

Pengukuran Titik Stabilitas Secara Melintang Kapal Dengan Percobaan Kemiringan Simulator Stabilitas Kapal Berbasis Mikrokontroler Arduino

Budhi Santoso¹, Romadhoni², Capt Suzdayan³
Politeknik Negeri Bengkalis
budhisantoso@polbeng.ac.id , romadhoni@polbeng.ac.id

Abstract

The stability of the ship in various conditions during the addition, reduction or transfer of cargo and during the voyage can be calculated by knowing the initial stability conditions of the ship in advance. In general, the initial stability of the ship is limited to transverse stability. This means that the transverse stability line of the empty weight of the ship must be known in advance by carrying out a slope experiment. Conventionally, the slope experiment is carried out using a pendulum on the CL line. This study discusses the identification of the transverse stability line of the ship through a slope experiment using Delphi programming based on an Arduino microcontroller which functions as an inclinometer. The level of accuracy of the inclinometer is calculated by comparing it with a pendulum and a protractor which functions as a reference angle measuring instrument. With an experimental angle of 0°-5° and a protractor as a reference angle measuring tool. The results of calculations using the model obtained BM 3.23 cm; GZ 0.61 cm; GM 0.38 cm; KG 0.50 cm; RM 0.18 cm. The difference in the test results of the tilt angle experiment may be due to an error in the scale reading on the ship model.

Keywords: stability simulator, microcontroller, Arduino, GZ arm, stability animation

1. PENDAHULUAN

Masalah stabilitas kapal adalah salah satu penyebab terjadinya kecelakaan kapal seperti kapal tidak dapat dikendalikan, kehilangan keseimbangan dan tenggelam, baik yang terjadi di laut selama pelayaran maupun ketika di pelabuhan selama penambahan, pengurangan atau pemindahan muatan. Kurang lebih 40 % kejadian yang dibahas dalam Sidang Mahkamah Pelayaran adalah menyangkut kecelakaan tenggelamnya kapal disebabkan oleh keadaan stabilitas yang kurang baik ataupun cara penambahan, pengurangan atau pemindahan muatan yang salah tanpa memperhitungkan keadaan stabilitas kapal.

Pada umumnya stabilitas awal kapal hanya terbatas pada stabilitas melintang. Hal ini berarti bahwa garis stabilitas melintang berat kosong kapal harus diketahui terlebih dahulu dengan cara melaksanakan percobaan kemiringan (*inclining experiment*). Garis stabilitas melintang kapal meliputi garis KM, garis KB, garis BM, garis GZ, garis GM dan garis KG. Nilai garis KM dan garis KB dapat diperoleh dari kurva hidrostatis kapal, sedangkan nilai garis BM, garis GZ, garis GM dan garis KG dapat diperoleh dari percobaan kemiringan. Secara konvensional, percobaan kemiringan dilakukan menggunakan pendulum/bandul pada garis tengah kapal, CL (center of line). Kondisi kapal dibuat miring dengan memindahkan beban yang sebelumnya telah diketahui beratnya ke arah melintang pada jarak tertentu. Kemiringan kapal diukur dari simpangan pendulum terhadap garis CL saat kondisi kapal tidak oleng/trim (Hind J.A,1982). Percobaan kemiringan yang dilakukan dengan pendulum dinilai kurang praktis karena memerlukan banyak peralatan dan perlengkapan, proses perhitungan yang berbelit-belit dan kurang akurat karena memerlukan kecermatan yang tinggi dalam membaca kemiringan kapal dari simpangan pendulum terhadap garis CL. Pemanfaatan aplikasi pemrograman Delphi berbasis mikrokontroler Arduino yang berfungsi sebagai inclinometer dalam percobaan kemiringan diharapkan dapat membantu dalam proses

identifikasi garis stabilitas melintang kapal secara cepat, praktis dan akurat dibandingkan menggunakan pendulum.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Stabilitas Kapal

