

## Rancang Bangun Prototipe Stabilitas Kapal dan *Smart Ballast Control*

Rizal<sup>1)</sup>, Dedy Wahyudi<sup>1)</sup>

Program Studi Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surabaya, Indonesia  
Email : izalmrrizal@gmail.com

**Abstrak** - Kondisi pemuatan pada kapal kontainer yang melewati batas dapat mempengaruhi titik berat kapal. Penelitian dan pengujian ini bertujuan untuk menguji dan mengetahui secara empiris perihwal efek pemuatan barang atau peti kemas (G) ke dalam kapal kontainer dalam jumlah besar. Sehingga merubah titik MG sebagai stabilitas awal kapal. Dimana menentukan besarnya lengan koppel  $h = MG \sin \gamma$  ( $\gamma < 6^\circ$ ). Solusi yang dapat ditempuh untuk mengatasi hal tersebut ialah merencanakan titik G. Penelitian ini menggunakan metode pengujian dengan kapal model berukuran Loa 96 cm, B 17 cm H 8 cm. Dengan ditambahkan *Gyroscope-521* MPU 6050 sensor yang terintegrasi pada modul Arduino MEGA 2560 berfungsi untuk mengatur secara otomatis *water ballast tank* dengan menambahkan *water pump*, *relay* dan *buzzer*. Modul Arduino 2560 di uji menggunakan kapal model ukuran panjang 96 cm. Pada pengujian kering dan basah di *towing tank*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan pada pengujian kering pada  $0^\circ$ - $40^\circ$  kanan dan kiri mendapatkan data eror pembacaan sensor  $0,14^\circ$  dan ketelitian 99,96% dengan kalibrasi penggaris busur. Pada pengujian basah pada  $0^\circ$ - $40^\circ$  kanan dan kiri mendapatkan hasil pada sudut  $5^\circ$  pompa mati dan pada sudut  $40^\circ$  kiri modul mengalami *blank*.

Kata Kunci : Kapal, *Ballast*, Arduino, *Towing Tank*, *Gyroscope*, Data Eror

### I PENDAHULUAN

Transportasi adalah suatu alat yang dioperasikan makhluk hidup atau mesin yang digunakan untuk mengangkut manusia, hewan dan barang dari tempat asal ke tempat tujuan dengan selamat (N, 2015). Transportasi laut merupakan salah satu moda transportasi yang sangat penting bagi kelangsungan hidup manusia. Dinilai dari segi ekonomis dan sosial moda transportasi ini lebih murah dan efektif. Menggunakan jasa transportasi laut untuk distribusi barang dalam skala besar pada kapal kontainer dirasa lebih efektif dan efisien.

Seiring berjalannya waktu, kapal kontainer menjadi salah satu alternatif pilihan di banyak perusahaan, instansi maupun misi kemanusiaan, untuk mendistribusikan barang hingga ke tempat tujuan dengan aman dan selamat. Dapat dilihat dari pengemasan barang yang aman dan terlindungi di dalam peti kemas. Juga dilihat dari segi keamanan barang itu sendiri, serta bongkar muat yang lebih cepat dan yang paling penting adalah segi ekonomis operasional.

Berdasarkan hal tersebut, banyak perusahaan pelayaran yang memesan kapal kontainer berukuran sedang hingga berukuran

kapal raksasa, agar dapat dimuati kontainer sebanyak mungkin. Disamping itu keserakahan manusia dan human eror di lapangan masih

sering terjadi sehingga menimbulkan kecelakaan pada kapal. Muatan melebihi dari yang disyaratkan dan kesalahan penataan kontainer yang menjadikan kapal tidak stabil. Sehingga mengakibatkan tumpukan kontainer jatuh ke laut.

Kapal yang merupakan benda terapung yang digerakkan dengan mesin dan dioperasikan oleh manusia adalah benda yang rawan oleng atau tidak stabil. Kelebihan muatan menjadi salah satu faktor penyebab kapal oleng dan berujung terbalik. Hal ini disebabkan karena titik G > titik M dan hilangnya momen koppel. Stabilitas tergantung dari besarnya MG, dimana MG menentukan besarnya lengan Koppel  $h = MG \sin \gamma$  ( $\gamma < 6^\circ$ ). Permisalan sebuah ayunan dengan titik putar M dan penumpang ayunan sebagai titik G. Apabila penumpang melewati titik putar, dapat dipastikan penumpang akan jatuh. Kondisi seperti ini yang membuat kapal akan mudah mengalami rolling.

Salah satu solusi yang dapat ditempuh untuk mengetahui karakteristik sebuah kapal adalah membuat prototype atau kapal modeldan melakukan pengujian inclining test di tanki pengujian. Ditambahkan pengaturan *smart ballast control* berbasis Arduino Mega 2560 dengan variasi sarat (T) kapal.

