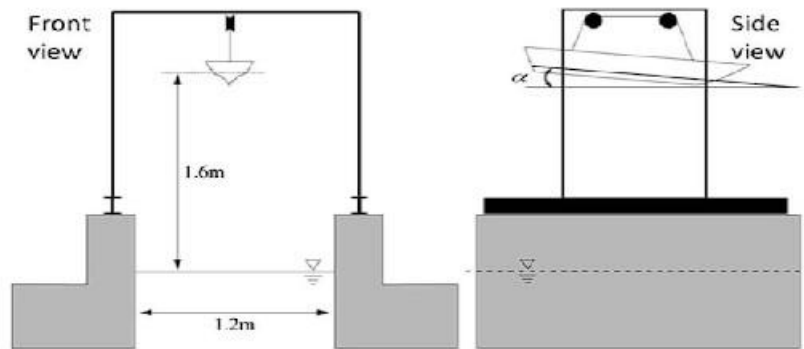
Pada experimental setup dijelaskan mengenai ukuran utama model kapal yang digunakan, skema uji ketahanan kapal. Skema uji ketahanan kapal dapat dilihat pada Gambar 15 dibawah ini.



Gambar 15. Skema Uji Ketahanan Kapal.

Sumber: Baso, 2010

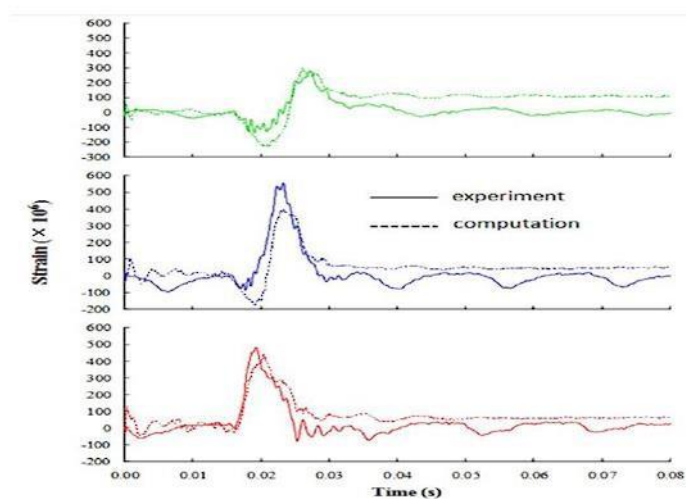
Untuk dropping test pada penelitian ini dilakukan untuk menyelidiki hubungan antara gerak elastic dan dampak tekanan akibat adanya slamming. Eksperimental dilakukan berdasarkan teori jatuh bebas dengan kecepatan konstan. Pada Gambar 16 dapat dilihat skema dari dropping test berdasarkan teori jatuh bebas.



Gambar 16. 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 17 dibawah ini.



Gambar 17. Perbandingan Nilai Tegangan pada Perhitungan dan Percobaan

Sumber: Baso, 2010

1.2.9. LoadCell

Loadcell yang juga dikenal sebagai *transducer*, merupakan *elektromekanis* yang mengubah gaya mekanis menjadi perangkat 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 *loadcell*. Ini adalah dasar untuk menentukan tegangan mekanis. Karena *loadcell* -

merupakan sensor berat, maka nilai resistansi pada *loadcell* akan berubah ketika diberi beban pada inti besinya.

Sensor *loadcell* 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 *loadcell*. *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 *loadcell* yang berperan dalam pengukuran suatu tekanan yang dihasilkan dari pembacaan beban. Bahan sensor *loadcell* tersebut disusun dari berbagai jenis bahan yakni *stainless steel*, baja, dan juga aluminium.

1.2.10. Arduino Uno Sensor

Arduino Uno adalah *platform* perangkat keras (*hardware*) yang dirancang untuk memudahkan pengembangan dan *prototyping* proyek-proyek elektronik. 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 Uno* adalah otak utama yang mengontrol berbagai komponen yang terhubung dengannya. Papan *Arduino Uno* biasanya dilengkapi dengan berbagai macam varian *mikrokontroler* dari berbagai produsen, seperti ATmega yang diproduksi oleh *Microchip Technology*. Meskipun demikian, *Arduino Uno* lebih sering dikaitkan dengan *platform open-source* yang dikelola oleh *Arduino.cc*.

