

RANCANG BANGUN PROTOTIPE SISTEM KONTROL *BALLAST* OTOMATIS PADA KAPAL

Yulius Prayitno¹, Rozeff Pramana, ST., MT.², Eko Prayetno, ST., M.Eng.³

Jurusan Teknik Elektro

Fakultas Teknik, Universitas Maritim Raja Ali Haji

Mahasiswa¹, Pembimbing I², Pembimbing II³

Email: yuliusprayitno@gmail.com¹, rozeff_p@yahoo.co.id², prayetnoeko_ah@ymail.com³

ABSTRAK

Sistem *ballast* merupakan sistem yang digunakan untuk mengendalikan pompa *ballast* dan beberapa komponen lainnya untuk mengisi dan membuang air pada tangki *ballast*. Penelitian ini bertujuan untuk membuat sistem kontrol *ballast* pada kapal kontainer dengan teknologi yang sederhana dan ekonomis tetapi mampu menyeimbangkan kapal seperti teknologi canggih yang sudah ada sebelumnya. Untuk mencapai tujuan tersebut membutuhkan perhitungan khusus pada kapal yang akan dipasang sistem kontrol ini. Sistem ini akan diaplikasikan pada kapal prototipe terlebih dahulu, namun dengan perhitungan lebih lanjut akan mampu diaplikasikan ke kapal sebenarnya. Penelitian ini menggunakan *Arduino Mega2560* sebagai mikrokontrolernya dan *gyroscope GY-521 MPU-6050* sebagai sensor utama untuk mendeteksi sudut kemiringan kapal yang akan digunakan sebagai acuan untuk menghidupkan pompa *ballast* dan *solenoid valve*.

Berdasarkan hasil perhitungan sistem *ballast* yang telah dilakukan oleh penulis maka dapat diketahui kapasitas tangki *ballast*, *head* dan kapasistas pompa *ballast*, dan diameter pipa *ballast* yang akan digunakan pada kapal prototipe. Sistem ini mampu mengendalikan pompa *ballast* dan *solenoid valve* dengan baik sesuai dengan besar sudut yang sudah ditentukan dalam program, yaitu pada kemiringan melebihi 5° untuk memulai proses *ballasting* dan pada kemiringan dibawah 5° untuk menghentikan proses *ballasting*. Sistem ini juga mampu memberikan peringatan jika kemiringan kapal melebihi 20° yang diakibatkan oleh kelebihan muatan atau bocor.

Kata kunci: Kapal Kontainer, Sistem *ballast*, GY-521 MPU-6050

1. Latar Belakang

Transportasi merupakan salah satu sarana yang sangat penting bagi manusia baik dari segi ekonomi ataupun sosial. Salah satu moda transportasi yang berperan penting dalam memperluas cakupan distribusi barang atau jasa adalah transportasi laut, kapal kontainer adalah salah satunya. Kapal kontainer merupakan kapal kargo yang khusus digunakan untuk mengangkut kontainer berukuran standar. Seiring berjalannya waktu kapal kontainer semakin banyak dijadikan pilihan sebagai sarana angkutan barang, baik antar pulau di suatu negara atau pun dalam jangkauan internasional karena alasan ekonomis,

aman dan kecepatan bongkar muat lebih cepat.

Banyaknya jumlah kontainer yang dipindahkan saat bongkar muat akan membuat banyak pergerakan diatas kapal sehingga menyebabkan perpindahan titik beban yang tidak seimbang dan menyebabkan kapal tersebut mengalami kemiringan perlahan yang mengakibatkan kapal tenggelam sehingga mengganggu proses bongkar muat. Seiring berkembangnya zaman, teknologi-teknologi canggih banyak diciptakan dan dikembangkan oleh beberapa perusahaan untuk mengatasi masalah tersebut, terutama pada sistem kontrol *ballast*-nya.

Berdasarkan latar belakang tersebut penulis akan merancang sebuah prototipe sistem kontrol *ballast* otomatis untuk kapal kontainer yang sederhana dan mampu meningkatkan kesetabilan kapal atau mencegah terjadinya kemiringan kapal yang mengakibatkan kapal tenggelam.