Sebuah kapal yang mengapung di air tidak selalu dalam kedudukan tegak. Stabilitas kapal adalah sifat sebuah kapal untuk kembali ke kedudukan semula atau menegak kembali setelah mengalami kemiringan akibat gaya/pengaruh dari luar (angin, ombak, gelombang, dan badai. Tetapi oleh pengaruh dari luar misalnya ombak dan angin, kapal akan goyang. Untuk menjamin keselamatan kapal tersebut dalam pelayarannya antara lain kapal harus mempunyai stabilitas yang baik, sehingga kapal dapat kembali ke kedudukannya semula. Secara teori titik-titik dalam stabilitas kapal dapat dilihat pada gambar 1 dibawah ini (Taylor, 1977).

a. Titik apung B (*center of buoyance*);

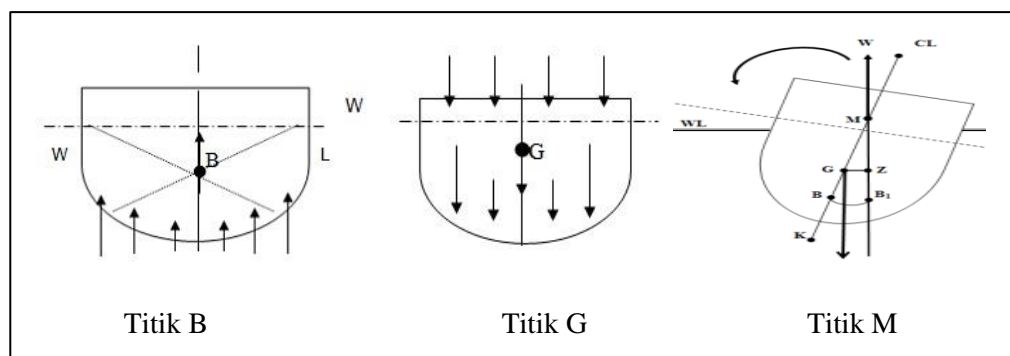
Titik resultan gaya berat geometris badan kapal yang berada dalam air yang memberikan tekanan ke atas. Titik B memiliki sifat tidak tetap karena adanya pengaruh perubahan sarat kapal. Titik B menyebabkan kapal mampu tegak kembali setelah mengalami kemiringan. Letak titik B tergantung terhadap besar kecilnya sudut kemiringan kapal. Jika kapal mengalami kemiringan, maka titik B berpindah ke sisi yang lebih rendah.

b. Titik G (*center of gravity*);

Titik resultan gaya berat seluruh bagian kapal yang menekan ke bawah. Penambahan, pengurangan atau pemindahan muatan pada kapal dapat mempengaruhi letak titik G. Letak titik G pada kapal tanpa muatan ditentukan dari hasil percobaan kemiringan.

c. Titik metasentris M (*metacenter*).

Titik semu yang letaknya berubah apabila sudut kemiringan kapal besar ($>15^\circ$). Jika kapal mengalami kemiringan, maka titik B bergerak sepanjang busur dengan titik M sebagai pusatnya pada garis CL.



Gambar 1. Titik-titik stabilitas kapal secara melintang

Stabilitas kapal melibatkan beberapa titik penting yang tersebar di seuruh badan kapal. Titik-titik utama tersebut memiliki korelasi satu sama lain. Berikut ini korelasi titik-titik dalam stabilitas kapal sebagai berikut:

a. Garis KM

Jarak antara titik M dengan titik K atau jumlah nilai garis KB dan nilai garis BM. Garis KM juga dapat diperoleh dari kurva hidrostatik (hydrostatic curve).

$$KM = KB + BM \quad (1)$$

b. Garis KB

Jarak antara titik B dengan titik K. Letak titik B di atas titik K tidak tetap, tergantung perubahan sarat atau senget dan bentuk dasar melintang kapal. Garis KB juga dapat diperoleh

dari kurva hidrostatik. Garis KB pada kapal kosong diperoleh dari hasil percobaan kemiringan.

c. Garis BM (jari-jari metasentris/metacentris radius)

Jarak antara titik M dengan titik B. Apabila kapal mengoleng dengan sudut senget kecil (0° - 15°), maka lintasan pergerakan titik B berupa busur lingkaran dengan titik M sebagai titik pusatnya dan garis BM sebagai jari-jari metasentrisnya. Titik M masih dapat dianggap tetap karena sudut senget olengnya kecil.

$$BM = KM - KB \text{ atau } BM = \frac{b^2}{10 \times d} \quad (2)$$

d. Garis KG

Jarak antara titik G dengan titik K. Penambahan, pengurangan atau pemindahan muatan pada kapal menyebabkan perubahan nilai garis KG yang juga mempengaruhi nilai garis GM dan garis GZ pada saat kapal mengoleng[9].

