

IDENTIFIKASI GARIS STABILITAS MELINTANG KAPAL MELALUI PERCOBAAN KEMIRINGAN MENGGUNAKAN DELPHI BERBASIS ARDUINO

Isa Rachman^{*)}, Lilik Subiyanto, Gaguk Suhardjito, and Arie Indartono

Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

^{*)}E-Mail : ics_isarachman@yahoo.com

Abstrak

Stabilitas kapal pada berbagai kondisi selama penambahan, pengurangan atau pemindahan muatan dan selama pelayaran dapat dihitung dengan mengetahui kondisi stabilitas awal kapal terlebih dahulu. 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. 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 hidrostatik 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 CL. Pada penelitian ini dibahas mengenai identifikasi garis stabilitas melintang kapal melalui percobaan kemiringan menggunakan pemrograman Delphi berbasis mikrokontroler Arduino yang berfungsi sebagai inclinometer. Tingkat keakurasian inclinometer dihitung dengan cara membandingkannya dengan pendulum dan busur derajat yang berfungsi sebagai alat ukur sudut acuan. Identifikasi garis stabilitas melintang kapal melalui hasil pengujian percobaan kemiringan menggunakan inclinometer dapat dilakukan secara cepat, praktis dan memiliki tingkat akurasi rata-rata yang lebih baik jika dibandingkan menggunakan pendulum dengan prosentase tingkat keakurasian rata-rata adalah 99,78 % dan prosentase tingkat *error* rata-rata adalah 0,22 % untuk sudut percobaan kemiringan 0° - 4° .

Kata kunci : stabilitas, melintang, kemiringan, garis, inclinometer.

Abstract

Stability of the ship under varying conditions during the addition, reduction or displacement of load and during the cruise can be calculated by knowing the condition of initial stability ship first. Generally, the initial stability of the ship is confined to the transverse stability. This means that line of the transverse stability of the lightship must be known in advance by carrying out the inclining experiment. Line of the transverse stability of the ship include KM, KB, BM, GZ, GM and KG. Value of KM and KB can be obtained from the ship hydrostatic curve, while value of BM, GZ, GM and KG can be obtained from the inclining experiment. Conventionally, the inclining experiment carried out using a pendulum at CL. In this study discussed identification the line of the transverse stability of the ship through the inclining experiments using the Delphi programming based on Arduino microcontroller that functions as an inclinometer. Inclinometer accuracy rate is calculated by comparing it with a pendulum and a protractor that functions as a reference. Identification the line of the transverse stability of the ship through the test results of the inclining experiment using inclinometer can be done quickly, practically and having an average degree of accuracy that is better than using a pendulum with a percentage of the average accuracy rate was 99,78 % and the average error rate was 0,22 % for the inclining experiment angle 0° - 4° .

keywords : stability, transverse, inclining, line, inclinometer.

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. Akibat dari kecelakaan tersebut menyebabkan kerugian materi yang tidak sedikit dan bahkan menyangkut korban jiwa manusia serta pencemaran lingkungan [1].

Sebelum stabilitas kapal pada berbagai kondisi selama penambahan, pengurangan atau pemindahan muatan dan selama pelayaran dihitung, kondisi stabilitas awal kapal harus diketahui terlebih dahulu. 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 hidrostatik 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 senget (*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 [2]. 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. Metode

2.1 Penentuan Garis Stabilitas Melintang

Stabilitas/keseimbangan kapal adalah sifat/kecenderungan sebuah kapal untuk kembali ke kedudukan semula atau menegak kembali setelah mengalami senget akibat gaya/pengaruh dari luar (angin, ombak, gelombang, badai dan arus) dan dalam (tata letak muatan, bentuk, ukuran dan kebocoran kapal). Stabilitas kapal tergantung kepada titik pusat gravitasi akibat berat kapal tersebut yang diukur dari dasar/lunas kapal, K (*keel*).

Stabilitas kapal dibagi dua jenis sesuai sudutnya yaitu,

- a. Stabilitas awal (*initial stability*)
Stabilitas awal ditinjau dari titik M terhadap titik G dan jarak antara titik G dengan titik M, garis GM. Tinjauan ini dilakukan dengan sudut senget yang kecil (0° - 15°) dan titik M yang tetap.