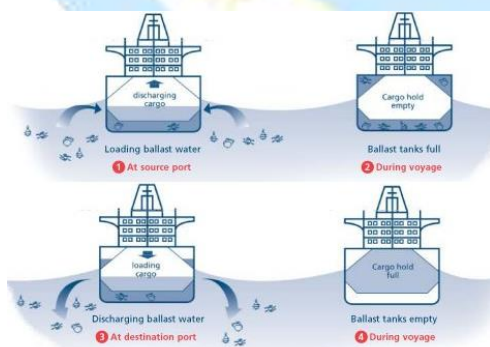
Penelitian yang sudah dilakukan terkait dengan perangkat yang dirancang penulis dilakukan oleh Dzulkarnain dan Rozeff Pramana (2015) dengan judul penelitian Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Kecepatan Angin dan Arah Angin Untuk Sistem Kepelabuhan dengan menggunakan sistem kontrol Arduino Mega2560.

Penelitian terkait selanjutnya dilakukan oleh Aprizal dan Rozeff Pramana (2015) dengan judul penelitian Rancang Bangun Sistem *Monitoring* Kecepatan Arus dan Arah Arus Untuk Sistem Kepelabuhan dengan menggunakan sistem kontrol Arduino Mega2560.

2. Landasan Teori

a. Sistem *Ballast*

Sistem *ballast* merupakan sistem untuk dapat memposisikan kapal dalam keadaan seimbang, baik dalam keadaan trim depan maupun belakang atau dalam keadaan oleng. Dalam perencanaannya adalah dengan memasukkan air sebagai bahan *ballast* agar posisi kapal dapat kembali pada posisi yang sempurna.



Gambar 1. Cara kerja sistem *ballast*

Cara kerja sistem *ballast* secara umum adalah untuk mengisi tangki *ballast* yang berada di *double bottom* dengan air laut yang diambil dari *seachest* melalui

pompa *ballast* dan saluran pipa utama dan pipa cabang. Adapun komponen-komponen sistem *ballast* meliputi, *sea chest*, jalur pipa *ballast*, pipa yang melalui tangki, sistem perpipaan, pompa *ballast*, tangki *ballast*, jumlah dan jenis katup serta *fitting*, dan *outboard* (Mohammad S.A., dkk, 2016).

b. Mikrokontroler Arduino Mega2560

Arduino Mega2560 adalah papan pengembangan mikrokontroler OSH (*Open Source Hardware*) berbasis Arduino dengan menggunakan chip ATmega2560. Modul ini memiliki 54 pin digital I/O dimana 14 digunakan untuk PWM *output* dan 16 digunakan sebagai analog *input*. Arduino Mega2560 memiliki *flash memory* sebesar 256KB sehingga cukup untuk menampung jumlah program yang banyak (Arduino.org).



Gambar 2. Arduino Mega2560

c. 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 tegangan *supply* sebesar 3-5VDC.



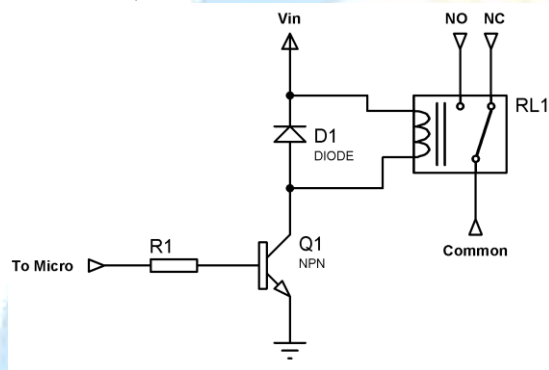
Gambar 3. Sensor Gyroscope MPU-6050

Modul ini memiliki *interface* I²C yang dapat disambungkan langsung ke MCU yang memiliki fasilitas I²C. Sensor MPU-6050 berisi sebuah MEMS *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.

d. 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 (Christopher T.K, 1996).