$$KG = KM - GM \quad (3)$$

e. Garis GZ (lengan penegak/righting arm)

Jarak antara gaya apung dan gaya gravitasi. Pada stabilitas awal kapal dengan sudut kemiringan, θ yang kecil (0° - 7° ke 10° , titik B tidak berubah), nilai garis GZ dapat diperoleh secara trigonometri (IMO, 2002).

$$GZ = GM \times \tan \Theta \text{ atau } GZ = \frac{w \times d}{\Delta} \quad (4)$$

Garis GZ berhubungan langsung dengan momen penegak (righting moment, RM) yaitu momen yang mengembalikan kapal ke kedudukan semula atau menegak kembali setelah kapal mengalami senget karena gaya/pengaruh dari luar dan gaya/pengaruh tersebut tidak bekerja lagi.

$$RM = GZ \times \Delta \text{ atau } RM = w \times d \quad (5)$$

f. Garis GM (tinggi metasentris/metacentris high)

Jarak tegak antara titik M dengan titik G. Nilai garis GM menunjukkan keadaan stabilitas awal kapal atau keadaan stabilitas dan periode oleng kapal selama pelayaran (Hind J.A, 1982).

$$GM = KM - KG$$

$$= (KB + BM) - KG$$

$$= GM = \frac{GZ}{\tan \theta} = \frac{w \times d}{\Delta \tan \theta} \quad (6)$$

Pemograman Arduino

Bahasa pemrograman Arduino pada dasarnya menggunakan bahasa pemrograman C. Bahasa C sendiri merupakan bahasa tingkat tinggi yang sangat populer dan banyak digunakan oleh para programmer. Dengan demikian aturan penulisan dan penggunaan dari bahasa Arduino akan sama dengan bahasa C. Struktur dasar bahasa pemrograman Arduino sangat sederhana hanya terdiri dari dua bagian. Dua bagian tersebut dapat juga disebut sebagai fungsi utama yaitu setup () dan loop ()[3]. Dimana setup () adalah bagian untuk inisialisasi yang hanya dijalankan sekali di awal program, sedangkan loop () untuk mengeksekusi bagian program yang akan dijalankan berulang-ulang untuk selamanya. Setelah menjalankan fungsi setup () maka secara langsung akan melakukan fungsi loop () secara berurutan dan melakukan instruksi-instruksi yang ada dalam fungsi loop () terus menerus (Bluino, 2019).

Arduino adalah alat pengembangan prototype dan platform yaitu kombinasi dari hardware, software dan IDE (Integrated Development Environment) dari physical computing yang bersifat open source. Arduino yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis Arduino Uno R3 dengan spesifikasi yaitu mikrokontroler 8 bit ATmega328, USB sebagai antarmuka pemrograman, tegangan kerja 9-12 V (power supply) dan 5 V (USB), 6 pin I/O analog (0-1023/0-5 V) dan 14 pin I/O digital (0-255/0-5 V). Software Arduino adalah IDE dengan bahasa pemrograman Java yang berperan untuk menulis program, meng-compile menjadi

kode biner dan meng-upload ke dalam memory mikrokontroler. Software Arduino yang digunakan pada penelitian ini adalah versi 1.0.5.

Accelerometer MMA7361

MMA7361 adalah modul sensor accelerometer dengan spesifikasi yaitu keluaran analog tiga sumbu (x, y dan z), tegangan kerja 3.3-5 V, mode sensitivitas +1.5 g dan +6 g, sensitivitas 800 mV/g @ 1.5 g, noise 0.1 Hz-1 kHz @ 1.5 g, temperature compensation, Low Pass Filter, 0G (Free Fall Detection) pin, GS (Precision Select) pin, SL (Sleep) pin dan ST (Self Test) pin (Taylor, 1977).