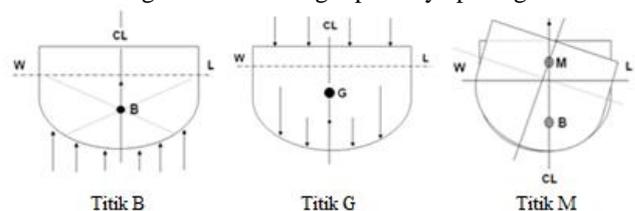
- b. Stabilitas lanjut (*large angle stability*)
Stabilitas lanjut digunakan untuk mendapatkan besaran nilai garis GZ dari nilai garis GM terhadap variasi sudut senget melintang kapal (*heel*). Tinjauan ini dilakukan dengan sudut senget yang besar ($>15^{\circ}$) dan titik M yang tidak tetap.

Stabilitas kapal dibagi dua jenis sesuai arahnya yaitu,

- a. Stabilitas melintang (*transversal stability*)
Stabilitas dalam arah melintang yang disebabkan oleh adanya pengaruh luar yang bekerja padanya.
- b. Stabilitas membujur atau memanjang (*longitudinal stability*)
Stabilitas dalam arah membujur atau memanjang yang disebabkan oleh adanya pengaruh luar yang bekerja padanya [2] [3].

Titik-titik dalam stabilitas melintang kapal yaitu,

- a. Titik apung, B (*center of buoyance*)
Titik resultan gaya berat geometris bagian kapal yang terbenam dalam air yang menekan ke atas. Titik tangkap B tidak tetap karena adanya perubahan sarat kapal, *d* (*draft*). Titik B menyebabkan kapal mampu tegak kembali setelah mengalami senget. Letak titik B tergantung besar sudut senget kapal. Apabila kapal mengalami senget, maka titik B berpindah ke sisi yang lebih rendah.
- b. Titik berat, G (*center of gravity*)
Titik resultan gaya berat seluruh bagian kapal yang menekan ke bawah. Penambahan, pengurangan atau pemindahan muatan pada kapal mempengaruhi letak titik G. Letak titik G pada kapal kosong ditentukan dari hasil percobaan kemiringan.
- c. Titik metasentris, M (*metacenter*)
Titik semu yang letaknya berubah apabila sudut senget kapal besar ($>15^{\circ}$). Letak titik M tetap apabila sudut senget kapal kecil (0° - 15°). Apabila kapal mengalami senget, maka titik B bergerak sepanjang busur dengan titik M sebagai pusatnya pada garis CL.



Gambar 1. Titik-Titik Stabilitas Melintang Kapal

Garis-garis dalam stabilitas melintang kapal yaitu,

- 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 hidrostatis. Garis KB pada kapal kosong diperoleh dari hasil percobaan kemiringan.

Tabel 1. Hubungan Garis KB dengan Bentuk Dasar Melintang Kapal.



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.

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

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.

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

e. Garis GZ (lengan penegak/*righting arm*)
 Jarak antara gaya apung dan gaya gravitasi. Pada stabilitas awal kapal dengan sudut kemiringan, yang kecil (0° - 7° ke 10° , titik B tidak berubah), nilai garis GZ dapat diperoleh secara trigonometri.

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

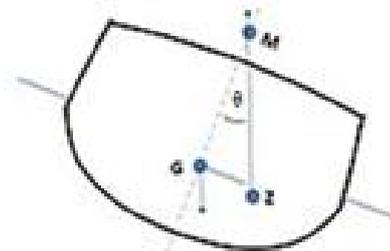
Garis GZ berhubungan langsung dengan momen penegak (*righting moment*, RM) yaitu momen yang mengembalikan kapal ke kedudukan semula atau menegak kembali setelah kapal mengalami senget karena gaya/pengaruh dari luar dan gaya/pengaruh tersebut tidak bekerja lagi.

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

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 [2] [3].