**II TINJAUAN PUSTAKA**

Prototype merupakan model yang mula-mula (model asli) yang menjadi contoh, contoh baku dan contoh khas. (Setiawan, 2012-2018). Desain prototype berdasarkan gambar *lines plan*, *lines plan* ialah sebuah kumpulan garis *streamline* yang terdiri dari *body plan*, *sheer plan* dan *halfbearth plan* yang membentuk sebuah badan kapal yang akan dijadikan acuan bentuk dari sebuah kapal. Pada penelitian ini penulis menggunakan desain *lines plan* sebuah kapal kontainer yang sudah ada dengan ukuran : Principal dimension :

- Loa : 96 cm
- B. : .17 cm
- H : 8 cm

Pemodelan kedalam 3D menggunakan software maxsurf 20 V8i.

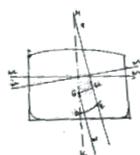
**a. Peninjauan Stabilitas Statis dan Stabilitas Dinamis**

Bila kapal oleng  $\gamma = 0^0$  titik G akan tetap, sebab displacement kapal ( $\Delta$ ) juga tetap, tetapi yang berubah adalah bentuk karena nya sehingga titik F berubah menjadi  $F\gamma$ .

Bahwa titik F berubah menjadi  $F\gamma$  dengan sendirinya terjadi perbedaan jarak antara GF dengan  $QF\gamma$  yang merupakan suatu “Energi Potensial”, maka dengan adanya energy tambahan ini maka kapal dapat mengembalikan dirinya ke posisi tegak setelah oleng. Energy tambahan ( $QF\gamma - GF$ ) ini disebut energy potensial

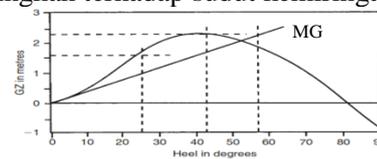
**b. Momen Penegak**

Momen penegak adalah momen yang akan mengembalikan kapal ke posisi semula setelah mengalami kemiringan karena gaya dari luar dan gaya tersebut tidak bekerja lagi (Saputra, 2012).



Gambar 1 Momen Penegak.

kurva GZ dalam arti pencegahan air masuk ke dalam kapal (Fyson, 1985). Kurva GZ menunjukkan hubungan antara lengan penegak GZ pada berbagai variasi sudut kemiringan pada perubahan berat yang konstan. Menurut Derret (1984) kurva stabilitas statis sebuah kapal memuat nilai lengan pengembali (GZ) yang dibandingkan terhadap sudut kemiringan.



Gambar 2 Contoh Kurva Lengan Stabilitas.

Dari kurva stabilitas statis GZ dapat diperoleh informasi mengenai kondisi beberapa kriteria stabilitas, yaitu:

1. Selang stabilitas (*The range of stability*), yaitu sudut selang dimana kapal memiliki nilai GZ positif;
2. *The angle of vanishing stability*, yaitu sudut kemiringan dimana nilai GZ kembali nol atau sebesar sudut dimana nilai GZ berubah dari positif menjadi negatif;
3. Nilai maksimum GZ (*the maximum GZ*) merupakan nilai pada sumbu x pada puncak tertinggi pada kurva stabilitas;
4. Tinggi metasentra (GM), pada gambar di atas ditunjukkan oleh tinggi YZ. Dimana titik Z bernilai 1 rad ( $\frac{180}{\pi}$ ); dan
5. Area di bawah kurva menggambarkan kemampuan kapal untuk menyerap energi yang diberikan oleh angin, gelombang dan gaya eksternal lainnya.
6. Luas di bawah kurva merupakan indikasi kemampuan kapal untuk kembali ke posisi semula/stabil. Semakin besar luas di bawah kurva maka semakin besar pula kemampuan kapal untuk mengatasi gaya-gaya yang membuat kapal terbalik.
7. Lengan kopel maksimum merupakan indikasi dari kemampuan kapal untuk kembali ke posisi stabil pada sudut oleng tertinggi.

**c. Periode Oleng**

Periode oleng (*rolling period*) adalah waktu yang diperlukan oleh kapal untuk melakukan satu kali oleng secara lengkap. Satu

periode oleng lengkap adalah jangka waktu yang dibutuhkan mulai dari saat kapal tegak, miring ke kiri, tegak, miring ke kanan sampai kapal kembali tegak. Periode oleng ini diusahakan sebesar 8 sampai 14 detik, karena pada saat stabilitas di waktu tersebut manusia dapat menyesuaikan sehingga tidak menimbulkan mabuk laut (Saputra, 2012).

