

GYROSCOPE SEBAGAI ALTERNATIF PENGGANTI KATIR PADA KAPAL BERBENTUK SLENDER

Gyroscope as an alternative to replace katir on slender ship

Oleh :

Rofiq Ardhi Iswahyudi, Mohammad Imron, Yopi Novita

Program Studi Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan, Institut Pertanian Bogor, Indonesia

* Korespondensi : rofiqardhiswahyudi@yahoo.co.id

ABSTRACT

Many fishing vessels in Indonesia are still equipped with outriggers to improve stability of vessels, especially for vessels with slender hull form. However, the presence of outriggers also has risks, especially during berthing process where the outriggers may touch each other. When this happen, some outriggers might be broken and capsizing might occur. One of technologies that develop recently is marine gyrostabilizer, a device that utilizes the working principle of the gyroscope in keeping the ship moving caused by external force disturbances. So that there is an idea to use marine gyrostabilizer technology for substitute the funcruioun of outriggers in a slender-shaped ship. This study aims to design a gyrostabilizer and its placement on the slender-shaped ship model. This research was conducted experimentally using a slender-shaped ship model with the main dimensions of LOA (65 cm), LPP (58.19 cm), B (16 cm), D (8.5 cm), d (3.1 cm) and tonnes of displacement 0,00141 ton (1,41 kg). Experimental was carried out to obtain data of rolling motion performance of a ship model equipped with a gyroscope and without a gyroscope, so that the performance and influence of the gyroscope in maintaining the ship model stability can be observed. The result shows that the designed gyroscope prototype with a single gimbal and a vertical rotating axis placed in ordinates 2 and 3 on the slender ship model give good performance. The value of the rolling motion profile was better in a ship model equipped with a gyroscope than that of a ship model with out a gyroscope. The using of gyroscope prototype has the ability to reduce the rolling slender ship model by 68.45% in this experiment.

Keywords: gyroscope, stability, slender, outrigers

ABSTRAK

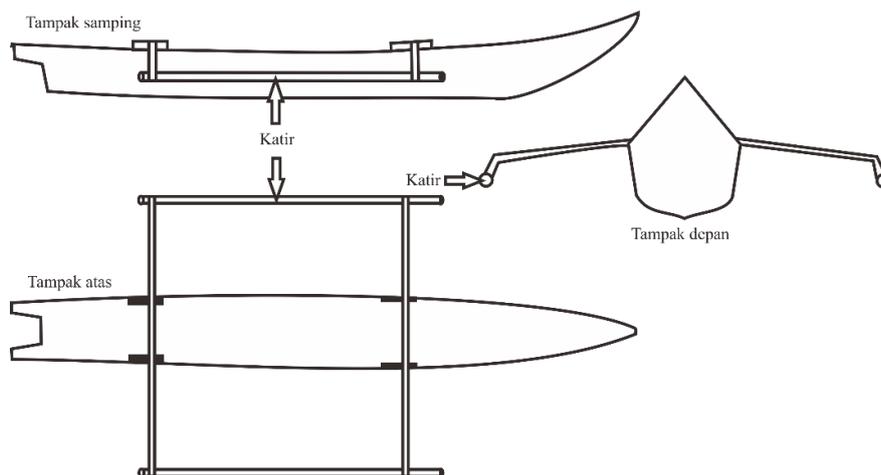
Kapal penangkap ikan di Indonesia, masih banyak yang dilengkapi katir untuk meningkatkan stabilitas kapal, terutama pada kapal-kapal berbentuk ramping atau *slender*. Akan tetapi keberadaan katir juga memiliki risiko, terutama saat kapal-kapal tersebut hendak berlabuh di suatu tempat pendaratan. Hal ini terjadi karena antar katir saling bersinggungan dan dapat mengakibatkan patahnya katir atau bahkan hingga membalikkan kapal. Saat ini perkembangan teknologi di bidang perkapalan sudah semakin maju. Salah satunya dengan ditemukannya *marine gyrostabilizer* yaitu perangkat yang memanfaatkan prinsip kerja *gyroscope* dalam menjaga olah gerak kapal yang disebabkan gangguan gaya eksternal. Sehingga muncul suatu pemikiran untuk memanfaatkan teknologi *marine gyrostabilizer* sebagai pengganti katir pada kapal berbentuk *slender*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang *gyrostabilizer* dan posisi penempatannya di atas model kapal berbentuk *slender*. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan menggunakan model kapal berbentuk ramping atau *slender* dengan dimensi utama LOA (65cm), LPP (58,19cm), B (16cm), D (8,5cm), d (3,1cm) dan *ton displacement* 0,00141 ton (1,41 kg). Eksperimen dilakukan untuk mendapatkan data berupa performa gerakan *rolling* kapal yang dilengkapi dengan *gyroscope* dan tanpa *gyroscope*, sehingga dapat diperoleh performa dan pengaruh keberadaan *gyroscope* dalam mempertahankan stabilitas kapal berbentuk *slender*. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa nilai profil gerakan *rolling* pada perlakuan model kapal yang dilengkapi dengan *gyroscope* lebih baik dibandingkan

perlakuan pada model kapal yang tidak dilengkapi *gyroscope* dan performa penggunaan *prototype gyroscope* memiliki kemampuan meredam *rolling* model kapal *slender* sebesar 68,45%

Kata kunci: *gyroscope*, stabilitas, *slender*, katir

PENDAHULUAN

Berdasarkan statistik perikanan, menunjukkan bahwa komposisi kapal perikanan nasional Indonesia didominasi kapal berukuran kurang dari 5 GT sebesar 69% dari seluruh kapal ikan nasional (KKP 2018). Umumnya kapal berukuran < 5GT adalah kapal–kapal berbentuk ramping (*slender*) yang mengoperasikan alat tangkap pancing. Untuk menjaga kestabilan kapal, nelayan menambahkan katir (*outrigger*) yang dipasangkan di kanan dan kiri kapal (berupa batangan yang terbuat dari bambu, kayu atau *fiberglass*). Ilustrasi kapal yang dilengkapi dengan katir, disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1 Katir pada kapal slender

Kapal berkatir umumnya memiliki nilai rasio B/D berkisaran 1,36 m – 2,02 m (Lungari dan Kumaseh 2018). Nilai B/D yang kecil menunjukkan kapal tersebut tidak stabil dan penggunaan katir mengakibatkan terjadinya perlambatan gaya dorong kecepatan kapal (Novita *et al.* 2014; Helmi *et al.* 2016). Selain itu saat keadaan ramai, kapal berkatir dapat mempersulit kapal lain bertambat labuh di kolam pelabuhan dan menimbulkan risiko kerusakan akibat berbenturan dengan katir lain atau dengan badan kapal lain pada saat bertambat labuh di kolam pelabuhan.