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

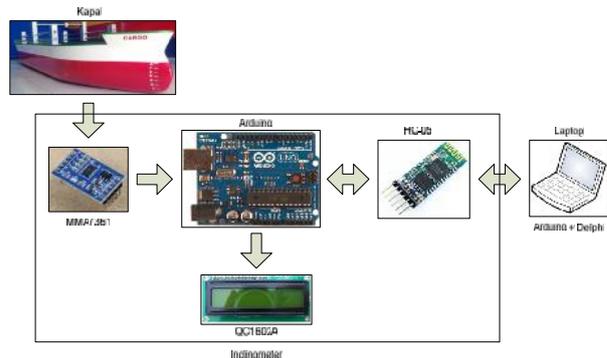
$$= GM = \frac{GZ}{\tan \theta} = \frac{w \cdot d}{\Delta \cdot \tan \theta} \quad (6)$$



Gambar 2. Garis GZ (Lengan Penegak/*Righting Arm*)

2.2 Perancangan

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 Delphi dan pemrograman mikrokontroler Arduino.



Gambar 3. Perancangan Inclinometer

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 Delphi dengan data masukan adalah nilai garis KM, garis KB, w , d dan Δ , sedangkan data keluarannya adalah nilai garis BM, garis GZ, garis GM, garis KG dan momen RM.

2.2.1 Kapal

Kapal yang digunakan pada penelitian ini adalah model kapal berjenis general cargo dengan ukuran utama adalah, Design length : 150,0 cm Beam over all : 26,5 cm Length over all : 156,9 cm Design draft : 6,8 cm Design beam : 26,5 cm Midship location : 75,0 cm



Gambar 4. Model Kapal General Cargo

Tabel 2. Data Hidrostatik Kapal

Draft (cm)	Displacement (kg)	VCB (cm)	KMt (cm)
1,00	3,00	0,50	50,20
2,00	6,00	1,00	26,80
3,00	9,00	1,60	19,20
4,00	12,00	2,10	15,50
5,00	15,00	2,60	13,40
6,00	18,00	3,10	12,20
7,00	22,00	3,60	11,50
8,00	25,00	4,20	11,10
9,00	29,00	4,70	11,00
10,00	32,00	5,20	10,90
11,00	36,00	5,80	11,00

2.2.2 Accelerometer MMA7361

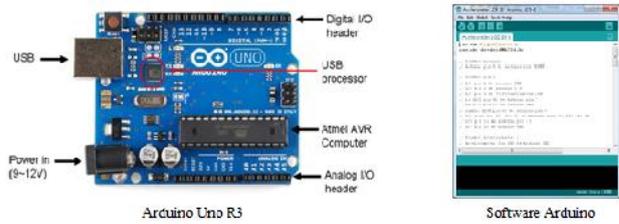
MMA7361 adalah modul sensor accelerometer dengan spesifikasi yaitu keluaran analog tiga sumbu (*x*, *y* dan *z*), tegangan kerja 3.3-5 V, mode sensitivitas ± 1.5 g dan ± 6 g, sensitivitas 800 mV/g @ 1.5 g, noise 0.1 Hz-1 kHz @ 1.5 g, temperature compensation, Low Pass Filter, 0G (Free Fall Detection)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



Gambar 5. Modul Sensor Accelerometer MMA7361

2.2.3 Mikrokontroler Arduino

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.



Gambar 6. Arduino

2.2.4 Bluetooth HC-05

HC-05 adalah modul komunikasi serial bluetooth dengan spesifikasi yaitu protokol V2.0+EDR, modulasi 3 Mbps, frekuensi 2.4 GHz ISM Band, sensitivitas -80 dBm, kecepatan 1-2.1 Mbps, jarak jangkauan 10 m (tanpa halangan), tegangan kerja 3.3 V, mode master dan slave, antena dan 6 pin.



Gambar 7. Modul Bluetooth HC-05

2.2.5 LCD QC1602A

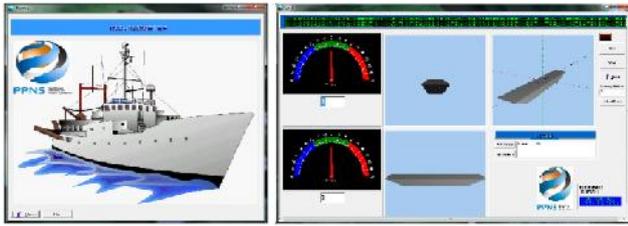
QC1602A adalah modul tampilan LCD (Liquid Crystal Display) dengan spesifikasi yaitu layar 2.6" *positive transfective* dengan 16 karakter 2 baris (putih), LED *backlight* (biru), 4/8 bit *parallel interface*, tegangan kerja 5 V dan 16 pin [4] [5].