#### d. Kriteria Stabilitas

Kriteria stabilitas kapal untuk *passenger ship* diatur oleh IMO *regulation A.749 (18)* sebagai berikut:

1. Luas kurva hingga  $30^\circ$  tidak boleh kurang dari 0.055 meter radian.
2. Luas kurva hingga  $40^\circ$  tidak boleh kurang dari 0.09 meter radian.
3. Luas kurva antara  $30^\circ$  hingga  $40^\circ$  tidak boleh kurang dari 0.03 meterradian.
4. Pada sudut  $\geq 30^\circ$ , lengan lurus GZ harus sekurang-kurangnya 0.20 meter.
5. GZ maksimum terjadi pada sudut kemiringan tidak kurang dari  $25^\circ$ .
6. Tinggi metasenter awal,  $GM_0$  tidak boleh kurang dari 0.15 meter.
7. Sudut miring yang disebabkan penumpang-penumpang berkumpul ke salah satu sisi kapal tidak boleh lebih dari  $10^\circ$ .
8. Sudut miring yang disesabkan oleh kapal berputar tidak boleh melebihi  $10^\circ$ , dengan menggunakan rumus berikut:

$$M_R = 0,02 \frac{V_o^2}{L} \left( KG - \frac{d}{2} \right)$$

Dimana:

$M_R$  = *heeling moment* (m.t)

$V_o$  = *service speed* (m/s)

$L$  = *length of ship at waterline* (m)

$\Delta$  = *displacement* (t)

$d$  = *mean draught* (m)

$KG$  = *height of centre of gravity above keel* (m)

#### e. Mikrokontroler Arduino Mega2560

Arduino Mega2560 adalah papan mikrokontroler berbasis AT mega2560 (data sheet ATmega2560). Arduino Mega2560 memiliki 54 pin digital input/output, dimana 15 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 16 pin sebagai input analog, dan 4 pin sebagai UART (*Port serial hardware*), 16 Mhz Kristal osilator, koneksi USB, jack power, header icsp, dan tombol reset.

#### f. GY-521 MPU-6050 3 Axis

##### Accelerometer Gyroscope Sensor

GY-521 MPU-6050 Module adalah sebuah sensor yang berfungsi untuk mendeteksi perubahan dan percepatan sudut. Modul ini berinti MPU-6050 yang merupakan 6 axis *Motion Processing Unit* dengan penambahan regulator tegangan dan beberapa komponen pelengkap lainnya yang membuat modul ini siap dipakai dengan menggunakan tegangan supply sebesar 3-5 VDC.

Modul ini memiliki *Interface I<sup>2</sup>C* yang dapat disambungkan langsung ke MCU yang memiliki fasilitas *I<sup>2</sup>C*. sensor MPU-6050 berisi sebuah MEMS *Gyro Accelerometer* dan sebuah MEMS *Gyro* yang saling terintegrasi. Sensor ini sangat akurat dengan fasilitas *hardware* internal 16 bit ADC untuk setiap kanalnya. Sensor ini akan menangkap nilai kanal axis X, Y dan Z bersamaan dalam satu waktu.

#### g. Relay

Relay adalah saklar yang dikendalikan secara elektro-mekanik (*electromechanical switch*). Arus listrik yang mengalir pada kumparan relay akan menciptakan medan magnet yang kemudian akan menarik lengan relay dan mengubah posisi saklar yang sebelumnya terbuka menjadi terhubung. Lihat gambar 2.12 (Christopher T.K, 1996)

#### h. Mini Water Pump

*Mini Water pump* merupakan alat bantu yang berukuran lebih kecil yang digunakan untuk memindahkan cairan dari suatu tempat 1 ke tempat lain 2 melalui suatu media (saluran), dengan cara menambahkan energy listrik pada pompa.

#### i. LCD (*Liquid Cristal Display*)

*LCD (Liquid Cristal Display)* adalah suatu jenis media tampil yang menggunakan Kristal cair sebagai penampil data utama. LCD berfungsi untuk menampilkan suatu hasil pembacaan sensor, menampilkan teks, atau menampilkan menu pada aplikasi mikrokontroler.

### III METODE PENELITIAN

#### 1. Pembuatan Kapal Model dan Bak Pengujian

Penelitian ini memakai desain kapal model dari desain kapal penulis yang sebelumnya sudah dirancang pada masa perkuliahan. Adapun dimensi kapal model :

- *Loa (Lenght Over All)* : 96 meter
- *B (Breadth) Moulded* : 17 meter
- *H (Depth) Moulded* : 8 meter

Kapal model dibuat dari bahan resin yang dicetak dengan "female method" hand lay-up laminated. Bentuk cetakan lambung mengikuti bentuk body plan sebagaimana desain lines plan kapal yang sudah ditentukan dengan skala 1 : 100.