Berdasarkan permasalahan di atas, maka perlu dipikirkan upaya yang dapat dilakukan untuk mengganti keberadaan katir pada kapal berbentuk *slender*. Untuk menghilangkan katir, diperlukan suatu mekanisme yang mampu menjaga kestabilan kapal dari dalam kapal itu sendiri. Saat ini sudah ada teknologi *marine gyroscope*. *Gyroscope* merupakan perangkat berupa piringan yang berputar pada porosnya dan menghasilkan momentum sudut yang mempertahankan posisinya apabila ada pengaruh dari luar (Halliday *et al.* 2010). Menurut penelitian yang dilakukan (Perez dan Steinmann 2009; Townsend dan Shenoi 2011; Teigland *et al.* 2017; Talha *et al.* 2017), model kapal yang dilengkapi dual *gyroscope* dapat meminimalkan gerakan apung kapal melalui metode pergerakan *rolling* dengan menggunakan pengujian gelombang *irregular*. Secara teori, keberadaan *gyroscope* di atas kapal dapat membantu kapal untuk menyeimbangkan posisinya agar tetap dalam posisi tegak (Steinmann dan Perez 2009). Berdasarkan teori dan beberapa hasil penelitian terkait penggunaan *gyroscope* untuk menjaga kestabilan kapal, maka kiranya ide untuk memanfaatkan *gyroscope* dapat diterapkan untuk menggantikan fungsi katir sebagai alat penyeimbang pada kapal berbentuk *slender*.

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan menggunakan model kapal yang nantinya dipasangkan *gyroscope* pada lambung kapal. Apabila hasil penelitian ini dapat membuktikan teori tersebut, maka penggunaan *gyroscope* berpeluang untuk menggantikan fungsi katir pada kapal berbentuk *slender*. Kondisi ini akan menguntungkan para nelayan, dimana kapal menjadi tetap stabil dan mudah saat disandarkan. Selain itu, kondisi demikian juga memudahkan pihak pelabuhan dalam menata tambat labuh kapal–kapal *slender* yang biasanya dilengkapi katir. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dimensi *prototype gyroscope* dan posisi penempatan alat

di atas model kapal; membandingkan performa gerakan *rolling* model kapal yang dilengkapi dengan *gyroscope* dan tanpa *gyroscope*; dan merumuskan pengaruh keberadaan *gyroscope* dalam menjaga kestabilan kapal berbentuk *slender*. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar rujukan direalisasinya *gyroscope* sebagai alat stabilitas kapal yang menggantikan katir dan memberikan informasi kepada pemerintah setempat dan nelayan serta menjadi dasar bagi penelitian lanjutan dibidang terkait.

METODE

Penelitian dilaksanakan pada bulan Februari 2020 – April 2020 dengan menggunakan percobaan eksperimental terhadap penggunaan *prototype gyroscope* dan tanpa penggunaan *prototype gyroscope*. Kegiatan penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahap yaitu tahap perancangan mekanik dan perancangan elektronik, perakitan *prototype gyroscope*, dan simulasi penempatan *gyroscope* di atas kapal. Tahap uji coba dan tahap analisis data yang dilakukan di Workshop Divisi Kapal Perikanan Departemen Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.

Analisis data dilakukan menggunakan metode rancangan acak lengkap (RAL) dan *numerical comparative*. Metode analisis rancangan acak lengkap (RAL) dalam penelitian ini dengan menggunakan 2 perlakuan dan 16 pengulangan. Menurut Suhaerah (2015), rumus perlakuan dan pengulangan rancangan acak lengkap yaitu;

Bentuk umum model linier aditif dari Rancangan Acak Lengkap (RAL) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} (t - 1) (r - 1) &\geq 15 \\ (2 - 1) (r - 1) &\geq 15 \\ (r - 1) &\geq 15 \\ r &\geq 16 \end{aligned} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

t = Perlakuan

r = Pengulangan

Hipotesis:

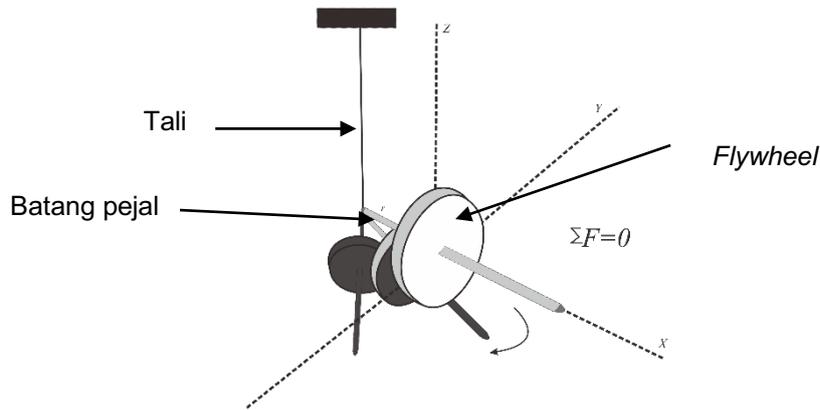
1. Apabila: $F_{hit} < F_{table}$, maka H_0 diterima dan H_a ditolak, berarti tidak terdapat pengaruh / hubungan yang kuat antara variabel bebas (X) dengan Variabel terikat (Y).
2. Apabila: $F_{hit} > F_{table}$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima, berarti terdapat pengaruh / hubungan yang kuat antara variabel bebas (X) dengan Variabel terikat (Y).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rancang Bangun Gyroscope Penyeimbang Kapal Slender

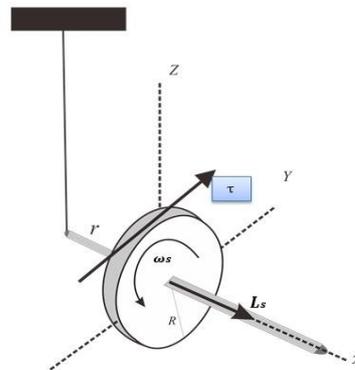
Perancangan mekanik

Tahap awal perancangan *prototype gyroscope* adalah berdasarkan tahapan "*recognition of need*". Dimana dalam tahapan ini, kebutuhan dalam perancangan *prototype gyroscope* adalah: 1) mampu menstabilkan kapal yang berbentuk *slender*, 2) memiliki bobot yang ringan, sehingga tidak akan menambah beban kapal yang ditempatinya dan 3) memiliki dimensi yang apabila ditempatkan di kapal, tidak membutuhkan ruang yang banyak. Perancangan fisik *prototype gyroscope* dibentuk dalam sumbu vertikal atau disebut *gyroscope* bersumbu vertikal. *Gyroscope* vertikal sangat cocok digunakan dalam mempertahankan objek suatu sistem tetap pada kondisi vertikal. Penentuan ini dilakukan untuk memenuhi kebutuhan akan kemampuan *gyroscope* untuk mengembalikan posisi kemiringan kapal kembali tegak secara vertikal setelah melakukan gerakan oleng. Kemampuan *gyroscope* dalam mengembalikan posisi kemiringan kapal agar tegak kembali didasarkan terbentuknya efek *gyro* atau dikenal dengan *gyroscopic*. Sehingga hal tersebut dapat dijelaskan pada ilustrasi yang disajikan pada Gambar 2-4.



Gambar 2 Konstruksi gyro

Pada Gambar 2 terlihat adanya *flywheel*, batang pejal yang menyambung pada sumbu *flywheel* dan tali. Seperti yang telah disebutkan terdapat dua benda yang saling berhubungan yaitu antara *flywheel* dan tali. Jika *flywheel* digantung dengan menggunakan tali sebagaimana terlihat pada Gambar 2, maka hal yang akan terjadi adalah *flywheel* akan terjatuh dikarenakan adanya gerak translasi hukum Newton II yaitu $\sum F = m \cdot a$. Pada mekanisme kasus ini terdapat dua gerakan yang mengakibatkan *flywheel* tersebut jatuh yaitu gerak translasi dan gerak rotasi. Jika persamaan matematis tersebut dirincikan, maka benda yang jatuh menuju arah normal (ke bawah) dipengaruhi oleh percepatan gravitasi, bukan disebabkan oleh berat *flywheel* tersebut. Namun berbeda jika benda tersebut diberi putaran atau kecepatan sudut, dimana hukum kedua Newton tidak berlaku (Gambar 3).