Gambar 8. Modul LCD QC1602A

2.2.6 Delphi

Delphi adalah IDE *compiler* yang menggunakan bahasa pemrograman Pascal dan bersifat OOP (Object Oriented Programming) untuk perancangan aplikasi. Unsur OOP terdiri atas *encapsulation* (pemodelan), *inheritance* (penurunan) dan *polymorphism* (polimorfisme). Delphi yang digunakan pada penelitian ini adalah versi 7.



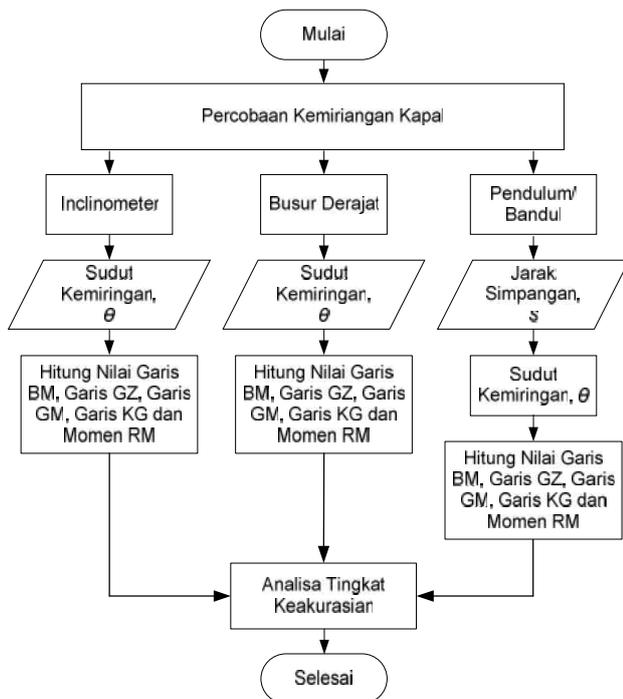
Gambar 9. Delphi

2.3 Pengujian dan Analisa Data

Pengujian dan analisa data inclinometer dilakukan dengan metode perbandingan menggunakan pendulum sebagai cara konvensional dan busur derajat sebagai alat ukur sudut acuan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui tingkat keakurasian inclinometer dalam mengidentifikasi garis stabilitas melintang kapal melalui percobaan kemiringan yang dilakukan di kolam percobaan Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya. Hasil pengujian inclinometer dan busur derajat adalah sudut kemiringan kapal, dan hasil pengujian pendulum adalah jarak simpangan pendulum, s . Hubungan antara s dan θ adalah,

$$\tan \theta = \frac{s}{l} \text{ (dalam radian)} \quad (7)$$

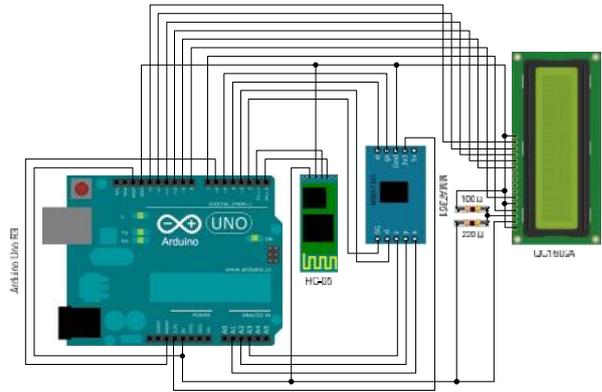
Nilai θ yang telah didapatkan didukung dengan nilai dari data hidrostatis kapal yaitu nilai garis KM, garis KB dan digunakan untuk menghitung nilai garis BM, garis GZ, garis GM, garis KG dan momen RM, kemudian hasilnya dianalisa tingkat keakurasiannya.