Gambar 4. Relay

Relay memiliki tiga jenis kutub yaitu *common* berarti kutub acuan, NC (*Normally Close*) adalah kutub yang dalam keadaan awal terhubung pada *common*, dan NO (*Normally Open*) adalah kutub yang pada awalnya terbuka akan terhubung dengan *common* saat kumparan relay diberi arus listrik (Christopher T.K, 1996).

e. Solenoid Valve

Solenoid valve merupakan katup yang dikendalikan dengan arus listrik baik AC maupun DC melalui kumparan/solenoida. *Solenoid valve* ini merupakan elemen kontrol yang paling sering digunakan dalam sistem fluida. Seperti pada sistem pneumatik, sistem hidraulik ataupun pada sistem kontrol mesin yang membutuhkan elemen kontrol otomatis (Asco, Engineering Information).



Gambar 5. Solenoid Valve

f. Water Pump

Water pump atau pompa adalah alat yang digunakan untuk memindahkan cairan (fluida) dari suatu tempat ke tempat yang lain melalui media pipa (saluran) dengan cara menambahkan energi pada cairan yang dipindahkan dan berlangsung terus menerus (Prihadi, N.T.B.S dan Irfan, S.A, 2015).



Gambar 6. Water Pump

g. LCD (*Liquid Cristal Display*)

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah suatu jenis media tampil yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. LCD dapat berfungsi untuk menampilkan suatu nilai hasil sensor, menampilkan teks, atau menampilkan menu pada aplikasi mikrokontroler (Irwan, D. dan Wahri, S., 2015).



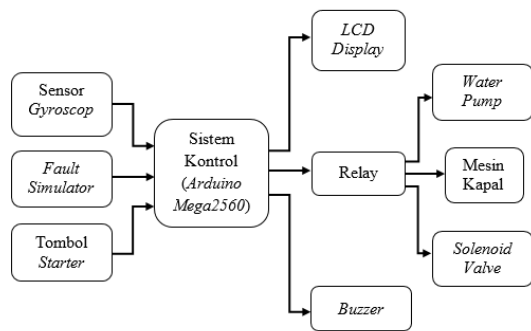
Gambar 7. LCD 16x2

3. Perancangan dan Cara Kerja Sistem

a. Perancangan Sistem

Perancangan prototipe sistem kontrol *ballast* otomatis pada kapal kontainer ini terdiri dari 3 bagian utama, yaitu *input* yang 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 *Arduino Mega2560* yang berfungsi untuk mengolah data hasil dari bagian *input*, dan bagian *output* yang terdiri dari modul relay sebagai pengendali pompa *ballast*, *solenoid valve* dan mesin pada kapal, LCD sebagai penampil besaran sudut dan *buzzer* sebagai alarm saat kondisi kapal dalam bahaya. Perancangan sistem kontrol *ballast* otomatis pada kapal kontainer dapat

digambarkan dalam diagram block seperti pada gambar 8.



Gambar 8. Perancangan Sistem Secara Umum

b. Perancangan sistem *Ballast*

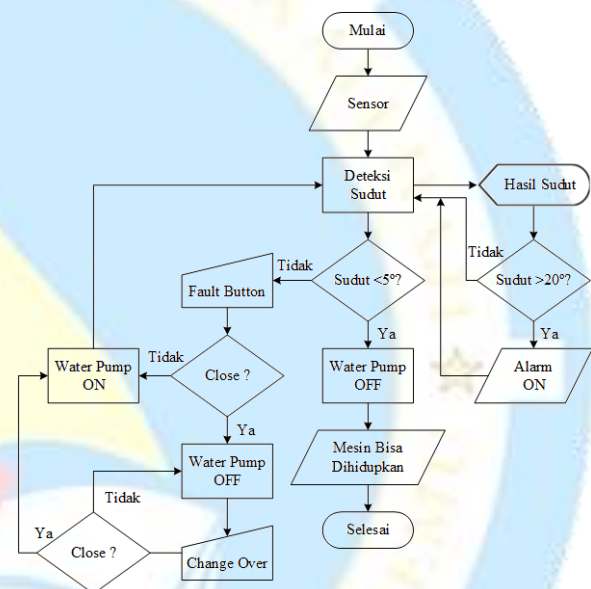
Dalam perancangan sebuah sistem *ballast* pada kapal diperlukan perhitungan-perhitungan khusus agar mendapatkan hasil yang maksimal. Adapun hal-hal yang harus diperhitungkan yaitu:

- 1) Perhitungan Volume *Displacement*
- 2) Perhitungan *Displacement*
- 3) Perhitungan Berat Air *Ballast*
- 4) Perhitungan Volume Air *Ballast*
- 5) Perhitungan Kapasitas Tangki *Ballast*
- 6) Perhitungan Kapasitas Pompa *Ballast*
- 7) Perhitungan Diameter Pipa Utama *Ballast*
- 8) Perhitungan *Head* Pompa *Ballast* dan Bilga

c. Cara Kerja Sistem

Sistem kontrol *ballast* otomatis pada kapal kontainer bekerja dimulai dari pembacaan sensor *gyroscope* GY-521 MPU6050 yang merupakan sumber *input* data pertama kali dan kemudian hasil sensor tersebut diolah oleh mikrokontroler *Arduino Mega2560* yang akan digunakan sebagai referensi untuk mengendalikan keseluruhan sistem. Data yang telah diolah oleh mikrokontroler akan menghasilkan sebuah *output* sudut kemiringan kapal yang akan digunakan sebagai perintah untuk menggerakkan relay pada kondisi *open* atau *close* yang terhubung dengan *water pump*, *solenoid valve* dan *mesin kapal*, selain itu hasil pembacaan sensor juga akan ditampilkan pada 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 menyala sebagai peringatan bahwa kapal dalam kondisi berbahaya dan mesin kapal otomatis tidak akan bisa dinyalakan. Berdasarkan cara kerja sistem tersebut maka penulis menggambarkan sistem kerja perangkat dalam bentuk *flowchart* seperti yang ditunjukkan pada gambar 9.

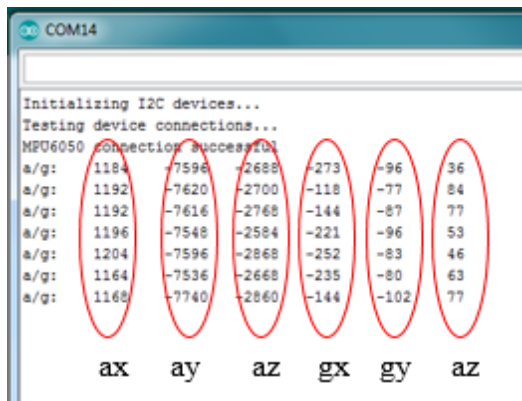


Gambar 9. *Flowchart* Cara Kerja Sistem

4. Pengujian Sistem, dan Analisis

a. Pengujian Sensor *Gyroscope*

Sensor yang digunakan dalam penelitian ini adalah GY-521 MPU6050 yang berfungsi untuk mengukur kemiringan kapal. Pengujian pertama adalah membuat program untuk menampilkan nilai sensor yang terbaca. Hasil pembacaan akan ditampilkan pada *serial monitor* dan dicatat dalam program utama untuk menghasilkan *output* besaran sudut. Hasil pembacaan sensor berupa nilai dari percepatan (*ax*, *ay*, *az*) dan *gyro* (*gx*, *gy*, *gz*) seperti pada gambar 10.



Gambar 10. Hasil Pembacaan Sensor

Pada umumnya nilai maksimum yang dihasilkan dari pembacaan sensor tersebut adalah -17000 sampai +17000 dan pada setiap produk akan berbeda – beda hasil pembacaannya. Adapun nilai hasil pembacaan sensor yang digunakan penulis adalah -16720 sampai +16100 dalam kalibrasi 90°. Hasil tersebut dimasukkan ke dalam program utama untuk dirubah ke dalam besaran sudut seperti yang ditunjukkan pada gambar 11.

```

void loop()
{
  accelgyro.getMotion6(sax, say, saz, sgx, sgy, szg); Hasil Sensor
  filter();
  pitch = map(filter_ay, -16720, 16100, -1023, 1023); //sensor utama
  roll = map(filter_ax, -15400, 17480, -1023, 1023);
  //pitch = map(ay, -16270, 16400, -1023, 1023); //sensor cadangan
  //roll = map(ax, -16000, 16700, -1023, 1023);
  pitch_angle = pitch/11.367;
  roll_angle = roll/11.367;
  Display();
}

```

Gambar 11. Hasil Sensor pada Program Utama

Pengujian kedua adalah membandingkan hasil sensor dengan busur derajat seperti pada gambar 12.