Javascript

JavaScript adalah bahasa pemrograman tingkat tinggi yang pada awalnya dikembangkan untuk membuat website menjadi lebih “hidup”. Bersama dengan HTML dan CSS, JavaScript menjadi bahasa pemrograman paling populer untuk mengembangkan aplikasi berbasis web. Bahasa ini mampu memberikan *logic* ke dalam website, sehingga website tersebut memiliki fungsionalitas tambahan dan lebih interaktif. Awalnya JavaScript dibuat supaya dapat berjalan di lingkungan browser dan membuat website menjadi lebih interaktif. Namun, saat ini bahasa pemrograman JavaScript tidak hanya sebatas browser/client, namun JavaScript juga bisa berjalan di server menggunakan Node.js. JavaScript termasuk ke dalam kategori *scripting language* sehingga kode tidak perlu dikompilasi agar bisa dijalankan. Scripting language menggunakan *interpreter* untuk menerjemahkan kode atau perintah yang ditulis supaya dimengerti oleh mesin.

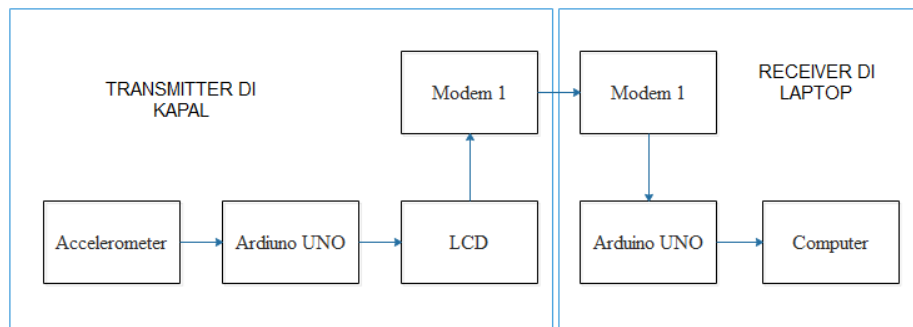
3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan pembuatan alat pengukur stabilitas kapal berdasarkan mikrokontroler. Sensor yang dipakai dalam pendeksi kemiringan menggunakan Arduino. Lokasi penelitian dilakukan pada laboratorium Jurusan Kemaritiman digunakan sebagai pembuatan persamaan algoritma. Bengkel non logam Jurusan Teknik Perkapalan jalan Leseng Desa Sungai Alam digunakan sebagai tempat pembuatan model kapal. Penelitian dilakukan pada bengkel dengan menggunakan peralatan perkakas tangan.

Tahap penelitian dimulai dari identifikasi masalah dan studi literatur untuk menemukan alternatif jalan keluar permasalahan yang ada. Tahap kedua dilanjutkan dengan pengembangan model yaitu menyiapkan data untuk diolah dan pemilihan metode yang tepat dalam penelitian, sehingga hasil yang diinginkan dapat tercapai.

Perancangan inclinometer pada penelitian ini dilakukan melalui dua tahap yaitu perancangan *hardware* dan *software*. Perancangan hardware terdiri atas model kapal, accelerometer MMA7361, mikrokontroler Arduino, bluetooth HC-05 dan LCD QC1602A, sedangkan perancangan software terdiri atas pemrograman Javascript dan pemrograman mikrokontroler Arduino. Sudut kemiringan kapal dideteksi oleh accelerometer MMA7361 berupa nilai sumbu x (*rolling*) yang selanjutnya diolah oleh mikrokontroler Arduino untuk ditampilkan di LCD QC1602A dan dikirim ke laptop melalui bluetooth HC-05. Pada laptop dilakukan perhitungan menggunakan pemrograman JavaScript dengan data masukan adalah nilai garis KM, garis KB, Δ , w, d dan θ , sedangkan data keluarannya adalah nilai garis BM, garis GZ, garis GM, garis KG dan momen RM.

Perancangan dan pembuatan alat diklasifikasikan menjadi dua tahap yaitu tahap pertama perancangan dan pembuatan perangkat keras (*hardware*) dan tahap kedua perancangan dan pembuatan perangkat lunak (*software*). Perancangan dan pembuatan perangkat keras meliputi diagram blok rangkaian dan perancangan rangkaian alat, sedangkan perancangan dan pembuatan perangkat lunak meliputi diagram alir utama system.