Gambar 10. Diagram Alir Pengujian dan Analisa Data

3. Hasil dan Analisa

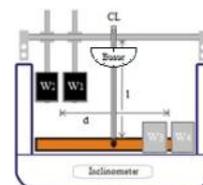
Susunan rangkaian inclinometer secara keseluruhan yang diuji dan dianalisa datanya pada penelitian ini adalah,



Gambar 11. Rangkaian Inclinometer

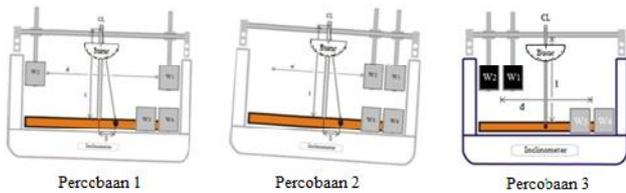
Pengujian percobaan kemiringan dilakukan sesuai dengan prosedur IACS 2004 dan IMO Resolution A.749 (18) sebagai berikut [6] [7] :

- a. Kondisi/keadaan :
 1. Kapal dalam kondisi tidak oleng/trim, tegak dan terapung bebas.
 2. Kondisi kapal kosong, tidak ada permukaan bebas cairan dan tidak ada benda yang bergerak bebas.
 3. Cuaca dan air dalam keadaan tenang/stabil.
 4. Inclinometer diletakkan pada garis CL paling lebar dari kapal.
 5. Panjang lengan pendulum, l adalah 17 cm dan diletakkan pada garis CL paling lebar dari kapal.
 6. Beban, w yang dipindahkan untuk memiringkan kapal berjumlah empat buah dan masing-masing mempunyai berat 0,5 kg.
 7. Jarak perpindahan beban, d adalah 16 cm.
 8. Pengujian dilakukan dengan sudut kemiringan $0^\circ - 4^\circ$.
 9. Busur derajat yang berfungsi sebagai alat ukur sudut acuan diletakkan pada garis CL paling lebar dari kapal.
- b. Letakkan dua beban, w_1 dan w_2 , pada cradle kapal sebelah kanan (starboard, SB) dan dua beban, w_3 dan w_4 diletakkan pada dasar kapal sebelah kiri (port side, PS) sehingga didapatkan jarak simpangan pendulum, s dan sudut kemiringan, θ inclinometer dan busur derajat (Percobaan 0).



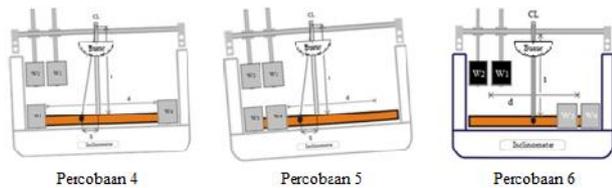
Gambar 12. Percobaan 0

- c. Pindahkan beban, w_1 secara melintang dari PS ke SB dengan jarak perpindahan, d sehingga didapatkan jarak simpangan pendulum, s dan sudut kemiringan, inclinometer dan busur derajat (Percobaan 1).
- d. Pindahkan beban, w_2 secara melintang dari PS ke SB dengan jarak perpindahan, d sehingga didapatkan jarak simpangan pendulum, s dan sudut kemiringan, inclinometer dan busur derajat (Percobaan 2).
- e. Kembalikan empat beban tersebut ke posisi semula sebelum terjadi perpindahan sehingga didapatkan jarak simpangan pendulum, s dan sudut kemiringan, inclinometer dan busur derajat (Percobaan 3).



Gambar 13. Percobaan 1, 2 dan 3

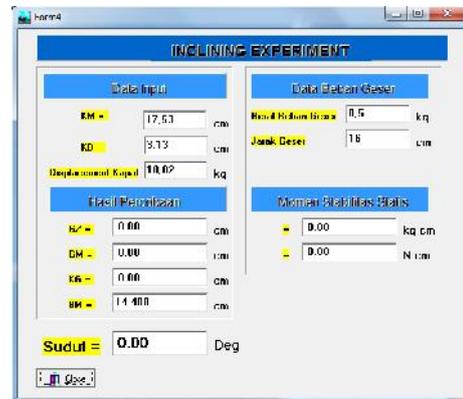
- f. Pindahkan beban, w_3 secara melintang dari SB ke PS dengan jarak perpindahan, d sehingga didapatkan jarak simpangan pendulum, s dan sudut kemiringan, inclinometer dan busur derajat (Percobaan 4).
- g. Pindahkan beban, w_4 secara melintang dari SB ke PS dengan jarak perpindahan, d sehingga didapatkan jarak simpangan pendulum, s dan sudut kemiringan, inclinometer dan busur derajat (Percobaan 5).
- h. Kembalikan empat beban tersebut ke posisi semula sebelum terjadi perpindahan sehingga didapatkan jarak simpangan pendulum, s dan sudut kemiringan, inclinometer dan busur derajat (Percobaan 6).