Gambar 12. Membandingkan Sensor

Adapun hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 1.

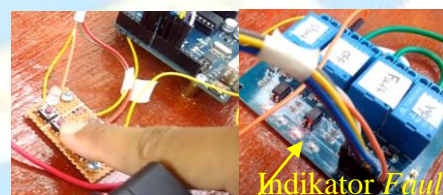
Tabel 1. Hasil Pengujian Sensor

Sudut	Busur	Sensor	Error
0°	0°	0°	0%
10°	10°	13,4°	34%
20°	20°	24,3°	21,5%
30°	30°	35,3°	17,66%
40°	40°	44,9°	12,25%
50°	50°	54,2°	8,4%
60°	60°	63,3°	5,5%
70°	70°	75,2°	7,43%
80°	80°	84,3°	5,3%
90°	90°	90,5°	0,56%

Berdasarkan hasil pengujian tersebut dapat diketahui *error* rata – rata sebesar 11,26% dan tingkat ketelitiannya sebesar 88,74%. Sensor tersebut memiliki *error* pembacaan lebih dari 3° pada sudut 10° - 80° dikarenakan titik kalibrasi adalah pada sudut 0° dan 90° sehingga pembacaan pada sudut 0° dan 90° sangat akurat.

b. Pengujian *Fault Simulator*

Fault simulator berfungsi untuk mensimulasikan kerusakan pada pompa *ballast* yang membuat pompa tidak dapat bekerja secara normal. *Fault simulator* ini dipasang pada kabel sumber 12V yang tersambung ke *common* relay yang terhubung dengan pompa *ballast*. Pengujian dilakukan dengan cara menekan tombol *fault* dan menekan tombol *reset* untuk mengembalikan kondisi normal.



Gambar 13. Pengujian *Fault Simulator*

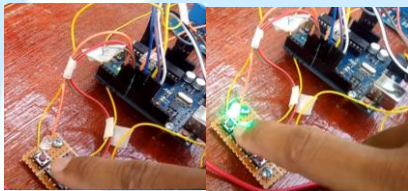
Pada gambar 13 menunjukkan ketika tombol *fault* ditekan maka *fault relay* akan aktif dan memutuskan sambungan kabel yang menuju ke relay pompa *ballast* dan ketika tombol *reset* ditekan *fault relay* akan kembali seperti semula. Adapun hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Fault Simulator

Kondisi Pompa	
Normal	Fault
Tersambung (12 V)	Terputus (0V)

c. Pengujian Tombol Starter

Tombol *starter* pada penelitian ini merupakan sistem keamanan yang dirancang untuk mencegah tindakan dari awak-awak kapal yang tidak bertanggungjawab dalam melaksanakan tugasnya, sebagai contoh memaksa kapal untuk berlayar dalam keadaan miring atau bermasalah pada kestabilannya. Pengujian dilakukan dengan cara menekan tombol *starter* pada saat posisi kapal dalam keadaan seimbang (<5°) dan tidak seimbang (>5°) seperti pada gambar 14.