Salah satu keunggulan utama *Arduino Uno* 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 Uno*. Lingkungan pengembangan *Arduino Uno* (*Arduino IDE*) menyediakan antarmuka yang ramah pengguna untuk mengunggah kode ke papan *Arduino Uno* melalui koneksi USB atau bahkan Bluetooth, tergantung pada varian papan.

1.2.11. 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 perbesaran 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 sama 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, Penunjukannya adalah $1:x$. Adapun daftar penunjukan 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 Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menentukan berapa besar tekanan yang terjadi pada haluan kapal katamaran asimetris lambung *flat side outside*, pada saat kondisi *slamming* pada setiap kemiringan sudut jatuh melalui percobaan model ?
2. Menentukan perbandingan antara setiap kemiringan sudut jatuh linggi haluan kapal katamaran asimetris lambung *flat side outside* dengan besar tekanan air yang terjadi pada saat kapal mengalami kondisi *slamming* melalui percobaan model ?

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Sebagai informasi untuk mengetahui besarnya pengaruh tekanan air terhadap gerak *slamming* pada setiap kemiringan linggi haluan kapal katamaran asimetris lambung *flat side out side*.
2. Menjadi bahan acuan dalam mendesain linggi haluan oleh para desainer 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 Teknik Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Pelaksanaan penelitian ini terhitung mulai dari bulan Juni 2024 sampai november 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 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 katamaran asimetris lambung *flat side outside*. Dengan data umum yang dapat dilihat pada Tabel 1 dan gambar *linesplan* kapal dapat dilihat pada Gambar 18.

Tabel 1.Ukuran utama kapal

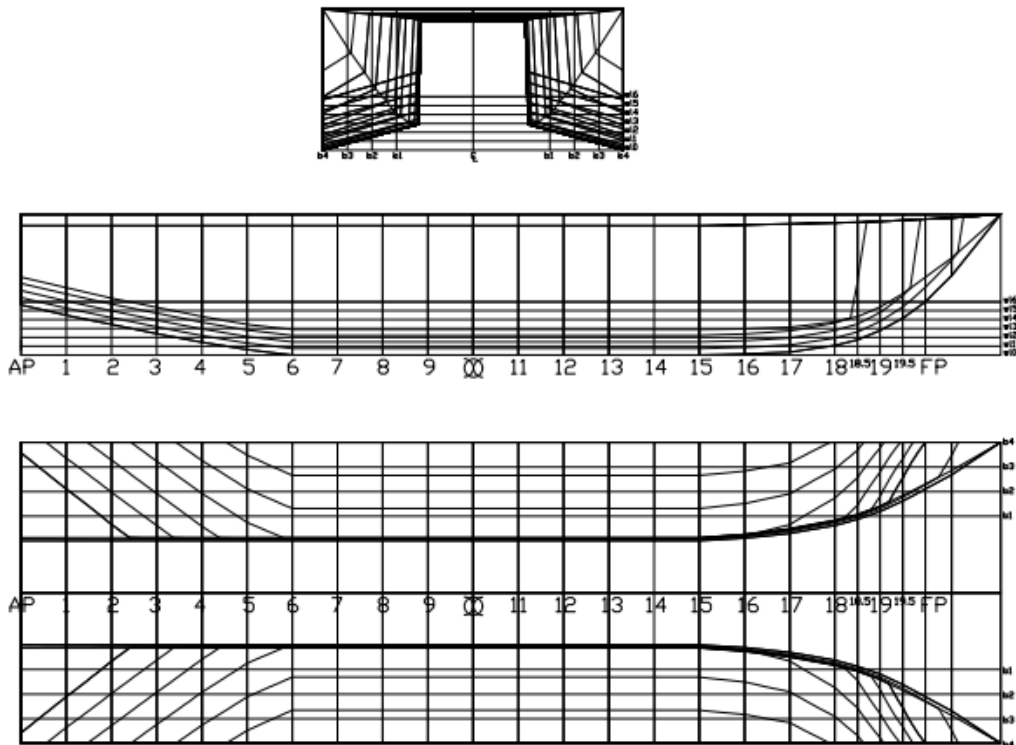
No.	Ukuran Utama	Model Kapal	Satuan
1	Length overall (LOA)	16	m
2	Wetted Length	14,77	m
3	Breadth (B)	4,912	m
4	Depth (H)	2,3	m
5	Draught (T)	0.87	m
6	Tunnel Width	1,7	m
7	Full Load Weight	23,41	ton