Gambar 3 Ilustrasi efek gyro

Berdasarkan Gambar 3 di atas, apabila *flywheel* diberi kecepatan putaran secara konstan maka akan terbentuknya dinamika rotasi. Dinamika rotasi merupakan benda yang bergerak pada sumbu putarnya atau bergerak pada lintasan melingkar. Rotasi tersebut akan menghasilkan kecepatan sudut, selain itu terbentuk pula momentum sudut atau *angular momentum*. Hal tersebut terjadi dikarenakan momen inersia yang terbentuk dimana kelembaman suatu benda untuk rotasi pada sumbunya. Suatu benda yang berotasi pada sumbunya akan menghasilkan momentum sudut dengan nilai tertentu. Menurut Amnirullah (2015), momentum sudut merupakan besaran yang memainkan kunci dari dinamika rotasi, secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

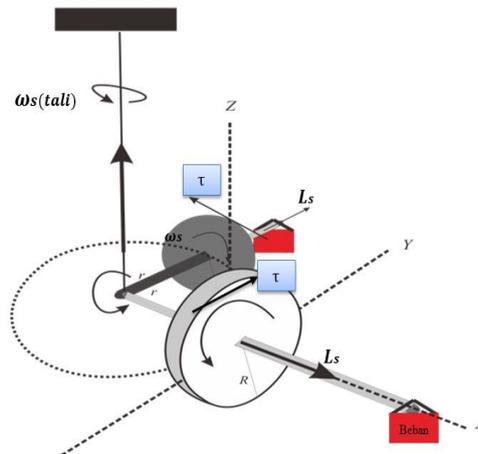
$$L_s = I_s \times \omega_s \dots\dots\dots(2)$$

dimana L_s adalah momentum sudut, ω_s adalah kecepatan sudut, dan I_s adalah momen inersia benda. Berdasarkan hal tersebut momentum sudut yang dihasilkan oleh rotasi *flywheel* yang kemudian secara alami menghasilkan gaya torsi yang melawan gravitasi, sebagaimana persamaan matematis sebagai berikut:

$$\tau_g = r \times m \times g \dots\dots\dots(3)$$

dimana τ_g adalah gaya torsi, r adalah lengan pejal, F adalah gaya yang diberikan kepada benda dan g adalah gravitasi bumi. Berdasarkan perhitungan tersebut maka *flywheel* yang diberi kecepatan

sudut secara konstan akan mengubah orientasi momentum sudut yang disebabkan oleh torsi secara alami. Kemudian timbullah reaksi berupa momentum sudut yang berputar pada porosnya sedemikian rupa yang mengikuti gaya torsi secara *pendicular* atau tegak lurus.



Gambar 4 Ilustrasi efek gyro terhadap gaya yang dihasilkan

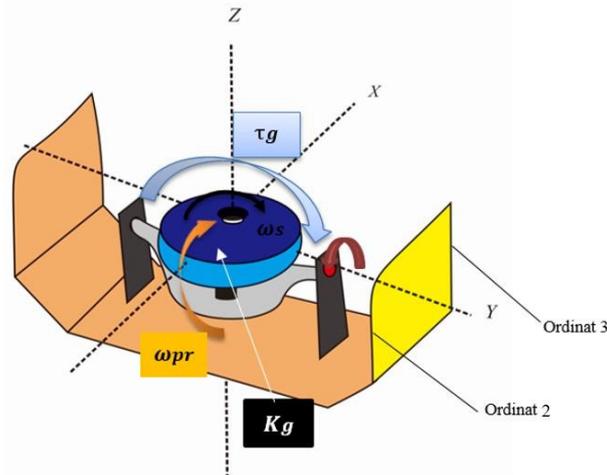
Pada Gambar 4 disajikan ilustrasi efek *gyro* yang nantinya akan menimbulkan gaya yang dinamakan kecepatan sudut presisi atau efek *gyroscopic*. Arah efek *gyroscopic* tersebut melingkari sumbu pusat dari tali sesuai dengan terbentuk arah gaya torsi yang terjadi dalam satu satuan waktu. Berdasarkan fenomena tersebut efek *gyroscopic* dapat dirumuskan sebagai berikut (Lewin 2015).

$$\omega_{pr} = \frac{\tau}{L_s} = \frac{r \times m \times g}{I \times \omega_s} \dots\dots\dots(4)$$

dimana ω_{pr} adalah kecepatan sudut presisi. Kecepatan sudut presisi adalah efek *gyroscopic*. Kemudian asumsi rumus yang diatas yaitu, jika torsi meningkat maka kecepatan sudut presisi akan meningkat per satu satuan detik. Sedangkan jika momentum sudut meningkat maka kecepatan sudut presisi akan menurun. Namun hal yang harus digaris bawahi adalah tali yang menjadi sumbu putar *flywheel* dengan kecepatan sudut presisi. Sumbu putar tali yang dilingkari kecepatan sudut presisi *flywheel* menghasilkan momentum sudut juga dalam fenomena tersebut.

Oleh karena itu, fenomena tersebut menimbulkan total momentum sudut yang merupakan jumlah vektor dari keduanya. Persamaan diatas akan berlaku selama sudut momentum *flywheel* lebih besar dari total momentum sudut. Karena apabila momentum sudut sama dengan nol maka tidak ada gaya yang terbentuk atau benda tersebut diam tidak berputar atau tidak menghasilkan kecepatan sudut presisi.

Berdarkan ilustrasi efek *gyro* tersebut, sistem kerja *prototype gyroscope* yang dipasang pada model kapal dalam menstabilkan objek, memiliki sistem kerja yang sama dengan ilustrasi yang sudah dijelaskan pada Gambar 2-4. Pada Gambar 5 disajikan ilustrasi ketika *prototype gyroscope* memiliki sumbu secara vertical. Apabila dimiringkan maka *flywheel* yang berputar menciptakan torsi yang akan melawan momen gravitasi dalam menghasilkan gaya *gyro* dimana benda tersebut kembali pada posisi nol derajat. Menurut Halliday *et al.* (2010), pada dasarnya efek *gyro* adalah massa perputaran yang terisolasi cenderung mempertahankan posisi sudut sesuai dengan kerangka referensi inersia, dan ketika torsi eksternal konstan diterapkan pada massa, sumbu rotasinya mengalami presesi pergerakan pada kecepatan sudut, dalam arah yg normal terhadap torsi yang diterapkan.