Gambar 14. Pengujian Tombol Starter

Adapun hasil pengujian ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Tombol Starter

Status	Starter	Mesin Kapal
Posisi Kapal >5°	Tidak Berfungsi	Mati
Posisi Kapal <5°	Berfungsi	Hidup

Hasil pada tabel 3 menunjukkan bahwa ketika posisi kapal dalam keadaan seimbang (<5°) maka tombol *starter* dapat berfungsi dengan baik, tetap jika posisi kapal dalam keadaan miring (>5°) maka tombol *starter* tidak dapat berfungsi sehingga mesin kapal tidak dapat dihidupkan.

d. Pengujian Saat Sudut kemiringan >5°

Pengujian dilakukan dengan menambahkan beban diatas kapal untuk mencapai kemiringan lebih dari 5°. Ketika kapal mencapai kemiringan lebih dari 5°

maka sistem kontrol akan mengaktifkan komponen-komponen yang digunakan.

1). Saat Miring Kekan (Roll)

Tabel 4. Saat Miring ke kanan

No	Nama Komponen	Status	Tegangan (V)	Arus (A)
1	Solenoid Tangki 1 (buang)	Close	0V	0,44
2	Solenoid Tangki 1 (isi)	Close	0V	0
3	Solenoid Tangki 2 (buang)	Close	0V	0
4	Solenoid Tangki 2 (isi)	Open	12V	0,44
5	Solenoid Tangki 3 dan 4 (buang)	Close	0V	0
6	Solenoid Tangki 3 dan 4(isi)	Open	12V	0,44
7	Solenoid Tangki 5 (buang)	Open	12V	0,44
8	Solenoid Tangki 5 (isi)	Close	0V	0
9	Solenoid Tangki 6 dan 7 (buang)	Open	12V	0,44
10	Solenoid Tangki 6 dan 7 (isi)	Close	0V	0
11	Solenoid OUT	Close	0V	0
12	Solenoid Sv_Out	Open	12V	0,44
13	Sea Chest	Open	12V	0,44
14	Pompa Ballast	Hidup	12V	0,89

2). Saat Miring ke Kiri (Roll)

Tabel 5. Saat Miring ke Kiri

No	Nama Komponen	Status	Tegangan (V)	Arus (A)
1	Solenoid Tangki 1 (buang)	Close	0V	0
2	Solenoid Tangki 1 (isi)	Close	0V	0
3	Solenoid Tangki 2 (buang)	Open	12V	0,44
4	Solenoid Tangki 2 (isi)	Close	0V	0,0
5	Solenoid Tangki 3 dan 4 (buang)	Open	12V	0,44
6	Solenoid Tangki 3 dan 4(isi)	Close	0V	0
7	Solenoid Tangki 5 (buang)	Close	0V	0
8	Solenoid Tangki 5 (isi)	Open	12V	0,44
9	Solenoid Tangki 6 dan 7 (buang)	Close	0V	0
10	Solenoid Tangki 6 dan 7 (isi)	Open	12V	0,44
11	Solenoid OUT	Close	0V	0

Lanjutan Tabel 5.

No	Nama Komponen	Status	Tegangan (V)	Arus (A)
12	Solenoid Sv_Out	Open	12V	0,44
13	Sea Chest	Open	12V	0,44
14	Pompa Ballast	Hidup	12V	0,89

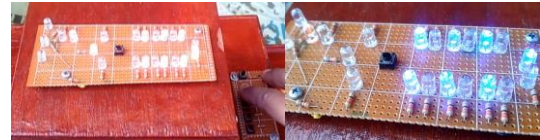
3). Saat Miring Kedepan (Pitch)

Tabel 6. Saat Miring Ke Depan

No	Nama Komponen	Status	Tegangan (V)	Arus (A)
1	Solenoid Tangki 1 (buang)	Open	12V	0,44
2	Solenoid Tangki 1 (isi)	Close	0V	0
3	Solenoid Tangki 2 (buang)	Open	12V	0,44
4	Solenoid Tangki 2 (isi)	Close	0V	0
5	Solenoid Tangki 3 dan 4 (buang)	Close	0V	0
6	Solenoid Tangki 3 dan 4(isi)	Close	0V	0
7	Solenoid Tangki 5 (buang)	Open	12V	0,44
8	Solenoid Tangki 5 (isi)	Close	0V	0
9	Solenoid Tangki 6 dan 7 (buang)	Close	0V	0
10	Solenoid Tangki 6 dan 7 (isi)	Close	0V	0
11	Solenoid OUT	Open	12V	0,44
12	Solenoid Sv_Out	Open	12V	0,44
13	Sea Chest	Close	0V	0
14	Pompa Ballast	Hidup	12V	0,89