Adapun ukuran model pada skala 1:11,43 cm ditampilkan pada Tabel 2

Tabel 2. Ukuran utama kapal skala 1 : 11,43 cm

No.	Ukuran Utama	Model Kapal	Satuan
1	Length overall (LOA)	1,4	m
2	Wetted Length	1,3	m
3	Breadth (B)	0,43	m
4	Depth (H)	0,2	m
5	Draught (T)	0.08	m
6	Tunnel Width	0,148	m
7	Full Load Weight	17,04	kg

Sumber: Alexandria Engineering Journal



Gambar 18. Linesplan kapal katamaran asimetris lambung Flat Side Outside
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

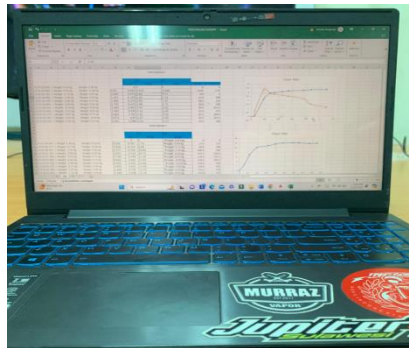
Hidrodinamika Kapal Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Untuk mengolah data tahap – tahap pengolahan yang digunakan sebagai berikut:

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 dapat dilihat pada Gambar 19.

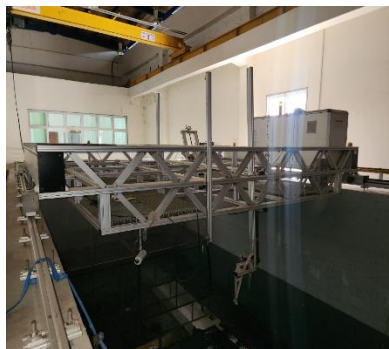


Gambar 19. Leptop

Sumber: Properti pengujian

2) Towing Carriage

Pada penelitian ini *Towing carriage* dijadikan sebagai rangka pengujian model ketika *dropping test* dilakukan dapat dilihat pada Gambar 20.



Gambar 20. 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 4 meter dengan lebar 3 meter dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Towing Tank
Sumber: properti pengujian

4) Loadcell Device

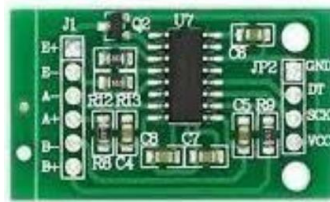
Loadcell Device adalah perangkat yang digunakan untuk mengukur gaya atau berat. Alat ini biasanya digunakan dalam timbangan digital dan aplikasi pengukuran gaya lainnya. *Loadcell* ini bekerja berdasarkan prinsip deformasi elastis. Ketika gaya atau berat diaplikasikan pada *Loadcell*, material dalam *Loadcell* akan mengalami deformasi. Deformasi ini kemudian diubah menjadi sinyal listrik yang dapat diukur. Contoh *loadcell* yang digunakan dalam percobaan ini dapat dilihat pada Gambar 22.



Gambar 22. 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 timbang 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 dapat dilihat pada Gambar 23.

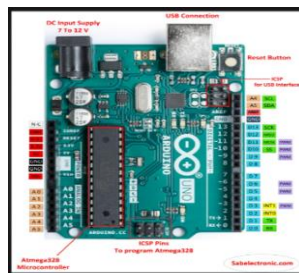


Gambar 23. Modul HX711

Sumber: Google picture

6) Arduino Uno

Untuk mengetahui nilai yang dikeluarkan dari sensor tersebut digunakan perangkat *Arduino Uno* yang berfungsi sebagai pengendali *microcontroller* yang dapat mengatur kecepatan data yang dikeluarkan oleh *loadcell device*. perangkat *Arduino Uno* inilah yang dihubungkan ke laptop untuk dapat melihat hasilnya. *Arduino Uno* yang digunakan ini dilengkapi dengan pengamanan arus di port USB yang berfungsi melindungi PC atau Laptop dari kerusakan. *Arduino Uno* yang digunakan memiliki total 14 *pin programmable input/ output* dan 6 *pin analog input* dapat dilihat pada Gambar 24.