Gambar 2. Diagram Blok Perancangan alat Simulator

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Model Kapal

Model kapal yang digunakan tipe tangker dengan spesifikasi dapat dilihat dalam tabel berikut. Panjang kapal LOA 90 meter; LPP 84 meter, lebar 15,20 meter, Tinggi 7,2 meter, tinggi sarat 5,0 meter. Berikutnya pembuatan gambar dalam software maxsurf sebagai awal pembuatan model kapal. Penggambaran ulang dibantu perangkat lunak supaya memudahkan mendapatkan bentuk lambung yang sesuai dengan kapal yang sebenarnya. Hasil dari penggambaran ulang model kapal dapat dilihat pada gambar berikut ini.



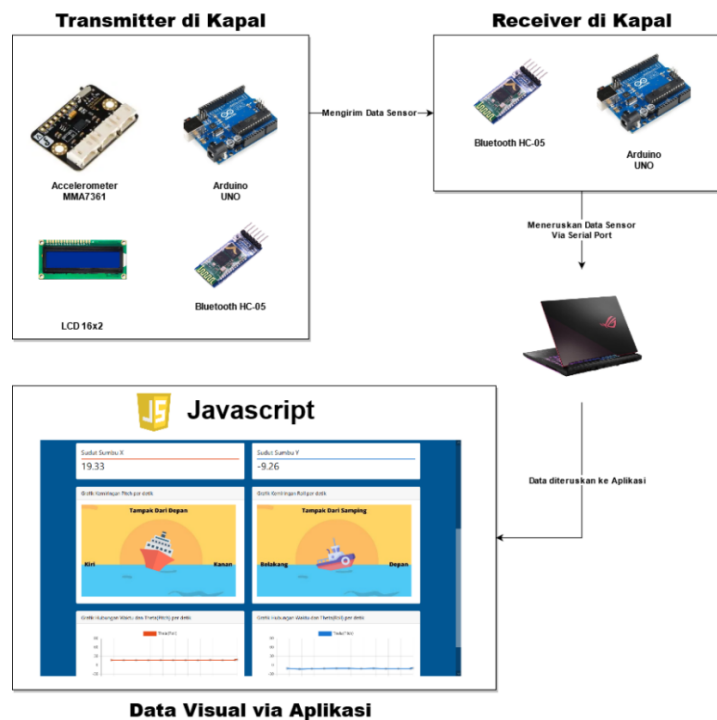
Gambar 3. a) Model kapal dalam software dan b) model kapal setelah di cetak alat simulator stabilitas kapal

Perancangan Aplikasi

Perancangan inclinometer pada penelitian ini dilakukan melalui dua tahap yaitu perancangan hardware dan software. Perancangan hardware terdiri atas model kapal, accelerometer MMA7361, mikrokontroler Arduino, bluetooth HC-05 dan LCD QC1602A, sedangkan perancangan software terdiri atas pemrograman javascript dan pemrograman mikrokontroler Arduino. Rancangan aplikasi terdapat dua tiga bagian kerangka besar. Pertama transmitter pada kapal, kedua receiver, dan laptop. Pada tahap pertama transmitter bertugas memberikan data masukan dari sudut kemiringan. Sudut kemiringan dihasilkan dari pemberian pembebanan. Sudut tersebut digunakan sebagai input memberikan informasi kondisi kapal miring sekian derajat. Sudut yang dihasilkan sudah dalam satuan derajat. Tahap kedua receiver bertugas menerima hasil sudut yang dihasilkan oleh proses pembebanan. Dalam receiver diolah informasi yang dapat digunakan dalam pemrograman javascript. Pemrograman dibantu dengan javascript yang mengolah data masukan atau variabel input menjadi informasi perhitungan stabilitas kapal.

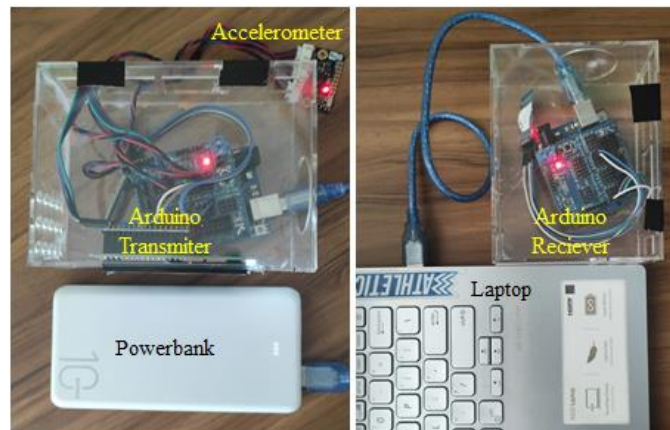
Sudut kemiringan kapal dideteksi oleh accelerometer MMA7361 berupa nilai sumbu x (rolling) yang selanjutnya diolah oleh mikrokontroler Arduino untuk ditampilkan di LCD QC1602A dan dikirim ke laptop melalui bluetooth HC-05. Pada laptop dilakukan perhitungan menggunakan pemrograman Javascript dengan memasukkan data adalah Draft kapal, lebar