Gambar 5 Ilustrasi gaya gyro pada model kapal

Menurut Steinmann (2014), prinsip kerja gaya gyro yang dipasangkan pada kapal didasarkan pada persamaan berikut.

$$\tau_g = J_s \times \omega_s \times \omega_{pr} \dots\dots\dots (5)$$

dimana τ_g adalah torsi yang dihasilkan gyro, J_s adalah momen rotasi inersia, ω_s adalah kecepatan sudut dan ω_{pr} adalah kecepatan sudut presisi. Berdasarkan analisis studi kasus yang telah dilakukan oleh Poh *et al.* (2018) yang berjudul “Gyroscopic Stabilisation of Rolling Motion in Simplified Marine Hull Model” bahwa meningkatnya momentum sudut flywheel akan mengurangi rolling lambung kapal yang terkena gelombang. Sistem kerja gaya gyro yang didukung oleh pembantalan bearing dapat menghilangkan momen gelombang, dengan demikian memberikan kinerja stabilitas yang lebih baik. Peningkatan kecepatan sudut rotasi ω_s atau kecepatan sudut flywheel mengakumulasi kecepatan sudut presisi didasarkan pada persamaan berikut.

$$K_g = J_s \times \omega_s \dots\dots\dots (6)$$

$$K_g = \omega_s \times I_s \dots\dots\dots (7)$$

dimana K_g adalah kecepatan sudut presisi atau angular momentum, J_s adalah momen rotasi inersia, ω_s adalah kecepatan sudut dan I_s adalah gaya inersia flywheel. Pada penelitian ini gyro yang digunakan berupa gimbal tunggal atau single gimbal dengan pemasangan sumbu rotasi gyro secara vertikal. Dalam hal ini, gyro digunakan sebagai aktuator yang menghasilkan gaya gyro dalam menjaga stabilitas model kapal yang akan diuji. Eksperimen ini dibantu oleh sensor MPU6050 sebagai sensor dalam mendeteksi sudut kemiringan ketika model kapal melakukan simulasi inclining test.

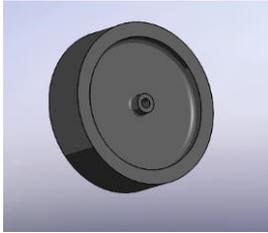
Pertimbangan bobot prototype gyroscope mengikuti rasio studi kasus kapal patroli angkatan laut Halcyon sebagaimana yang disampaikan dalam penelitian (Poh *et al.* 2018). Pada kapal patrol Halcyon, bobot gyro yang digunakan adalah setara dengan 1,75% dari ton displacement kapal. Diharapkan, dengan beban gyro yang hanya 1,75% dari ton displacement kapal, tidak akan mengurangi fungsi kapal penangkap ikan tersebut sebagai media untuk menampung ABK, alat tangkap dan hasil tangkapan.

Kebutuhan akan dimensi rancangan prototype gyroscope agak sulit dilakukan agar sesuai dengan dimensi model kapal yang digunakan. Hal ini dikarenakan komponen konstruksi gyroscope sangat tergantung kepada ketersediaan pasar. Akan tetapi, untuk mengakomodir kebutuhan akan dimensi yang efektif untuk ditempatkan pada model kapal, maka komponen yang digunakan untuk merancang prototype gyroscope adalah menggunakan komponen-komponen dengan ukuran terkecil yang tersedia di pasar dengan spesifikasi yang sesuai dengan kebutuhan. Prototype gyroscope didesain dengan menggunakan aplikasi desain, dengan komponen penyusun sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Komponen penyusun

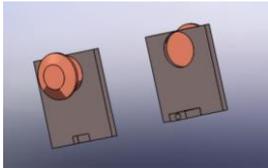
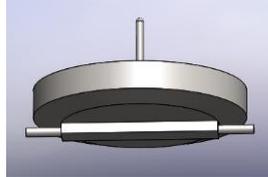
Komponen	Ukuran	Fungsi
----------	--------	--------

Flywheel



Jari-jari = 3 cm
Tinggi = 0,4 cm

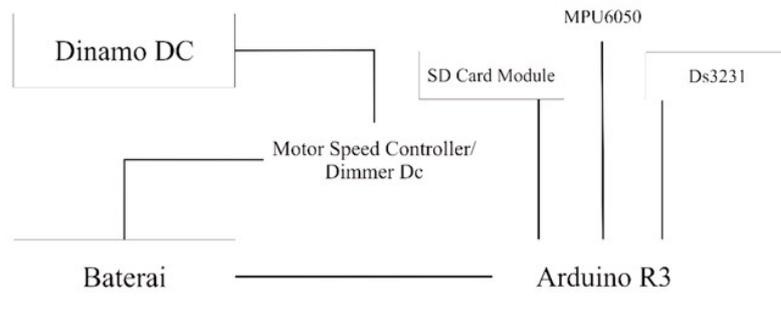
Penggunaan *gyroscope* dalam menjaga stabilitas terdiri dari pemasangan *flywheel* yang berotasi pada kecepatan tertentu. Berdasarkan sumbu rotasi putar *gyroscope*, pemasangan *gyroscope* memiliki dua macam pemasangan yaitu secara vertikal dan horizontal. Jika *gyroscope* dipasang dengan sumbu rotasi vertikal maka *gyroscope* tersebut dinamakan vertikal *gyro*, sedangkan jika sumbu rotasi dipasang secara horizontal, maka *gyroscope* tersebut dinamakan horizontal *gyro*. Roda yang berputar meliputi generator torsi dan dukungan elemen *gyroscope* atau *gimbal* dengan dua derajat rotasi kebebasan (Wrigley *et. al.* 1969).

Komponen	Ukuran	Fungsi
<p>Gimbal dan bearing</p> 	<p><i>Bearing</i> Jari-jari = 0,175 cm Tinggi = 0,4 cm</p>	<p><i>Bearing</i> Peredam digunakan untuk mengontrol sudut presisi Dalam keadaan <i>rolling</i> pada kapal (Hoshio 1994). <i>Gimbal</i> Penggunaan <i>gimbal</i> yang dipasang secara menetap kedalam lambung kapal untuk mendapatkan gaya efektif dalam mengontrol kestabilan dari</p>
<p>Dinamo Dc</p> 	<p>Jari – jari = 3 cm Lebar = 2,5 cm Tinggi = 3,5 cm</p>	<p>Mengubah energi listrik menjadi energi putar. Energi yang diciptakannya dengan rotasi yang tercipta pada <i>flywheel</i> revolusi per menit. (Talha <i>et al.</i> 2017). Rotasi tersebut menghasilkan efek <i>gyro</i> yang dapat meningkatkan stabilitas model kapal.</p>

gyroscope terhadap faktor eksternal. Jumlah *gimbal* yang terpasang disuatu kerangka berguna dalam menentukan jumlah *axis* atau arah *gyroscope*. *Gyroscope* yang memiliki *single gimbal* hanya dapat berputar pada satu arah. Penggunaan *single gimbal* memiliki kemampuan menjaga kestabilan lebih lama dari pada *double gimbal* (Ksamawati 2017).

Perancangan elektronik

Perancangan elektronik dilakukan berdasarkan kebutuhan *input* dan *output*, dimana kebutuhan *input* berupa *Arduino Uno R3*, *Speed Controller Dinamo*, *MPU6050*, *DS3231* dan kebutuhan *output* berupa *SD Card Module*. Komponen elektronik yang diterapkan pada *prototype gyroscope* disajikan pada Gambar 6. Hubungan antar komponen elektronik disajikan pada Gambar 7.