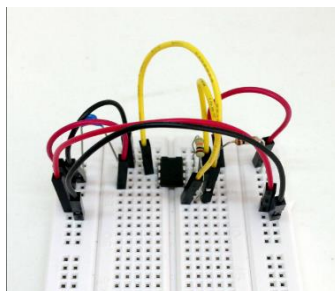


Gambar 24. Arduino Uno

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 Uno* dengan *microcontroller* pada *load cell device* dapat dilihat pada Gambar 25.



Gambar 25. Breadboard

Sumber: Google picture

8) Pemberat

Pemberat pada penelitian kali ini digunakan untuk mengkalibrasi sensosr *loadcell* yang dimana akan di tempatkan diatas sensor dan sensor akan membaca berat dari pemberat yang berada di atas sensor yang dapat dilihat pada Gambar 26.

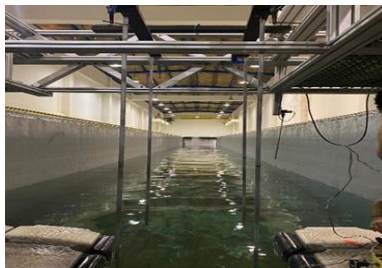


Gambar 26. Pemberat

Sumber: Google picture

9) Rel

Rel pada penelitian ini digunakan sebagai lintasan pada proses *Dropping test* kapal agar sudut pada saat kapal di jatuhkan tetap pada sudut awal dapat dilihat pada Gambar 27.



Gambar 27. Rel

Sumber: properti pengujian

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* dapat dilihat pada Gambar 28.



Gambar 28. 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

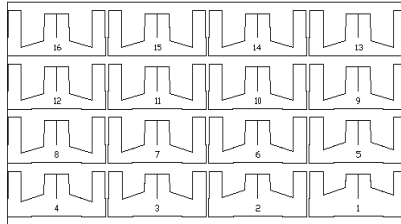
No	Komponen	Satuan	Jumlah
1	Tripleks 3 mm	Lembar	4
2	Lem Tembak	Buah	1
3	Lem Lilin	Buah	10
4	Lem Kertas	Buah	3
5	Lem Fox	Buah	1
6	Lem Korea	Buah	3
7	Resin	Liter	7
8	Katalis	Liter	0,1
9	Serat Fiber	Kg	2
10	Mirror Glaze	Buah	1
11	Dempul	Kaleng	3
12	Cat Dasar (Abu-abu)	Kaleng	1
13	Cat kuning	Kaleng	2
14	Spidol	Buah	1
15	Kuas	Buah	2
16	Amplas	Meter	3
17	Mata Gerinda Potong	Buah	3
18	Mata Gerinda Amplas	Buah	1
19	Penggaris	Buah	1
20	Gerinda	Buah	1
21	Pisau Dempul	Pack	1
22	Pulpen	Buah	2

Sumber: Persiapan pembuatan model

Pembuatan model terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Pembuatan cetakan (*Mould*)

- a. Gambar model di bagi beberapa bagian gading, yang dimana setelah gading di bagi selanjutnya diberikan ukuran lebar sesuai dengan ukuran lebar gading kapal untuk mendapatkan pola lambung dari kapal dapat dilihat pada Gambar 29.



Gambar 29. Model Gading

Sumber: Hasil olah data Autocad

- b. Setelah gambar *bodyplan* di setiap gading telah selesai selanjutnya kami print file gambar tersebut dan menempekan hasil print ke tripleks yang selanjutnya dilakukan pemotongan manual menggunakan mesin *gerinda* dapat dilihat pada Gambar 30.



Gambar 30. Proses Pemotongan Gading

Sumber: Proses pembuatan cetakan

- c. Gading yang telah dipotong selanjutnya di bentuk sesuai nomor gading dan dilekatkan pada center line gading menggunakan lem dapat dilihat pada Gambar 31.



Gambar 31. Proses Pemasangan Gading

Sumber: Proses pembuatan cetakan

- d. Setelah semua gading selesai di pasang dan membentuk pola lambung kapal pada bagian tengah dari cetakan. Selanjutnya, kita memasang tripleks halus pada bagian sisi dalam dari pola lambung cetakan tersebut dapat dilihat pada Gambar 32.