kapal, Displacement kapal, Berat Beban. sedangkan data keluarannya adalah tinggi titik apung KB, Garis KM, Lengan Penegak GZ, Tinggi metrasentra GM, daris KG, Moment Penegak RM, Jari-jari Metrasentra. Alur program simulator dimulai dari sensor accelerometer menangkap data pergerakan kapal. Pergerakan kapal berdasarkan pemberian beban pada setiap titik. Titik pembebanan ditentukan sesuai dengan syarat inclining test. Kondisi kapal dalam keadan even keel dan gelombang air dalam kondisi tenang. Data olahan memunculkan sumbu X dan sumbu Y. Data olahan maksudnya data yang diolah oleh mikrokontroler arduino dan accelerometer. Selanjutnya melakukan pengiriman data melalui bluetooth trasmitter ke bluetooth receiver. Data diteruskan dari receiver ke komputer melalui serial port. Berikutnya data akan ditampilkan secara visual oleh aplikasi. Pengolahan data dibantu oleh pemrograman javascript . Memunculkan beberapa output antara lain: tinggi titik apung KB, Garis KM, Lengan Penegak GZ, Tinggi metrasentra GM, daris KG, Moment Penegak RM, Jari-jari Metrasentra.



Gambar 4. tampilan Javascript simulator stabilitas kapal

Penerapan alat model kapal dibagi menjadi dua bagian yaitu alat trasmietr dan recevier. Alat transmieter ditempatkan pada geladak kapal. Sedangkan alat reciever ditempatkan pada port komputer. Transmieter terdiri dari sensor arduino, accelerometer, LCD, port bluetooth, dan powerbank. Reciever terdiri dari sensor arduino, port bluetooth, dan laptop.



Gambar 5. Diagram Blok Perancangan alat Simulator

Pengujian Aplikasi Pada Model Kapal

Pengujian dan analisa data inclinometer dilakukan dengan metode perbandingan menggunakan bandul sebagai cara konvensional, sedangkan busur derajat digunakan sebagai alat ukur sudut acuan. Tingkat keakurasian inclinometer dalam mengidentifikasi garis stabilitas melintang kapal melalui percobaan kemiringan yang dilakukan di kolam percobaan Politeknik Negeri Bengkalis Jurusan Kemaritiman. Hasil pengujian inclinometer dan busur derajat adalah sudut kemiringan kapal, θ dan hasil pengujian pendulum adalah jarak simpangan pendulum, s . Hubungan antara s dan θ adalah,

$$\tan \theta = \frac{s}{l} \text{ (dalam radian)}$$

Nilai θ yang telah didapatkan didukung dengan nilai dari data hidrostatis kapal yaitu nilai garis KM, garis KB dan Δ digunakan untuk menghitung nilai garis BM, garis GZ, garis GM, garis KG dan momen RM, kemudian hasilnya dianalisa tingkat keakurasiannya. Melakukan pengujian stabilitas kapal sesuai dengan standar IMO Resolution A.749 (18). Pengujian berdasarkan IMO Resolution A.79 (18) sebagai berikut:

- a. Kondisi lingkungan
 - 1) Kapal diposisikan tidak oleng/trim, tegak dan terapung bebas;
 - 2) Kapal tidak dalam kondisi muatan, tidak ada permukaan bebas cairan dan tidak ada benda yang bergerak bebas;
 - 3) Kondisi Cuaca dan air dalam keadaan tenang/stabil;
 - 4) Inclinometer yang dalam ini menggunakan sensor accelerometer diposisikan pada garis CL di paralel midle body;
 - 5) Panjang lengan pendulum, adalah 17 cm dan diletakkan pada garis CL paling lebar dari kapal;
 - 6) Beban percobaan w yang dipindahkan untuk memiringkan kapal berjumlah empat buah dan masing-masing mempunyai berat 1 kg;
 - 7) Jarak perpindahan beban, d adalah 16 cm;
 - 8) Busur derajat sebagai pengukur sudut kemiringan acuan diletakkan pada garis CL paling lebar dari kapal.
- b. Letakkan dua beban, w_1 , pada kapal sebelah kanan (starboard, SB) dan dua beban, w_3 dan w_4 diletakkan pada dasar kapal sebelah kiri (port side, PS) (percobaan 0)
- c. Pindahkan beban, w_1 secara melintang ke PS dengan jarak perpindahan, d (Percobaan 1).
- d. Pindahkan beban, w_1 secara melintang dari SB dengan jarak perpindahan d , sedangkan w_2 diposisi PS (Percobaan 2).
- e. Letakkan dua beban disisi SB w_1 dan tambahkan beban disisi kiri PS w_2 satu beban (Percobaan 3).

- f. Letakkan tiga beban disisi SB w1 dan tambahkan beban disisi kiri PS w2 satu beban (Percobaan 4).
- g. Letakkan empat beban disisi SB w1 (Percobaan 5).

Tabel 1. *Data percobaan Alat simulator Stabilitas*

Percobaan	s (cm)	Θ (°)	BM (cm)	GZ (cm)	GM (cm)	KG (cm)	RM (kg.cm)
0,00	0,00	0,00	15,00	0,00	0,40	0,00	0,00
1,00	0,70	3,02	15,00	0,53	0,34	0,44	0,31
2,00	1,30	5,05	15,00	1,04	0,40	0,64	0,30
3,00	0,00	0,00	15,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,00	0,70	3,03	15,00	0,53	0,43	0,30	0,10
5,00	1,30	5,05	15,00	0,95	0,34	1,11	0,20
Rerata	0,80	3,23	15,00	0,61	0,38	0,50	0,18

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil pengamatan yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka didapatkan hasil yang baik. Hasil pengambilan sudut kemiringan dengan menggunakan accelerometer dapat dilakukan secara cepat. Dengan sudut percobaan kemiringan 0° - 5° dan busur derajat sebagai alat ukur sudut acuan. Hasil perhitungan dengan menggunakan model didapatkan BM 3,23 cm; GZ 0,61 cm; GM 0,38 cm; KG 0,50 cm; RM 0,18 cm. Selisih hasil pengujian percobaan sudut kemiringan kemungkinan dikarenakan oleh kesalahan pembacaan skala pada model kapal. Untuk mengetahui tingkat akurasi inclinometer lebih lanjut dalam mengidentifikasi garis stabilitas melintang kapal, maka perlu dilakukan percobaan kemiringan dengan model kapal yang berbeda dan sudut yang lebih besar dari 5° .

6. DAFTAR PUSTAKA

- Hind J.A. (1982). *Stability and Trim of Fishing Vessels and Other Small Ships*. Second Edition. Farnham, Surrey: Fishing News Books, Ltd : 1-40.
- <https://www.bluno.com/2019/10/bahasa-pemrograman-arduino.html>. 2021.
- International Maritime Organization (IMO). (1983). *International Conference on Safety Fishing Vessels 1977*. London : IMO.
- International Maritime Organization (IMO). (2002). Res. A. 749 (18) as Amended by Res. MSC. 75 (69). *Code on Intact Stability for All Types of ships*. London: IMO.
- John-David W., Josh A., Harald M. (2011). *Arduino Robotics*. New York: Springer Science+Business Media, LLC : 21-77.
- Simon M. (2010). *30 Project Arduino For Evil Genius*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc. 2010: 15-131.
- Shyh-Kuang Ueng. (2013). *Physical Models for Simulating Ship Stability and Hydrostatic Motions*. *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 21, No. 6, pp. 674-685.
- Taylor L.G. (1977). *The Principles of Ship Stability*. Glasgow: Brown, Son & Publisher, Ltd., Nautical Publisher :7-60.
- The International Association of Classification Societies (IACS). (2004). Rec. 1990/Corr.1 Jan 2004 No.31. *Inclining Unified Procedure*. London: IACS.