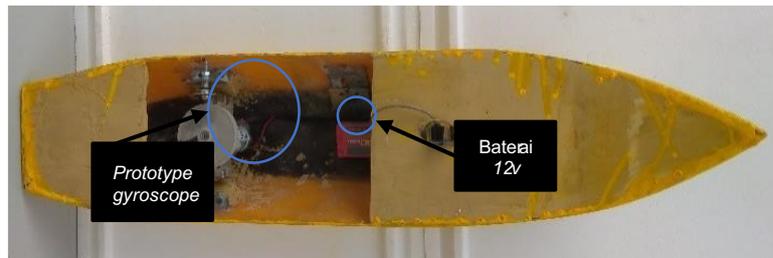
Gambar 6 Skema rangkain elektronik

Tabel 2 Hubungan antar komponen elektronik

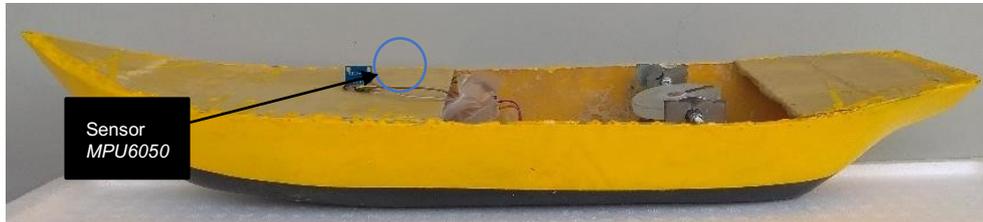
Komponen	Spesifikas	Fungsi
<i>Arduino Uno R3</i>	Volt = 7-12v Panjang = 68,6 mm Lebar = 53,4 mm Tinggi = 15 mm Berat = 25 g	Pusat kendali instrumen
Speed Controller Dynamo	Volt = 6-90v Panjang = 64 mm Lebar = 60 mm Tingi = 30 mm Berat = 35 g	Pusat kendali kecepatan rotasi per-menit flywheel
Komponen	Spesifikas	Fungsi
MPU6050	Voltase = 3-5v Panjang = 22 mm Lebar = 17 mm Berat = 2 g	Membaca kemiringan sudut roll, pitch dan yaw
DS3231	Volt = 3,3-5,5v Panjang = 38 mm Lebar = 22 mm Tinggi = 14 mm Berat = 10 g	Membaca real-time data instrumen
SD Card Module	Volt = 3,3-5v Panjang = 20 mm Lebar = 28 mm Berat = 5 g	Menyimpan data instrumen

Berdasarkan Tabel 2, dalam melakukan simulasi dinamis dibutuhkan perangkat elektronik dalam membantu mengumpulkan data simulasi. Perangkat pertama yaitu *MPU6050*. Perangkat ini dapat mengukur kecepatan, orientasi, dan gaya gravitasi. Nilai yang dihasilkan sensor didapat dari gerakan tiga sumbu yaitu *x*, *y*, dan *z*. Sensor ini mampu membaca kemiringan sudut berdasarkan data sensor yang ingin dimuat pada modul *MPU6050*. Dalam membaca data sudut kemiringan dibutuhkan perangkat yang memiliki fungsi untuk menghitung waktu. Perangkat tersebut ialah *DS3231* yang mana tergabungnya baterai modul yang berguna dalam meningkatkan akurasi waktu walau listrik utama ke perangkat terganggu. Perangkat ini dapat mempertahankan informasi waktu seperti tahun, bulan, tanggal, bahkan jam. Namun yang dibutuhkan berdasarkan data waktu yang terekam yaitu data per-detik. Kemudian data yang berperan dalam menyimpan data sudut kemiringan per-detik yaitu *SD Card Module*. *SD Card Module* berguna dalam menyimpan hasil data diperoleh dengan data waktu yang aktual. Namun untuk menggunakan semua modul tersebut dibutuhkan menulis sebuah *script* atau kode program dan mengunggah kode program pada *mikrokontroler* yang bernama *Arduino Uno R3* dalam menjalankan semua modul tersebut.

Setelah seluruh perancangan mekanik dan elektronik telah dibuat, maka selanjutnya *prototype gyroscope* ditempatkan pada model kapal yang tersedia. Penempatan *prototype gyroscope* disajikan pada Gambar 7.



Tampak atas



Tampak samping

Gambar 7 Penempatan prototype gyroscope

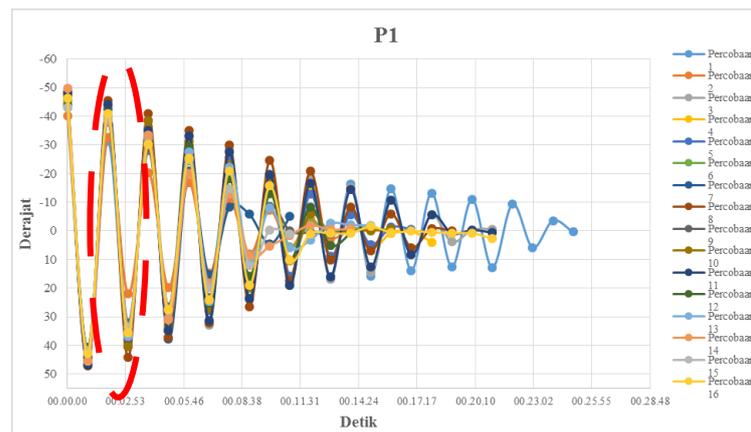
Berdasarkan gambar di atas perancangan *prototype gyroscope* harus sesuai syarat dan ketentuan. Jika pemasangan *prototype gyroscope* pada model kapal tidak sesuai syarat dan ketentuan maka sistem kerja *prototype gyroscope* dalam meredam olah gerak tidak dapat bejalan dengan semestinya. Menurut Putra (2013), dalam melakukan eksperimen, persiapan yang matang mutlak diperlukan agar memperoleh hasil yang diharapkan. Penempatan *prototype gyroscope* diletakkan dimana titik berat model kapal secara kosong. Menurut Wicaksana (2017), kapal kosong atau *light weight ton* merupakan jumlah massa kapal yang tidak bisa dipisahkan. Berdasarkan hal tersebut uji coba model kapal diatas air menunjukkan *draft* haluan sama dengan *draft* buritan atau disebut *trim even keel*. Hal ini disebabkan titik berat model kapal kosong bekerja vertikal kebawah berada di *midship*.

Hal ini berhubungan dengan gaya apung benda pada air. Berdasarkan hal tersebut jika sebuah benda dapat terapung di air, maka benda tersebut mengalami gaya tekan keatas. Resultan gaya tekan keatas oleh air ke badan model kapal pada bagian yang terendam air akan melalui titik berat dari bagian model kapal yang tercelup air. Titik berat dari bagian model kapal yang berada dibawah permukaan air disebut titik tekan. Menurut hukum Archimedes besarnya gaya tekan keatas dari sebuah benda terapung adalah volu me benda yang terendam air dikalikan dengan berat jenis zat cair. Pada sebuah kapal yang terapung, titik tekan terletak pada satu titik vertikal dengan titik berat model kapal dan besar gaya berat model kapal sama dengan gaya tekan. Dengan demikian dalam keadaan *trim even keel*, titik berat total pada kapal kosong berada di *midship*. Menurut Cahyo (2014), letak titik berat secara memanjang merupakan hal penting dalam memperhitungkan *trim* dari kapal.