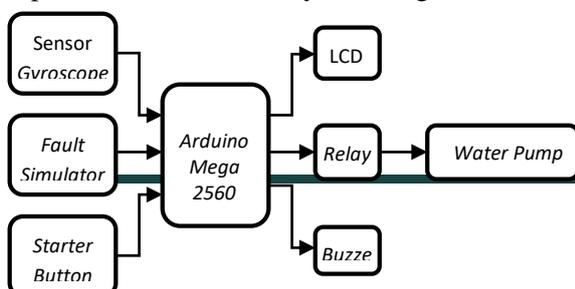
Gambar 3 Lines Plan.

Sebagaimana pembuatan kapal model, bak uji stabilitas juga dibuat dari FRP (Fiber reinforced plastic) polywood laminated. Dibuat menggunakan metode hand lay-up laminated, ukuran bak uji stabilitas sebagai berikut :

- Panjang : 2,0 meter
- Lebar : 1,5 meter
- Tinggi : 0,6 meter

#### 2. Perancangan Sistem

Smart control ballast system terdiri dari 3 bagian utama, yaitu input terdiri dari sensor gyroscope GY-521 MPU-6050 sebagai sensor perubahan sudut kapal dan fault simulator untuk mensimulasikan kerusakan pompa ballast, bagian proses yang terdiri dari modul relay sebagai pengendali pompa ballast. LCD berfungsi sebagai layar monitor yang menampilkan hasil pembacaan sensor besaran sudut dan buzzer berfungsi sebagai alarm saat kapal dalam kondisi bahaya. Lihat gambar 3.2

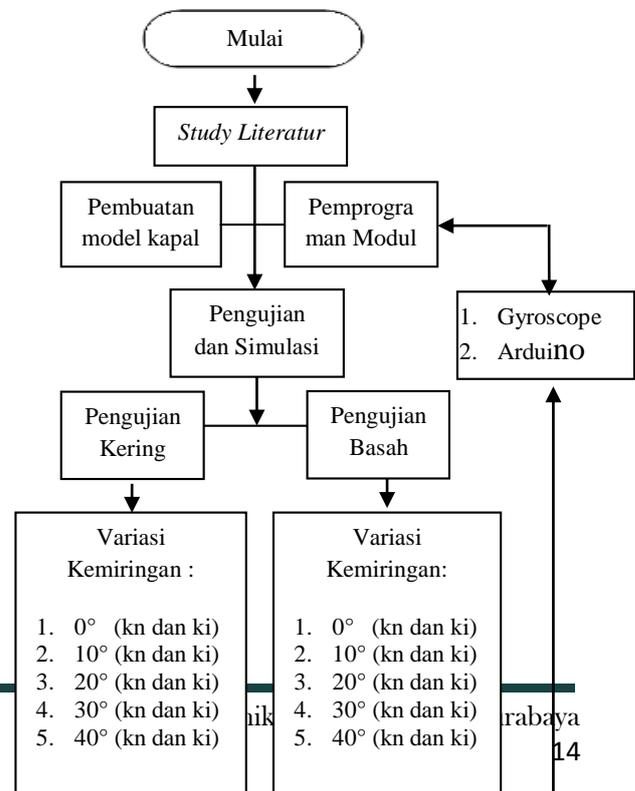


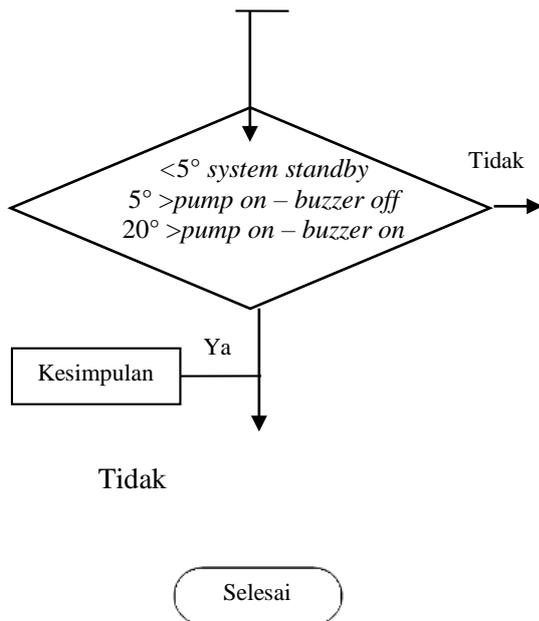
Gambar 4 Perancangan Sistem.

#### 3. Cara Kerja Sistem

Smart system ballast control pada kapal kontainer bekerja dimulai dari pembacaan sensor gyroscope GY-521 MPU 6050 yang merupakan input pertama, kemudian dari hasil pembacaan diolah melalui mikrokontroler Arduino Mega2560 yang akan digunakan sebagai referensi untuk mengendalikan keseluruhan sistem. Data yang telah melewati mikrokontroler akan menghasilkan sebuah output sudut oleng kapal yang akan digunakan sebagai perintah untuk menggerakkan relay pada kondisi open/close yang terhubung dengan water pump.