Gambar 14. Percobaan 4, 5 dan 6

Didukung dengan nilai dari data hidrostatis kapal yaitu nilai garis KM, garis KB dan , maka nilai s yang telah didapatkan dari jarak simpangan pendulum akan digunakan untuk menghitung secara manual nilai , garis BM, garis GZ, garis GM, garis KG dan momen RM. Nilai yang telah didapatkan dari inclinometer melalui sensor accelerometer MMA7361 berupa nilai sumbu x (rolling) akan ditampilkan di LCD QC1602A dan dikirimkan ke laptop yang berjarak 2 meter dari model kapal melalui komunikasi serial bluetooth HC-05 dengan kecepatan transfer data 9600 bps (bit per second) untuk dilakukan proses perhitungan nilai garis BM, garis GZ, garis GM, garis KG dan momen RM dengan menggunakan pemrograman Delphi. Nilai yang telah didapatkan dari

busur derajat akan digunakan untuk menghitung secara manual nilai garis BM, garis GZ, garis GM, garis KG dan momen RM.



Gambar 15. Hasil Perhitungan Menggunakan Delphi pada Inclinometer

Sesuai dengan data hidrostatis kapal yang digunakan pada penelitian ini, maka didapatkan nilai rata-rata garis KM adalah 17,53 cm, garis KB adalah 3,13 cm dan adalah 18,82 kg. Hasil pengujian percobaan kemiringan menggunakan pendulum, inclinometer dan busur derajat ditunjukkan pada Tabel 3, Tabel 4 dan Tabel 5. Sedangkan perbandingan hasil pengujian percobaan kemiringan menggunakan busur derajat dengan pendulum dan inclinometer ditunjukkan pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 3. Hasil Pengujian Percobaan Kemiringan Menggunakan Pendulum

Perc.	Parameter						
	s (cm)	(°)	G. BM (cm)	G. GZ (cm)	G. GM (cm)	G. KG (cm)	M. RM (kg.cm)
0	0,00	0,00	14,40	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,60	2,02	14,40	0,43	12,19	5,34	8,09
2	1,20	4,04	14,40	0,85	12,04	5,49	16,00
3	0,00	0,00	14,40	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,60	2,02	14,40	0,43	12,19	5,34	8,09
5	1,20	4,04	14,40	0,85	12,04	5,49	16,00
6	0,00	0,00	14,40	0,00	0,00	0,00	0,00
Rerata	0,60	2,02	14,40	0,43	12,12	5,42	8,03

Tabel 4. Hasil Pengujian Percobaan Kemiringan Menggunakan Inclinometer

Perc.	Parameter						
	s (cm)	(°)	G. BM (cm)	G. GZ (cm)	G. GM (cm)	G. KG (cm)	M. RM (kg.cm)
0	-	0,00	14,40	0,00	0,00	0,00	0,00
1	-	2,00	14,40	0,43	12,31	5,22	8,09
2	-	4,02	14,40	0,85	12,10	5,43	16,00
3	-	0,00	14,40	0,00	0,00	0,00	0,00
4	-	2,00	14,40	0,43	12,31	5,22	8,09
5	-	4,02	14,40	0,85	12,10	5,43	16,00
6	-	0,00	14,40	0,00	0,00	0,00	0,00
Rerata	-	2,01	14,40	0,43	12,21	5,33	8,03

Tabel 5. Hasil Pengujian Percobaan Kemiringan Menggunakan Busur Derajat

Perc.	Parameter						
	s (cm)	(°)	G. BM (cm)	G. GZ (cm)	G. GM (cm)	G. KG (cm)	M. RM (kg.cm)
0	--	0,00	14,40	0,00	0,00	0,00	0,00
1	--	2,00	14,40	0,43	12,31	5,22	8,09
2	--	4,00	14,40	0,85	12,16	5,37	16,00
3	--	0,00	14,40	0,00	0,00	0,00	0,00
4	--	2,00	14,40	0,43	12,31	5,22	8,09
5	--	4,00	14,40	0,85	12,16	5,37	16,00
6	--	0,00	14,40	0,00	0,00	0,00	0,00
Rerata	--	2,00	14,40	0,43	12,24	5,30	8,03