Berdasarkan hal tersebut *prototype gyroscope* diletakkan pada bagian yang memiliki dampak gaya berat terbesar dalam menentang olah gerak *rolling* kapal. Menurut Lewin (2015), efek *gyro* yang diberi kecepatan putar konstan dengan massa beban disalah satu sumbu putar menghasilkan kecepatan lebih cepat dalam melingkari tali megantung. Diasumsikan bahwa gaya *gyro* lebih cepat menstabilkan posisi pada perlakuan yang diberi beban dibandingkan perlakuan tidak diberi beban. Berdasarkan fenomena tersebut maka penempatan *prototype gyroscope* berada pada titik terberat massa model kapal. Menurut Akpadiaha dan Jeremiah (2019), pemasangan sistem *gyrostabilizer* dengan *single gimbal* harus sebesar $\frac{2}{3}$ dari panjang kapal. Menurut Steinmann (2014), penggunaan *gyrostabilizer* direkomendasikan pada setelah *midship* kapal atau pada 70% dari panjang LWL kapal. Panjang model kapal yang dirancang bernilai 65 cm, maka $\frac{2}{3}$ dari panjang model kapal sebesar 43,4 cm. Namun model kapal yang dirancang memiliki 9 ordinat. Dari 9 ordinat tersebut masing-masing jarak antar ordinat memiliki jarak 7,2 cm. Berdasarkan asumsi tersebut, maka penempatan *prototype gyroscope* berada model kapal dengan ordinat 2 dan 3. Novita *et al.* (2014) yang menyatakan bahwa penempatan muatan dibawah lantai dek kapal dapat meningkatkan kualitas stabilitas kapal.

Pengaruh Prototype Gyroscope Pada Kapal Slender

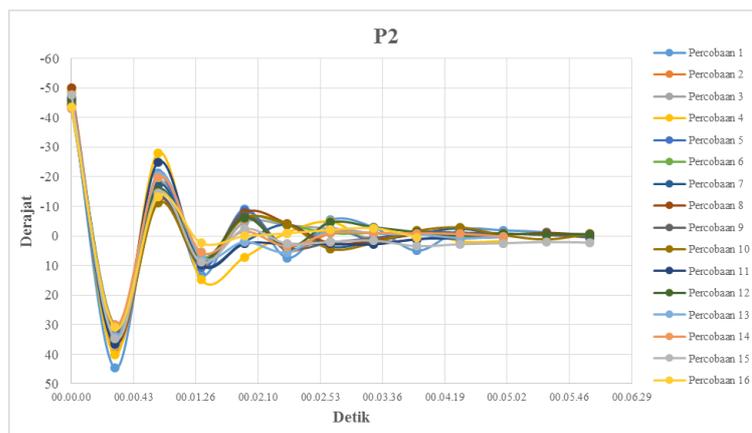
Pengaruh keberadaan *gyroscope* untuk menjaga kestabilan kapal adalah dengan melihat profil gerakan *rolling* antara model kapal yang tidak dilengkapi dan yang dilengkapi dengan *gyroscope* dengan percobaan *inclining test* atau uji kemiringan model kapal. Pada percobaan *inclining test* pada model kapal penelitian ini tanpa tambahan perlakuan gelombang Irregular (gelombang yang mempunyai tinggi dan periode gelombang yang berubah-ubah terhadap waktu) dan regular (gelombang teratur terhadap amplitudonya) disebabkan terkendalanya peneliti dalam keadaan pandemi corona, sehingga uji kemiringan pada penelitian ini hanya menekan salah satu bagian *shear* model kapal, dimana dalam menekan *shear* model kapal pada yang memiliki nilai lebar (*breadth*) antara ordinat model kapal paling besar. Hal tersebut dilakukan agar dapat mendapatkan nilai profil *rolling* yang diharapkan. Hasil eksperimen yang menghasilkan profil gerakan *rolling* model kapal yang dilengkapi dan tidak dilengkapi dengan *gyroscope*, disajikan pada grafik kosinus Gambar 8 dan 9.



Gambar 8 Perlakuan tanpa prototype gyroscope

Pada Gambar 15 menyajikan profil pergerakan *rolling* model kapal dengan perlakuan tanpa *prototype gyroscope*. Pada grafik yang disajikan pada Gambar 15 terlihat bahwa sudut oleng kapal setelah perlakuan berkisar antara 40 - 44 °. Jumlah gerakan *rolling* yang terjadi setelah perlakuan hingga kapal relative tegak adalah antara 0,24 - 4,16 gerakan *rolling*. Adapun waktu yang dibutuhkan dari awal perlakuan hingga kapal dalam kondisi relatif tegak berkisar antara 25-28 detik. Menurut Yuwandana (2017), *rolling duration* adalah gerakan *rolling* model kapal yang disebabkan oleng hingga model kapal kembali pada nol derajat dalam satu satuan waktu.

Gerakan *rolling* termasuk gerakan osilasi. Menurut *Bhattacharyya* (1978), gerakan osilasi adalah pergerakan bolak balik menuju titik kesetimbangan pada sumbu memanjang. Oleh karena itu, saat kapal oleng dikarenakan terkena hampasan gelombang yang mengenai salah satu sisi kapal, setelah energi gelombang hilang, kapal akan kembali ke posisi tegak semula. Kembalinya kapal ke posisi tegak semula disebabkan gaya gravitasi yang mempengaruhi kapal. Semakin lama, dampak energi gelombang akan semakin kecil, dan akhirnya akan hilang sama sekali. Saat itulah, kapal akan kembali ke posisi tegak semula. Akan tetapi, lama atau sebetulnya waktu yang dibutuhkan oleh kapal untuk kembali ke posisi tegak semula, tergantung pada bentuk kasko kapal yang terbenam air serta distribusi muatan di atasnya, sebagaimana disampaikan oleh *Fyson* (1985). Kondisi sebagaimana disampaikan tersebutlah yang menjawab mengapa gerakan *rolling* kapal terjadi dengan sudut oleng yang semakin mengecil seiring berjalannya waktu. Ditambahkan oleh *Bhattacharyya* (1978), gerakan osilasi terjadi dikarenakan adanya *restoring force* dan *damping force* yang bekerja pada kapal.

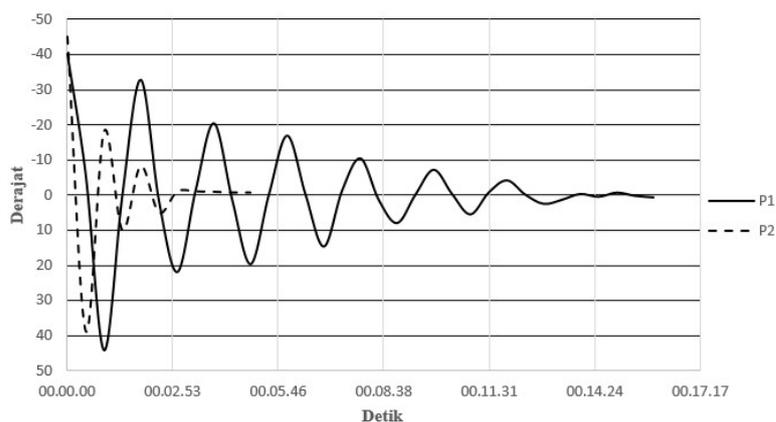


Gambar 9 Perlakuan prototype gyroscope

Pada Gambar 9 menyajikan profil pergerakan *rolling* model kapal dengan perlakuan *prototype gyroscope*. Pada grafik terlihat bahwa sudut oleng kapal setelah tekanan terhadap salah satu sisi kapal dilepaskan, adalah $17,7^\circ$. Jumlah gerakan *rolling* yang terjadi setelah dihitung dari model kapal melakukan gerakan *rolling* bebas hingga kapal berada pada posisi yang relatif tegak perlakuan hingga kapal relative tegak adalah antara 0,38 – 2,7 gerakan *rolling*. Adapun waktu yang dibutuhkan dari awal model kapal melakukan gerakan *rolling* secara bebas hingga kapal dalam kondisi relatif tegak berkisar antara 5-6 detik.