Selain itu, hasil pembacaan sensor juga akan ditampilkan pada layar LCD yang berguna untuk mengetahui posisi sudut kemiringan kapal. Pada perancangan alat ini ditambahkan fault simulator yang berfungsi untuk membuat kondisi dimana sistem mengalami kerusakan sehingga kapal tidak dapat menyeimbangkan posisinya. Apabila kapal mengalami kemiringan yang melewati batas toleransi maka buzzer akan menyalakan signal kapal dalam kondisi berbahaya. Adapun sistematika penelitian dalam bentuk flowchart sebagai berikut :





Gambar 5 Flowchart Penelitian

#### IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

##### 1. Data Umum Kapal

###### a. Ukuran Utama

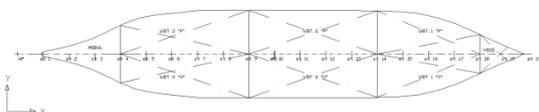
Berdasarkan data dari pemilik kapal bahwa KM. Mr Izal yang memiliki ukuran utama kemudian diperkecil dengan skala 1:100 yaitu:

L : 96 cm, B : 17 cm, H : 8 cm

###### b. Pembagian Tanki Ballast Dan Kompartemen

Kapal model yang akan dipakai untuk pengujian basah menggunakan satu tangki di kanan dan kirinya, yang diberi 2 buah sekat berlubang bertujuan untuk mengurangi pergeseran *fluida* yang terjadi akibat pemindahan *fluida*. Agar kapal dapat melakukan rolling. Maka, kapal akan diberi penambahan beban pada tiga titik yang sudah direncanakan, antara lain :

- Beban pada daerah depan *midship* dengan kapasitas beban 0,3 kg
- Beban pada daerah *midship* dengan kapasitas beban 0,5 kg
- Beban pada daerah belakang *midship* dengan kapasitas beban 0,3 kg



Gambar 6 Letak Tanki Ballast Dan Kompartemen.

#### 2. Perencanaan Pompa Ballast

Perencanaan pompa ballast pada penelitian ini bertujuan untuk menentukan besaran debit pompa dan diameter pipa. Namun, pada penelitian ini perhitungan pompa sebagai pelengkap dari sistem ballast kontrol. Sedangkan pada realita penelitian penulis memakai pompa yang banyak dijual dipasaran. Pada penelitian ini Penulis menggunakan 2 unit pompa untuk memindahkan air ballast dari tanki kanan ke tanki kiri begitu pun sebaliknya. Lihat gambar 4.2. Spesifikasi pompa dan diameter pipa sebagai berikut :

Spesifikasi pompa :

- Panjang : 90 mm
- Working current : 0,5 – 0,7 A
- Lebar : 40 mm
- Working Volt : DC 12 V
- Dia. : 35 mm
- Empty load current : 0,18 A
- Weight : 106 gr
- Max suction : 2 m
- Outlet dia. : 6 mm
- Capacity : 1,5-2 L/min



Gambar 7 Mini Water Pump.

#### 3. Passive Tank

Pengujian dilakukan pada *passive tank*, dilakukan dengan kondisi air tenang, pada kondisi ini kapal diberi beban tertentu di titik tertentu sehingga didapat kemiringan yang direncanakan. *Passive tank* merupakan sebuah papan triplek yang disambung dan membentuk sebuah balok atau kolam, yang dilapisi material fiber agar tidak bocor. Lihat gambar 4.3. Ukuran *passive tank* sebagai berikut :

L : 2 m  
B : 1,5 m  
H : 0,4 m

#### 4. Modul *Smart Ballast Control*

##### a. Mikrokontroler Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 merupakan pengembangan dari OSH (*Open Source Hardware*) mikrokontroler berbasis arduino, dengan ditanamkan chip AT Mega 2560. Menjadikan modul ini memiliki 54 buah pin digital I/O dimana, 14 digunakan sebagai analog *input*. Arduino Mega 2560 juga memiliki *flash memory* dengan kapasitas 256 KB. Sehingga menjadikan Arduino Mega 2560 dapat menampung cukup banyak program. Lihat gambar 8



Gambar 8 Arduino Mega 2560.