e. Pengujian Pengisian dan Pengosongan Seluruh Tangki Ballast

Pengujian dengan cara mengisi dan menguras seluruh tangki *ballast* bertujuan untuk membandingkan hasil pengujian dengan hasil perhitungan, dimana pada perhitungan dibutuhkan waktu 1 menit untuk mengisi dan mengosongkan seluruh tangki *ballast* dengan volume 1451 cm³. Pengujian ini dilakukan dengan cara manual yaitu dengan menekan tombol pengisian dan pengosongan yang terdapat pada kapal seperti yang ditunjukkan pada gambar 15.



Gambar 15. Pengosongan dan pengisian tangki *ballast*

Ketika sistem berada dalam mode pengisian atau pengosongan seluruh tangki *ballast*, maka seluruh *solenoid valve* yang berfungsi untuk mengisi atau mengosongkan tangki akan aktif seperti yang ditunjukkan pada LED sebagai indikator. Waktu yang dibutuhkan untuk mengisi seluruh tangki *ballast* adalah 1,37 detik yang ditandai keluarnya air dari lubang udara tiap tangki *ballast* pada kapal seperti yang ditunjukkan pada gambar 16.



Gambar 16. Pengisian seluruh tangki *ballast*

Berbeda dari pengisian, pengosongan seluruh tangki *ballast* membutuhkan waktu lebih sedikit yaitu sekitar 1,11 detik, namun masih ada tersisa sedikit air pada tangki *ballast*. Gambar 17 menunjukkan ketika pengosongan tangki *ballast*.



Gambar 17. Pengosongan seluruh tangki *ballast*

5. Penutup

a. Kesimpulan

Hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Sistem mampu mengukur kemiringan kapal dan menyeimbangkannya ketika terjadi penambahan beban diatas kapal.
2. Sistem *ballast* pada kapal kontainer dapat dirancang berdasarkan regulasi dari badan klasifikasi yang akan

digunakan dan beberapa rumus dasar yang berkaitan dengan sistem perkapalan. Berdasarkan hasil perhitungan sistem *ballast* pada kapal prototipe dapat diketahui kapasitas tangki *ballast* sebesar 1450,86 cm³, kapasitas pompa *ballast* sebesar 1450,86 cm³/menit, *head* pompa *ballast* minimal sebesar 113,342 cm, dan diameter pipa *ballast* ±3 mm.. Dalam penelitian ini juga dilakukan beberapa contoh perhitungan sistem *ballast* pada kapal sebenarnya untuk menunjang sistem *ballast* pada kapal prototipe dapat diaplikasikan pada kapal sebenarnya.

3. Sistem keamanan pada kapal kontainer dapat dirancang dengan memanfaatkan sensor *gyroscope* untuk mengendalikan tombol *starter* mesin yang mampu mencegah mesin menyala dalam kondisi kapal miring.
4. Sistem kontrol *ballast* pada kapal dapat bekerja dengan baik ketika tidak diberi beban.
5. Besar sudut kemiringan yang digunakan sebagai acuan untuk menyeimbangkan kapal (5°) dapat berubah sesuai dengan karakteristik kapal masing-masing.

b. Saran

1. Untuk membuat sistem bekerja lebih baik dari hasil yang diperoleh penulis dibutuhkannya ukuran prototipe kapal yang lebih besar dan jarak sistem kontrol dengan komponen-komponen yang digunakan tidak terlalu dekat untuk menghindari pengaruh medan elektromagnetik yang dihasilkan oleh kumparan *solenoid valve* dan *water pump*.
2. Dibutuhkan penelitian tambahan mengenai *filter* yang efisien untuk mengatasi *noise* yang dihasilkan oleh komponen yang digunakan terhadap sistem kontrol.
3. Dibutuhkan perhitungan lebih lanjut yang berkaitan dengan sistem *ballast* agar dapat diaplikasikan pada kapal sebenarnya.