Tabel 6. Perbandingan Hasil Pengujian Percobaan Kemiringan Menggunakan Busur Derajat dan Pendulum

Param.	Perbandingan			
	Busur derajat	Pendulum/ bandul	Akurasi (%)	Akurasi rerata (%)
s (cm)	--	0,60	--	
(°)	2,00	2,02	99,01	
G. BM (cm)	14,40	14,40	100,00	
G. GZ (cm)	0,43	0,43	100,00	99,30
G. GM (cm)	12,24	12,12	99,02	
G. KG (cm)	5,30	5,42	97,79	
M. RM (kg.cm)	8,03	8,03	100,00	

Tabel 7. Perbandingan Hasil Pengujian Percobaan Kemiringan Menggunakan Busur Derajat dan Inclinometer

Param.	Perbandingan			
	Busur derajat	Inclinometer	Akurasi (%)	Akurasi rerata (%)
s (cm)	--	--	--	
(°)	2,00	2,01	99,50	
G. BM (cm)	14,40	14,40	100,00	
G. GZ (cm)	0,43	0,43	100,00	99,78
G. GM (cm)	12,24	12,21	99,76	
G. KG (cm)	5,30	5,33	99,44	
M. RM (kg.cm)	8,03	8,03	100,00	

Berdasarkan tabel hasil pengujian percobaan kemiringan di atas terlihat bahwa perpindahan satu buah beban seberat 0,5 kg dengan jarak 16 cm pada percobaan kemiringan dapat menghasilkan sudut kemiringan kapal, sebesar 2°. Selain itu, dari tabel perbandingan hasil pengujian percobaan kemiringan terlihat bahwa hasil pengujian percobaan kemiringan menggunakan pendulum memiliki prosentase tingkat akurasi rata-rata adalah 99,30 % dengan prosentase tingkat *error* rata-rata adalah 0,70 % dan hasil pengujian percobaan kemiringan menggunakan inclinometer memiliki prosentase tingkat akurasi rata-rata adalah 99,78 % dengan prosentase tingkat *error* rata-rata adalah 0,22 %.

4. Kesimpulan

Dari hasil dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka didapatkan kesimpulan yaitu identifikasi garis stabilitas melintang kapal melalui percobaan kemiringan menggunakan inclinometer dapat dilakukan secara cepat, praktis dan memiliki tingkat akurasi rata-rata lebih baik dibandingkan menggunakan pendulum dengan prosentase tingkat keakurasian rata-rata adalah 99,78 % untuk sudut percobaan kemiringan 0°-4° dan busur derajat sebagai alat ukur sudut acuan. Perbedaan pada hasil pengujian percobaan kemiringan menggunakan pendulum kemungkinan disebabkan karena adanya kesalahan pada saat melihat skala pengukuran (kesalahan paralaks). 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 yaitu 4°-15°.

Referensi

- [1]. International Maritime Organization (IMO). *International Conference on Safety Fishing Vessels 1977*. London: IMO. 1983.
- [2]. Hind J.A. *Stability and Trim of Fishing Vessels and Other Small Ships*. Second Edition. Farnham, Surrey: Fishing News Books, Ltd. 1982: 1-40.
- [3]. Taylor L.G. *The Principles of Ship Stability*. Glasgow: Brown, Son & Publisher, Ltd., Nautical Publisher. 1977: 7-60.
- [4]. Simon M. *30 Project Arduino For Evil Genius*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc. 2010: 15-131.
- [5]. John-David W., Josh A., Harald M. *Arduino Robotics*. New York: Springer Science+Business Media, LLC. 2011: 21-77.
- [6]. The International Association of Classification Societies (IACS). Rec. 1990/Corr.1 Jan 2004 No.31. *Inclining Unified Procedure*. London: IACS. 2004.
- [7]. International Maritime Organization (IMO). Res. A. 749 (18) as Amended by Res. MSC. 75 (69). *Code on Intact Stability for All Types of ships*. London: IMO. 2002.