Profil Performa Rolling Perlakuan P1 dan P2

Pada perbandingan performa gerakan *rolling* model kapal yang dilengkapi dengan *gyroscope* dan tanpa *gyroscope*, dari masing-masing ulangan di tiap perlakuan (P1 dan P2), diambil satu sampel performa yang profilnya secara umum terjadi. Untuk melihat perbedaan gerakan *rolling* kapal yang terjadi, maka yang akan diamati adalah: 1) besarnya amplitudo *rolling*, 2) frekuensi *rolling* dalam satuan detik, dan 3) durasi waktu yang dibutuhkan oleh model kapal untuk kembali relatif dalam posisi tegak. Agar lebih jelas perbedaannya, maka kedua profil gerakan *rolling* dibandingkan dalam suatu grafik perbandingan sebagaimana disajikan pada Gambar 10.



Gambar 10 Sampel Profil rolling P1 dan P2

Pada Gambar 10 memperlihatkan sampel *profil rolling* antara perlakuan tanpa *prototype gyroscope* (P1) dengan perlakuan *prototype gyroscope* (P2) dari perlakuan yang diberikan. Gerakan *rolling* yang dibentuk oleh model kapal diubah ke dalam grafik berbentuk gelombang amplitudo. Gelombang amplitudo yang terjadi pada setiap perlakuan terlihat semakin lama akan semakin mengecil. Hal ini disebabkan gerakan *rolling* merupakan gerakan osilasi.

Pada perlakuan P1, model kapal mengalami gerakan *rolling* dalam satu satuan waktu paling banyak sehingga *rolling duration* yang terjadi cenderung lebih lama karena memiliki *restoring force* yang rendah. Sedangkan, P2 memiliki gerakan *rolling* dengan amplitudo yang lebih kecil dengan *rolling duration* yang lebih cepat hingga posisi kapal relatif kembali ke posisi tegak semula. Hal tersebut juga *rolling frequency* yang dihasilkan, yaitu semakin sedikit. Berdasarkan hal tersebut

besar sudut oleng berkurang lebih cepat dibandingkan perlakuan P1 seiring bertambahnya waktu. Pada Gambar 10 terlihat bahwa perlakuan P1 cenderung lebih lama dalam mempengaruhi sudut oleng model kapal hingga di kondisi tegak semula. Dengan demikian *rolling duration* yang dihasilkan pada satu satuan waktu perlakuan P1 sebesar 16 detik sedangkan perlakuan P2 sebesar 5 detik. Selain itu terdapat nilai *rolling period* yang terjadi pada setiap perlakuan. Menurut Bhattacharyya (1978), *rolling period* merupakan waktu yang dibutuhkan oleh model kapal dalam setiap satu siklus *rolling*. Berdasarkan hal tersebut nilai *rolling period* pada perlakuan P1 sebesar 6,75 kali/16 detik sedangkan perlakuan P2 sebesar 2,75 kali/5detik. Selain itu *rolling frequency* yang dimiliki perlakuan P1 sebesar 0,148 detik sedang kan perlakuan P2 sebesar 0,36 detik. Berdasarkan hal tersebut periode dengan frekuensi berbanding terbalik dimana semakin banyaknya periode terjadi maka semakin sedikit frekuensinya ($f = 1/T$). Menurut Bhattacharyya (1978), *rolling frequency* merupakan jumlah olah gerak model kapal dalam satu satuan waktu. Berdasarkan hal tersebut, perlakuan P2 memiliki olah gerak yang lebih baik dibandingkan perlakuan P1. Hal tersebut disebabkan menentukan muatan atau titik berat *prototype gyroscope* sesuai dengan ketentuan. Dengan demikian perlakuan P2 memiliki peredam *rolling* yang lebih baik dalam menegakan model kapal pada derajat nol. Menurut Novita *et al.* (2010) mendefinisikan waktu redam adalah waktu yang diperlukan model kapal dalam melakukan gerakan *rolling* hingga model kapal tegak kembali. Demikian dengan sudut oleng yang terbentuk dalam perlakuan P1 sebesar 44,29° sedangkan perlakuan P2 sebesar 18,05°. Hal tersebut menunjukkan bahwa sudut oleng yang teredam oleh perlakuan P2 lebih cepat rendah dibandingkan perlakuan P1 untuk menjadi stabil kembali. Menurut Liliana *et al.* (2012) besarnya sudut oleng yang dihasilkan dapat mempengaruhi *rolling period* yang terjadi. Fenomena ini menunjukkan pemasangan *prototype gyroscope* pada model kapal sangat efektif untuk mengurangi *rolling period* kapal model. Menurut FAO (2009) kapal yang memiliki stabilitas yang baik adalah kapal yang memiliki nilai *rolling period* yang kecil.

Tabel 3 Hasil perlakuan parameter yang diberi penilaian

Parameter	P1		P2	
	Nilai	Grade	Nilai	Grade
Sudut oleng (derajat)	44	II	17,7	I
Rolling duration (s)	16,8	II	5,3	I
Rolling period (detik)	0,59	II	0,66	I
Rolling frequency (kali/detik)	1,7	II	1,5	I

Berdasarkan Tabel 3 menunjukkan bahwa *rolling* yang dilakukan secara eksperimen pada kapal model memiliki perbandingan nilai rata-rata parameter perlakuan P1 dan P2 berda sangat signifikan. Data yang diperoleh pada sudut oleng dalam perlakuan penggunaan *gyroscope* pada variable P2 memiliki nilai sudut oleng sebesar 17,7 ° sedangkan pada variable P1 memiliki nilai sudut oleng 44 °. Begitu juga dengan parameter *rolling duration* pada variable P2 sebesar 5,3 detik. Hal tersebut terjadi dikarenakan model kapal memiliki daya redam yang semakin bertambahnya waktu maka olah gerak model kapal semakin kecil. Menurut Bhattacharyya (1978), ketika *rolling* kapal terjadi terdapat daya redam pada kapal yang disebabkan berkurangnya olah gerak *rolling* akibat terserap oleh resistensi air. Hal tersebut *rolling duration* yang diberi perlakuan penggunaan *gyroscope* dapat mengurangi olah gerak *rolling* pada kapal model sebesar 68,45% terhadap waktu. Selain itu menurut Bhattacharyya (1978), *rolling frequency* adalah banyaknya gerakan oleng kapal dalam satu satuan waktu. data pada tabel menunjukkan nilai rata-rata parameter *rolling frequency* dengan perlakuan variabel P1 sebesar 1,7 kali/ detik sedangkan variable P2 yang mana memiliki nilai rata-rata tinggi sebesar 1,5 kali/detik. Sedangkan *rolling period* pada tabel dengan perlakuan P1 memiliki nilai rata-rata sebesar 0,59 detik sedangkan perlakuan P2 sebesar 0,66 detik. Berdasarkan hal tersebut, *rolling period* yang terjadi mempengaruhi besarnya sudut kemiringan kapal ketika melakukan *rolling*. Pada Tabel 4 disajikan hasil uji anova terhadap kedua perlakuan tersebut.