Gambar 32. Proses Pemasangan Tripleks Halus

Sumber: Proses pembuatan cetakan

- e. Setelah selesai memasang tripleks halus pada bagian sisi dalam dari pola lambung cetakan tersebut, langkah selanjutnya adalah proses pencetakan hasil *lamiasi* pada model kapal.

2. Pencetakan hasil *lamiasi*

- a. Penghalusan cetakan, pada proses ini bagian dalam dari lambung kapal di beri *Mirro Glaze* atau penghalusan (*polishing*) guna untuk memudahkan pada saat proses pelepasan hasil cetakan lambung kapal yang telah mengering dari cetakan (*mould*) dapat dilihat pada gambar 33.



Gambar 33. Penghalus *Mirro Glaze*

Sumber: Proses pembuatan model

- b. Proses pencetakan (*lamiasi*), pada proses ini model kapal siap di bentuk pada cetakan yang diawali dengan pengaplikasian campuran resin yang diberikan sedikit katalis sebagai pengeras (*hardener*), lalu diatasnya di letakan lembaran serat fiberglass secara merata dapat dilihat pada Gambar 34.



Gambar 34. Proses Pencetakan Model Kapal

Sumber: Proses pembuatan model

- c. Pelepasan hasil cetakan, pada proses ini model kapal yang telah mengeras akan dilepas dari cetakan, dan kemudian akan dilakukan pemasangan gading-gading dapat dilihat pada gambar 35.



Gambar 35. Proses Pemasangan Gading-gading

Sumber: Proses pembuatan model

- d. Setelah gading-gading pada model kapal selesai di pasang, proses berikutnya adalah pengaplikasian dempul pada bagian sisi luar dari model kapal dapat dilihat pada Gambar 36.



Gambar 36. Proses Pengaplikasian Dempul Pada Model Kapal

Sumber: Proses pembuatan model

- e. Pengecatan model kapal menggunakan cat semprot warna abu-abu sebagai dasar model dan selanjutnya menggunakan cat warna kuning sebagai warna asli model kapal dapat dilihat pada Gambar 37.



Gambar 37. Proses Pengecatan Model Kapal

Sumber: Proses pembuatan model

- f. 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 sebesar 12,11 kilogram dijumlahkan dengan berat pemberat sebesar 4,93 sama dengan total berat model kapal sebesar 17,04 kilogram dapat dilihat pada Gambar 38.



Gambar 38. Test Draft
Sumber: Hasil eksperimen

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 model

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 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 39.



Gambar 39. 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 prosedur 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. Tahapan 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 model kapal pada <i>towing carriage</i>	5 menit
4	Mengatur sudut kemiringan <i>drop test</i> model kapal	5 menit
5	Membuka aplikasi <i>Arduino Uno</i>	1 menit
Pengujian		
6	<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 table 6.

Tabel 6. Kebutuhan Pengujian

No	Nama Barang Model	Jumlah
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>Breadboard</i>	1 buah
7	<i>Jumper wire</i>	16 buah
8	kamera	2 buah
9	Beban	2 buah
10	Rel	4 buah

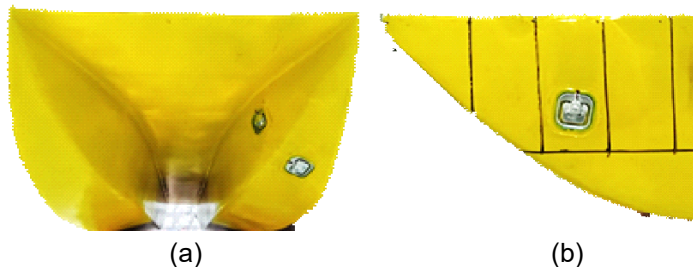
Sumber: Hasil Olah Data

3. Langkah Instalasi Loadcell Device pada haluan kapal
Untuk instalasi *Loadcell Device* pada haluan kapal dapat dilakukan dengan langkah-langkah dibawah ini:
 - a. Pastikan sensor *loadcell* siap digunakan dengan memperhatikan kabel / kawat yang terhubung pada sensor, adapun sensor *loadcell* yang dimaksud pada Gambar 40.