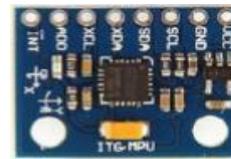
Modul Arduino dipakai sebagai penampung dan pengolah data dari hasil pembacaan GY-521 MPU6050 *Accelerometer Gyroscope sensor* yang kemudian diteruskan ke pengaturan pompa. Pada penelitian ini penulis menggunakan bantuan software Kalman untuk memprogram dan software Eagle 6.2.0 untuk membuat diagram rangkaian. Detail Terlampir

##### b. GY-521 MPU-6050 3 Axis *Acceleromete Gyroscope Sensor*

Pada penelitian ini sensor pembaca menggunakan sensor type *Gyroscope* GY-521 MPU6050. Kelebihan type GY-521 MPU6050 yaitu dapat mengukur derajat kemiringan kapal, mendeteksi perubahan dan percepatan sudut. Modul ini berpusat pada MPU-6050 yang merupakan 6 *axis Motion Processing Unit* dengan penambahan regulator tegangan dan beberapa komponen pelengkap lainnya. Sehingga membuat modul ini siap dipakai dengan suplai tegangan 3-5 VDC. Modul ini dilengkapi dengan *Interface I<sup>2</sup>C* yang dapat disambungkan langsung ke MCU yang memiliki fasilitas *I<sup>2</sup>C*. sensor MPU-6050 berisi sebuah

MEMS *Gyro Accelerometer* dan sebuah MEMS *Gyro* yang saling terhubung. Sensor ini sangat akurat dengan fasilitas *hardware* internal 16 bit ADC untuk setiap kanalnya. Namun, pada saat pengujian sensor diprogram hanya pada sumbu y, untuk membaca kapal dalam kondisi *rolling*.

Pengujian pertama untuk pembacaan sensor *Gyroscope* GY-521 MPU6050 dengan cara memiringkan modul secara manual. Pengujian ini juga bertujuan untuk melakukan kalibrasi/melihat nilai eror dari sistem. Pengujian menggunakan media papan triplek yang dipotong persegi dan memiliki satu poros yang terhubung dengan penggaris busur yang terdapat pada sisi depan dan belakangnya. Dari hasil pengujian secara manual dengan bantuan media papan triplek dan penggaris busur maka didapat data keakuratan pembacaan.



Gambar 9 Sensor Gyroscope MPU-6050

##### c. Relay

Relay adalah saklar yang dapat dikendalikan secara elektromekanik. Arus listrik yang mengalir pada kumparan relay akan membentuk suatu medan magnet kemudian akan menarik lengan relay dan mengubah posisi saklar terbuka menjadi tertutup.

Relay memiliki tiga jenis kutub antara lain kutub acuan (*common*), *NC* (*Normally close*) dan *NO* (*Normally open*) adalah kutub yang dalam keadaan awal terhubung pada *common*, dan *NO* adalah kutub yang pada kondisi mula-mula terbuka dan akan terkoneksi dengan *common* saat kumparan relay diberi arus listrik.

##### d. Buzzer

Buzzer atau piezoelectric buzzer ialah sebuah komponen listrik yang dapat mengubah signal listrik menjadi getaran suara. Pada umumnya buzzer merupakan perangkat audio yang sering dipakai pada alarm anti-maling, alarm jam, bel rumah. Pada penelitian ini penulis menggunakan buzzer kecil kapasitas 5V.

**e. Power Suplay**

Kebutuhan daya listrik untuk Modul *ballast control* dapat disuplai dari listrik rumah tangga AC dan suplai listrik dari baterai DC. Pada penelitian ini penulis menggunakan *power suplay* bersumber dari baterai LiPo (*Lithium Polimer*). Untuk modul *ballast control* penulis memakai baterai dengan kapasitas 1600 mAH. Sedangkan kebutuhan daya listrik untuk mini *water pump* menggunakan baterai dengan kapasitas 2200 mAH

**5. Pengujian Sensor Gyroscope**

Pada pengujian sensor kemiringan (*rolling*) kapal, pengujian dilakukan pada dua tempat yaitu pengujian kering dan pengujian basah. Pengujian kering dilakukan dengan bantuan penggaris busur yang dimiringkan secara manual dan pengujian basah dilakukan pada kapal model yang diberi beban dengan berat yang sudah ditentukan sebelumnya untuk mendapatkan variasi kemiringan. Pengujian kemiringan akan dilakukan dalam tiga tahapan antara lain

- a. Tahap 1 Modul dipasang pada sebuah papan triplek yang sudah disiapkan dengan penggaris busur sebagai pengecek keakuratan pembacaan. Kemudian papan tersebut dimiringkan ke kanan dan ke kiri secara manual hingga mendapatkan variasi kemiringan 0°, 10°, 20°,30°,40°. Keakuratan data dapat dilihat pada layar LCD dan penggaris busur derajat.
- b. Tahap 2 kapal ditempatkan pada *passive tank*. Tanki ballast diisi air 3 liter, kemudian pada bagian salah satu sisinya diberi beban bertahap antara lain 0,3 kg bagian depan, 0,5 kg bagian tengah kapal dan 0,3 kg bagian belakang. Sebagaimana pengujian kering, pada pengujian basah variasi kemiringan juga menggunakan 0°, 10°, 20°,30°,40°