Tabel 4 Anova

Source of Variation						
SS	df	MS	Fhit	P-value	F tabel	

Between Groups	1046.53125	1	1046.53125	136.2449	1.11078E- 12	4.170876786
Within Groups	230.4375	30	7.68125			
Total	1276.96875	31				

Berdasarkan Tabel 4 di atas terlihat bahwa eksperimen *rolling* model kapal dengan dua perlakuan dan 16 pengulangan dari uji *clining test* bahwa $F_{hit} > F_{table}$ atau nilai $P\text{-Value} < 0.05$, maka H_0 ditolak dan H_a diterima yaitu terdapat pengaruh *rolling* yang terbentuk dengan perlakuan penggunaan *prototype gyroscope* lebih rendah dibandingkan perlakuan tanpa *prototype gyroscope*. Begitupun juga dengan waktu yang dihabiskan hingga kapal model hingga sudut normal atau 0° . Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan penggunaan *gyroscope* berpengaruh secara nyata terhadap stabilitas kapal model. Menurut Akpadiaha dan Jeremiah (2019), *gyrostabilizer* memiliki kemampuan mereduksi *rolling* 70% dalam menjaga stabilitas kapal. Hasil kajian menunjukkan bahwa keberadaan *gyroscope* akan mempercepat kembalinya posisi oleng kapal ke posisi oleng yang sebaliknya, sehingga kapal pada akhirnya akan cepat kembali ke posisi tegak semula.

SIMPULAN DAN SARAN

Rancang bangun model kapal *slender* dan *prototype gyroscope* dengan rasio 1 : 8,2. *Prototype gyroscope* memiliki dimensi komponen penyusun *flywheel* berukuran jari-jari 3cm dan tinggi 0,7cm, *bearing* berukuran jari-jari 0,175cm dan tinggi 0,4cm, *gimbal* berukuran panjang 3cm, lebar 2,5cm dan tinggi 0,2cm, dan dinamo dc berukuran jari-jari 2,5cm dan tinggi 3,5 cm. Kecepatan sudut *flywheel* sebesar 3750 rotasi per menit secara konstan, serta memiliki rancangan fisik berupa bentuk sumbu putar *flywheel* secara vertikal dan bentuk *gimbal* secara tunggal. Posisi penempatan *prototype gyroscope* berada pada ordinat 2 dan 3 pada model kapal *slender*. Pengaruh *rolling duration*, *rolling period*, *rolling frequency* dan sudut oleng yang terjadi pada model kapal *slender* tanpa penggunaan *prototype gyroscope* memiliki nilai masing-masing 16 detik, 4,16 detik, 0,24 kali/detik dan 44° . Sedangkan pengaruh *rolling duration*, *rolling period*, *rolling frequency* dan sudut oleng yang terjadi pada model kapal *slender* penggunaan *prototype gyroscope* memiliki nilai masing-masing 5,5 detik, 2,7 detik, 0,38 kali/detik dan $17,7^\circ$. Profil performa *rolling* pada penggunaan *prototype gyroscope* memiliki kemampuan meredam *rolling* model kapal *slender* sebesar 68,45%.

DAFTAR PUSTAKA

- Akpadiaha I, Jeremiah V. 2019. *Roll motion damping using gyroscopic stabilizers*. *Indian Journal of Engineering*. 16:242-251.
- Amnirullah L. 2015. Analisis kesulitan penguasaan konsep mahasiswa pada topic rotasi benda tegar dan momentum sudut. *Jurnal Fisika Indonesia*. 55(19):1410-2994.
- Cahyo ID. 2014. Fungsi kurva bonjean pada peluncuran kapal secara *end launching*. *METANA*. 10(1):25-33.
- Halliday D, Resnick R, Walker J. 2010. *Fisika Dasar 1 Ed ke-7 Jilid 1*. Jakarta (ID): Erlangga.
- Helmi M, Nurhasanah, Santoso B. 2016. Analisa pengaruh pemasangan cadik pada kapal nelayan 3 GT ditinjau dari *power engine*. *Kapal*. 13(2):78-83.
- Hoshio A. 1994. *Stabilizer by control moment gyroscope*. *Mitsubishi Juko Giho*. 31(3):213-216.
- Fyson J. 1985. *Design of Small Fishing Vessels*. England (ED): Fishing News Books Ltd.
- [KKP] Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2018. *Tren Sumberdaya Kelautandan Pengelolaan 2018*. Jakarta (ID): California Environmental Associates.
- Ksamawati WE. 2017. Rancang bangun mekanisme stabilitas *double gyroscope* pada kendaraan roda dua. [skripsi]. Surabaya (ID): Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Liliana N, Novita Y, Purwangka F. 2012. *Rolling period* kapal bermuatan padat dan cair serta kaitannya dengan efek *free surface*. *Buletin PSP*. 20(3):34- 42.
- Lungari FF, Kumaseh EI. 2018. Hubungan ukuran utama dan daya penggerak perahu katir (*pumpboat*) tuna hand line di kabupaten kepulauan sangihe. *Jurnal Wave*. 12(1):23-30.
- Novita Y, Martiyani N, Ariyani RE. 2014. Kualitas stabilitas kapal payung Palabuhanratu berdasarkan distribusi muatan. *Jurnal IPTEKS PSP*. 1(1):2839.

- Perez T, Steinmann PD. 2009. Analysis of ship roll gyrostabiliser control. Donha DC, editor. *Proceedings of the 8th IFAC International Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft* [internet]. [2009 Sept 16-18] Guaraja (BR): IFAC. hlm 310-315; [diunduh 2019 Nov 15]. Tersedia pada: <https://www.sciencedirect.com/sdfe/reader/pii/S1474667016319139pdf>
- Poh AK, Tang CH, Kang H, Lee K, Siow C, Malik AMA, Mailah M. 2018. *Gyroscopic Stabilisation of Rolling Motion In Simplified Marine Hull Model*. Kuala Lumpur (MY).
- Putra SR. 2013. *Desain Belajar Mengajar Kreatif Berbasis Sains*. Yogyakarta (ID): DIVA Press.
- Suhaerah L. (2015). *Statistika Dasar*. Bandung (ID): Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Pasundan.
- Talha M, Asghar F, Kim SH. 2017. Design of fuzzy tuned pid controller for anti rolling gyro (ARG) stabilizer in ships. *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*. 17(3):210-220.
- Teigland H, Flåten A, Lied MR, Smith CC, Nyland JF. 2017. Minimizing motions of floating vessels using the moving frame method in dynamics. [tesis]. Bergen (NO): Western Norway University of Applied Sciences.
- Townsend NC, Shenoi RA. 2011. Gyrostabilizer vehicular technology. *Applied Mechanics Reviews*.64: 1 - 14.
- Wrigley W, Hollister WM, Denhard WG.1969. *Gyroscopic Theory, Design and Instrumentation*. Cambridge (US): MIT Press.
- Wicaksana B. 2017. Analisis perbandingan kapal pengangkut ikan (*fish carrier*) dari hdpe, fiber, dan baja. [skripsi]. Surabaya (ID): Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.
- Yuwandana DP, Novita Y, Iskandar BH. 2014. Efektivitas sirip peredam dalam meredam efek *free surface* yang mempengaruhi gerakan *rolling* kapal model. *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*. 5(2):187-197.