**Gambar 40.** Loadcell Device

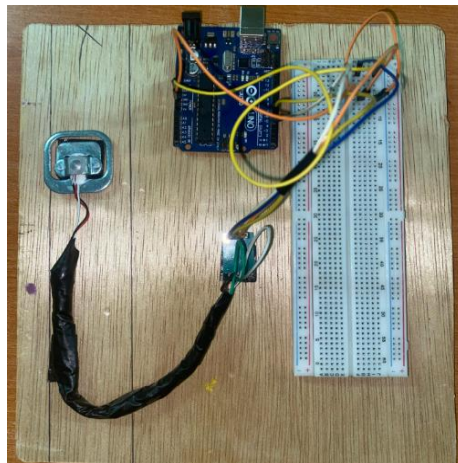
Sumber : Google picture

- b. Sensor *Loadcell* ditempelkan secara zigzag pada bagian haluan kapal. letak sensor dapat dilihat pada Gambar 41.



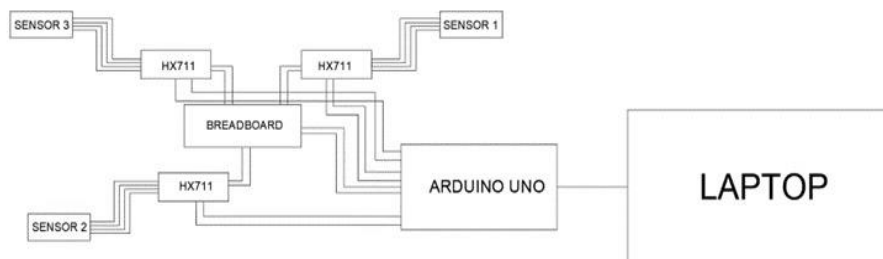
Gambar 41. (a) Letak sensor tampak depan dan (b) letak sensor tampak samping
Sumber: Instalasi loadcell device di haluan

- c. Sensor *loadcell* dihubungkan pada kabel kemudian disambungkan dengan *jumper wire* pada *breadboard*, dalam hal ini *breadboard* adalah, perangkat *wiring* yang digunakan untuk membuat rangkaian dapat dilihat pada Gambar 42.



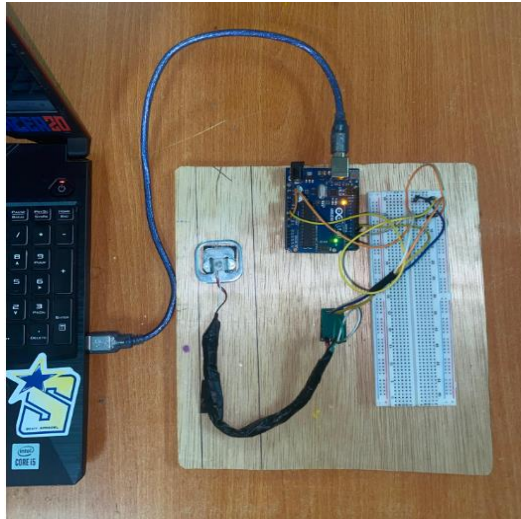
Gambar 42. Rangkaian Breadboard Dan Loadcell
Sumber: Perakitan loadcell

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 43.



Gambar 43. Rangkaian Arduino Uno, Loadcell, dan Breadboard
Sumber: Perakitan loadcell

- d. Arduino uno dihubungkan dengan laptop yang digunakan untuk merekam dan mengolah data dapat dilihat pada Gambar 44.



Gambar 44. Rangkaian Arduino Uno yang dihubungkan 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 Uno* 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 dilakukan 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 Uno*
 - DT HX711 1 terhubung pada pin 3 *Arduino Uno*

- DT HX711 2 terhubung pada pin 5 *Arduino Uno*
- SC HX711 1 terhubung pada pin 2 *Arduino Uno*
- SC HX711 2 terhubung pada pin 4 *Arduino Uno*