Pada modul Arduino 2560 terdapat buzzer yang berfungsi sebagai alarm apabila kapal mengalami kemiringan > 20° dan tombol reset yang berfungsi sebagai resetting apabila modul mengalami blank. Adapun hasil pengujian kering dan basah sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil Pengujian Kering (miring ke kanan)

| No | Sudut | Busur | Sensor | Error | Nama part            | Status           |
|----|-------|-------|--------|-------|----------------------|------------------|
| 1  | 0°    | 0°    | 0,10   | 0.13° | All item/pump/buzzer | On/off /stand by |
| 2  | 10°   | 10°   | 10,1   | 0.14° | All item/pump/buzzer | On/off /stand by |
| 3  | 20°   | 20°   | 20,1   | 0.15° | All item/pump/buzzer | On/off /on       |
| 4  | 30°   | 30°   | 30,4   | 0.42° | All item/pump/buzzer | On/off /on       |
| 5  | 40°   | 40°   | 40,0   | 0.02° | All item/pump/buzzer | On/off /on       |

Tabel 2. Hasil Pengujian Kering (miring ke kiri)

| No | Sudut | Busur | Sensor | Error | Nama Part            | Status           |
|----|-------|-------|--------|-------|----------------------|------------------|
| 1  | 0°    | 0°    | 0,13   | 0.13° | All item/pump/buzzer | On/off /stand by |
| 2  | 10°   | 10°   | 10,1   | 0.10° | All item/pump/buzzer | On/off /stand by |
| 3  | 20°   | 20°   | 20.2   | 0.20° | All item/pump/buzzer | On/off /on       |
| 4  | 30°   | 30°   | 30,4   | 0.45° | All item/pump/       | On/off /on       |
| 5  | 40°   | 40°   | 40,1   | 0.15° | All item/pump/buzzer | On/off /on       |

| Pengujian Kering Miring Ke Kanan |                   |                     |                      |           |
|----------------------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------|
| No                               | Variasi Sudut (°) | Pembacaan Busur (°) | Pembacaan Sensor (°) | Error (°) |
| 1                                | 0                 | 0                   | 0,13                 | 0,13      |
| 2                                | 10                | 10                  | 10,14                | 0,14      |
| 3                                | 20                | 20                  | 20,15                | 0,15      |
| 4                                | 30                | 30                  | 30,42                | 0,42      |
| 5                                | 40                | 40                  | 40,02                | 0,02      |
| Pembacaan                        |                   |                     |                      | 0,148     |

| Pengujian Kering Miring Ke Kiri |                   |                     |                      |           |
|---------------------------------|-------------------|---------------------|----------------------|-----------|
| No                              | Variasi Sudut (°) | Pembacaan Busur (°) | Pembacaan Sensor (°) | Error (°) |
| 1                               | 0                 | 0                   | 0,13                 | 0,13      |
| 2                               | 10                | 10                  | 10,10                | 0,10      |
| 3                               | 20                | 20                  | 20,20                | 0,20      |
| 4                               | 30                | 30                  | 30,45                | 0,45      |
| 5                               | 40                | 40                  | 40,15                | 0,15      |
| Pembacaan                       |                   |                     |                      | 0,141     |

didapat hasil error pembacaan sudut dari sensor *Gyroscope GY-521 MPU 6050* rata-rata 0,14° - 0,15° dan tingkat ketelitiannya sebesar 99,96 %. Dari data diatas, hasil pengujian kering menunjukkan bahwa modul *smart ballast* layak untuk dipakai di laboratorium stabilitas pada praktik stabilitas dan kemiringan kapal.



Gambar 10 Hasil Pengujian Kering Pembacaan Sensor GY-521 MPU6050

Tabel 3. Hasil Pengujian Basah (miring ke kanan + )

| No | Beban (kg) | Sensor | Nama part            | Status         | Balancing (s) | Hasil       |
|----|------------|--------|----------------------|----------------|---------------|-------------|
| 1  | Netral     | 0°     | All item/pump/buzzer | On/off/standby | 0             | 0°/pump off |
| 2  | + 0,5 M    | 6°     | All item/pump/buzzer | On/on/standby  | 5             | 5°/pump off |
| 3  | + 0,3 F    | 15°    | All item/pump/buzzer | On/on/standby  | 12            | 5°/pump off |
| 4  | + 0,3 A    | 22°    | All item/pump/buzzer | On/on/on       | 22            | 5°/pump off |