Daftar Pustaka

- ABS, 2016, *Rules for Building and Classing*, American Bureau of Shipping, Houston, Texas, U.S.
- Aditya, F., Gunawan, A.I., Alasiry, A.H., Widodo, R.T., 2011, *Prototipe Pengukur dan Pendeteksi Keseimbangan Berat Muatan Kapal Sebagai Antisipasi Kecelakaan*, The 13th Industrial Electronics Seminar, Indonesia, 26 Oktober 2011.
- Aprizal dan Pramana, R., 2015, *Rancang Bangun Sistem Monitoring Kecepatan Arus dan Arah Arus Untuk Sistem Kepelabuhan*, Skripsi, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Tanjungpinang.
- Arduino. (2016). Liquid Crystal Display. Retrieved from <https://www.arduino.cc/en/Reference/LiquidCrystal>, 20 Juli 2017.
- Arduino. (2017). MPU-6050 Accelerometer + Gyro. Retrieved from <https://playground.arduino.cc/Main/MPU-6050>, 20 Juli 2017.
- Arduino. (2017). Arduino Mega 2560. Retrieved from <http://www.arduino.org/products/boards/arduino-mega-2560>, 20 Juli 2017.
- Arif, M.A., Kurniawati, H.A., Misbah, M.N., 2016. Analisa Teknis dan Ekonomis Pemilihan Manajemen Air Ballas Pada Kapal (*Ship Ballast Water Management*) di Indonesia, *Kapal*, Vol.13 No.3.
- Asco, (2017). *Engineering Information*. Retrieved from <http://www.asco.com/en-us/Pages/solenoid-valves.aspx>, 20 Juli 2017.
- Atmel, 2014. *Atmel ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V*, Atmel Corporation, U.S.A.

- ATTC, (2017). Solenoid Valve. Retrieved from <http://www.aqua-tech.com/index.php/archives/category/products/solenoid-valve>, 20 Juli 2017.
- Dinariyana, A.A.B., 2011. Koefisien Bentuk dan Perbandingan Ukuran Kapal, Teknik Bangunan dan Konstruksi Kapal I, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, ME 091301.
- Dzulkarnain dan Pramana, R., 2015, *Rancang Bangun Sistem Monitoring Kecepatan Angin dan Arah Angin Untuk Sistem Kepelabuhan*, Skripsi, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Tanjungpinang.
- Eekels, 2009. *Ballast Control System*, Eekels Elektrotechniek B.V., Belanda.
- Hardjanto, A., 2010. Pengaruh Kelebihan dan Pergeseran Muatan di Atas Kapal Terhadap Stabilitas Kapal, *Jurnal Aplikasi Pelayaran dan Kepelabuhanan*, Vol.1 No.3.
- InvenSense, 2013. *MPU-6000 and MPU 6050 Product Specification Revision 3.4*, InvenSense, Inc. Amerika.
- Jokosisworo, S., 2010. Studi Komparasi Pipa Sch 40 Galvanize Dengan Sch 40 Non Galvanize Pada Sistem Pipa Ballast Dikaji Dari Segi Teknis Dan Ekonomis, *Jurnal Ilmu Pengetahuan & Teknologi Kelautan*, Vol.7 No.3.
- Prihadi, N., dan Arief, I.S, 2015. Optimasi Desain *Impeller* Pompa *Sentrifugal* Menggunakan Pendekatan CFD, *Jurnal Sains dan Seni ITS*, Vol.4 No.2.
- Ranger Hope, 2008. *Auxiliary Equipment & Systems for Marine Engine Drivers*, Australia.
- Roy L Harrington, 1989. *Marine Engineering*, Third Printing, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, United States America.
- Topway, 2007. *LCD Module User Manual*, Shenzhen TOPWAY Technology Co., Ltd., China.
- Wilmax, 2014. *Ballast System*, Wilmax Control Systems Pte Ltd, Singapore.
- Windyandari, A., Janah, J.I., 2013. Perancangan Sistem Perpipaan KM. Nusantara (Piping System), *Kapal*, Vol.10 No.3.