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 may need to vary it in thousands
-
-
- //=====
  =====
- //                                SETUP
- //=====
  =====
- void setup() {
-   Serial.begin(115200);
-   Serial.println("Press T to tare");
-   scale1.set_scale(-37658); //-105210//Calibration Factor
    obtained from first sketch
-   scale2.set_scale(-35448);
-   scale1.tare();           //Reset the scale to 0
-   scale2.tare();
- }
-
- //=====
  =====
- //                                LOOP
- //=====
  =====
- void loop() {
```

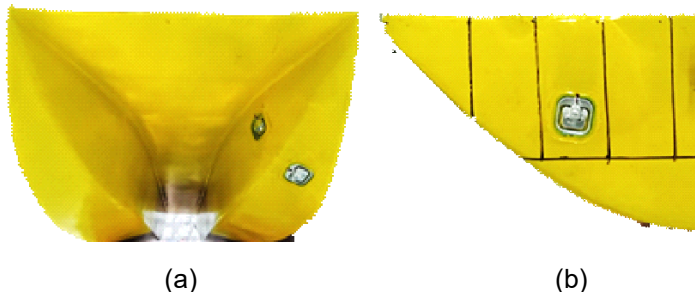
- ```

- 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 Uno*.

### 3. Persiapan Dropping Test

- Tempatkan *loadcell* pada tempat yang akan menerima dampak dari *dropping test* dilihat pada Gambar 45.



**Gambar 45.** Peletakan Sensor Loadcell di Model, (a) letak sensor loadcell tampak depan di model dan (b) letak sensor loadcell tampak samping di model

Sumber: Prosedur pengujian model

- Pasang model kapal atau bagian kapal yang akan diuji pada rel yang dapat dilihat pada Gambar 46.



**Gambar 46.** Pemasangan model pada rel yang akan diuji  
Sumber: Prosedur pengujian model

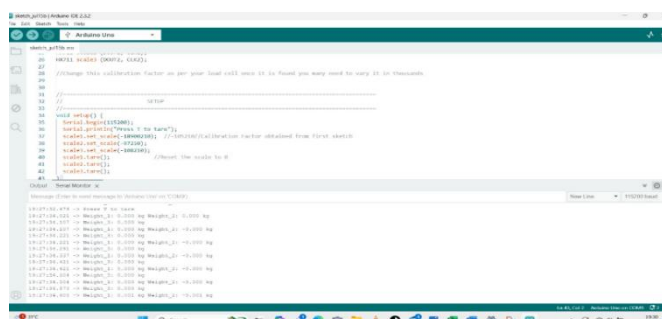
#### 4. Pelaksanaan Dropping Test

- Angkat model kapal dengan mekanisme pengangkatan ke ketinggian tertentu yakni 0,3 meter dapat dilihat pada Gambar 47.



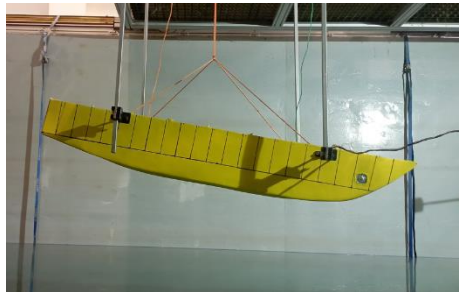
**Gambar 47.** Keadaan kapal pada posisi 0,3 meter di atas air  
Sumber: Prosedur pengujian model

- Jalankan *Arduino Uno* untuk mulai mengukur berat (bacaannya akan terlihat di Serial Monitor) dapat dilihat pada Gambar 48.



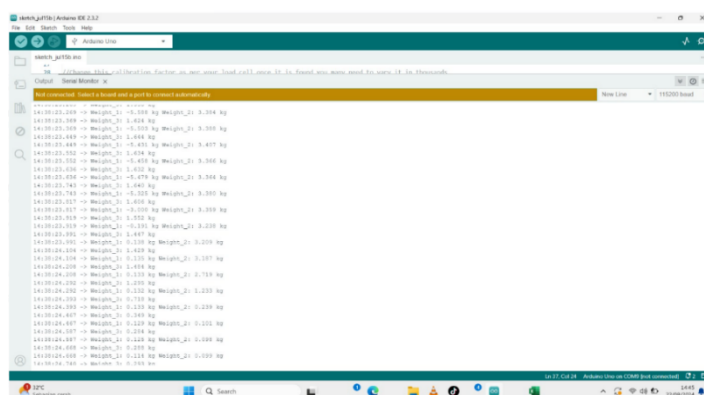
**Gambar 48.** Software arduino uno  
Sumber : Hasil olah data

- Lepaskan model kapal ke air sehingga jatuh *loadcell* akan membaca tekanan yang terjadi pada kapal yang dapat dilihat pada Gambar 49.