Tabel 4 Hasil Pengujian Basah (miring ke kiri - )

| No | Beban (kg) | Sensor | Nama Part            | Status         | Balancing (s) | Hasil       |
|----|------------|--------|----------------------|----------------|---------------|-------------|
| 1  | Netral     | 0°     | All item/pump/buzzer | On/off/standby | 0             | 0°/pump off |
| 2  | - 0,5 M    | 7°     | All item/pump/buzzer | On/on/standby  | 5,5           | 5°/pump off |

|   |         |     | mp/buzzer            |               |      |             |
|---|---------|-----|----------------------|---------------|------|-------------|
| 3 | - 0,3 F | 15° | All item/pump/buzzer | On/on/standby | 10   | 5°/pump off |
| 4 | - 0,3 A | 23° | All item/pump/buzzer | On/on/on      | 22,5 | 5°/pump off |

Dari hasil pengujian basah yang dilakukan pada *passive tank* dengan sensor *Gyroscope GY-521 MPU 6050*. Dengan variasi pembebanan bertahap 0,5 kg pada bagian tengah kapal, 0,3 kg pada depan dan belakang kapal maka, didapat hasil sebagaimana tabel diatas. Namun, pada kondisi kapal dimiringkan ke kiri dengan beban total 1,1 kg, kemiringan 23° modul mengalami error system, ini terjadi karena adanya cipratan muatan elektromagnet dari putaran pompa. Untuk mengembalikan modul ke kondisi normal cukup dengan menekan tombol reset.

## V KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dari pengujian diatas maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Desain kapal model ukuran Loa 96 cm, B 17 cm H 8 cm. Memiliki 3 buah tangki masing-masing kanan dan kiri dengan volume air saat pengujian 3 ltr, berfungsi sebagai penyeimbang saat ballasting. Tanki ceruk haluan berfungsi ganda, yaitu sebagai void tank dan tanki ballast apabila pada saat pengujian mengalami kendala.
- System controller pada arduino Mega 2560 terintegrasi dengan beberapa elektronik sensor *GY-521 MPU-6050 3 Axis Accelerometer, relay, buzzer 5V*, penampil data menggunakan layar LCD 2 x 16 cm. Modul stabilitas memakai sumber listrik DC, bersumber dari baterai *Lithium Polimer 1800 mah* dan *2200 mah* untuk *mini water pump*.
- Pada pengujian kering dengan variasi kemiringan sudut 0° - 40° kanan dan kiri mendapatkan data eror pembacaan sensor 0,14° - 0,15° dan ketelitian 99,96% menggunakan kalibrasi penggaris busur.
  - Pada pengujian basah dengan variasi kemiringan sudut 0° - 40° kanan dan kiri,

dengan variasi beban total 1,1 kg mendapatkan hasil pada sudut 5° pompa off dan pada sudut 40° kiri modul mengalami *blank*.

[11] Wasimun. (2011). *Static Stability (Stabilitas Statis)*. Retrieved 10 13, 2018, from [www.maritimeworld.web.id](http://www.maritimeworld.web.id).

## SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa. Berikut adalah saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Pembacaan Gyroscope dapat dilanjutkan pada sumbu z,
2. perencanaan sistem ballasting dapat dilakukan dengan menghisap air secara langsung dari kolam melalui katup selenoid dan penambahan sensor *water level* untuk mengetahui volume air di setiap tanki2 ballast pada kapal model

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asco. (n.d.). *Selenoid valve*. Retrieved Oktober 14, 2018, from Engineering Information: <http://www.asco.com>
- [2] Barras, B. dan Derret, D.R., (2006), “*Ship Stability for Masters and Mates*”, 6<sup>th</sup> edition, Elsevier Ltd, Oxford
- [3] Christopher T.K. (1996). *Relay*.
- [4] Dokkum, K., Katen, H., Koomen, K., Pinkster, J., (2008), “*Ship Stability*”, 3<sup>rd</sup> edition, Dokmar, Netherlands.
- [5] International Maritime Organization. (2002). *IMO regulation A. 749 (18)*. London: IMO.
- [6] Lewis, E., (1988), “*Principles of Naval Architecture*”, 2<sup>nd</sup> revision, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, Jersey.
- [7] N, S. (2015, 12 15). *Pengertian Transportasi Dan Fungsinya Maupun Contohnya*. Retrieved 10 11, 2018, from [www.pengertianku.net](http://www.pengertianku.net).
- [8] Panunggal, P. E., (2007), “*Diktat Merancang Kapal I*”, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [9] Purnama, A. (2015). *Pengertian Mikrokontroler*. Retrieved Oktober 14, 2018, from Elektronika Dasar: <http://elektronika-dasar.web.id>
- [10] Setiawan, E. (2012-2018). *Prototype*. Retrieved 10 12, 2018, from [kbbi.web.id](http://kbbi.web.id).