**Gambar 49.** Proses melepaskan kapal untuk mendapatkan tekanan pada kapal  
Sumber : Prosedur pengujian model

- Amati perubahan berat yang tercatat oleh *Arduino Uno* di Serial Monitor dapat dilihat pada Gambar 50.



**Gambar 50.** Nilai berat yang tercatat oleh arduino uno  
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.

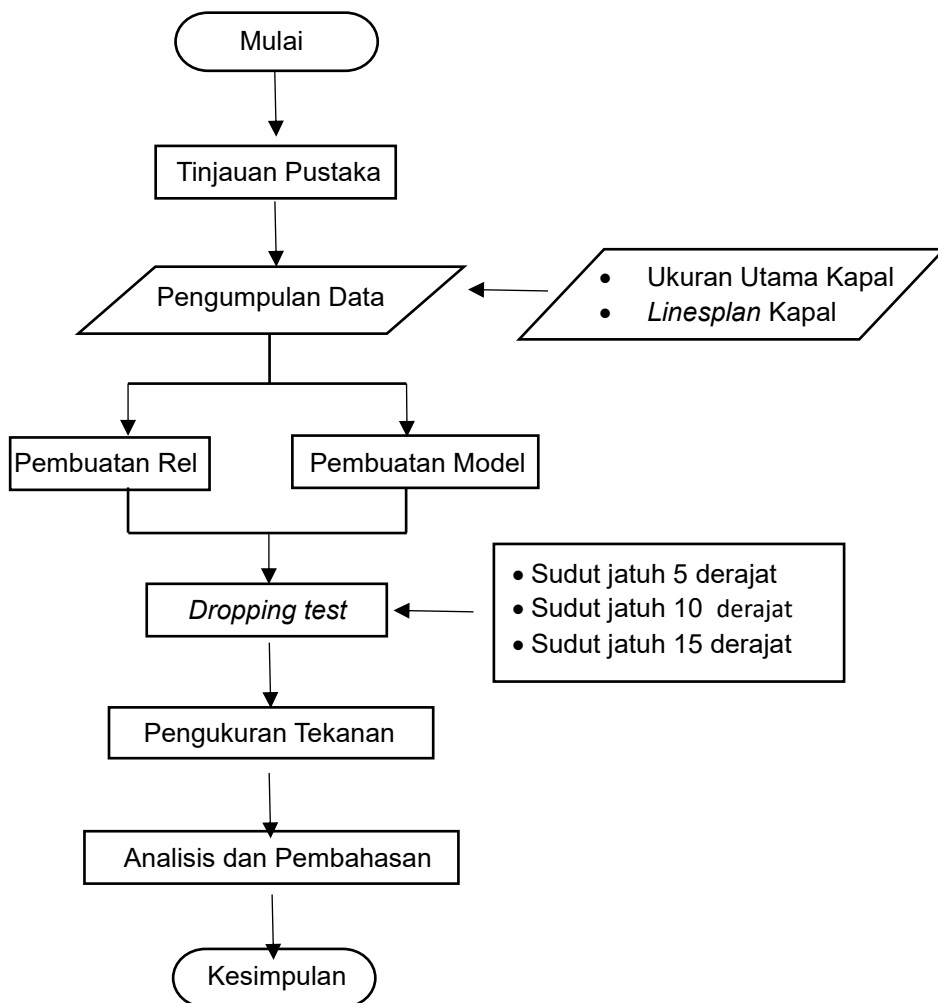
### 2.3.6. Analisis Data

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

1. Hasil dari pengujian *dropping test* model di *towing tank* adalah tekanan dan tegangan total model terhadap waktu (detik).
2. Nilai tekanan dan tegangan total model terhadap waktu (detik) kemudian dibuat menjadi grafik tekanan dan *internal strain* total 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

Untuk mempermudah dalam proses pelaksanaan penelitian ini, maka disusunlah kerangka pikir penelitian sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 51.



**Gambar 51.** Kerangka Pemikiran