

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kapal *Speed Boat*

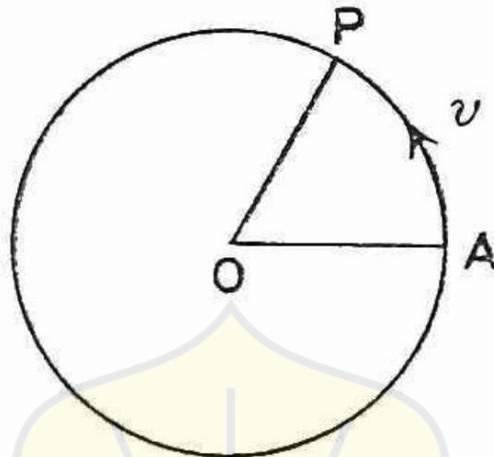
Kapal *speed boat* adalah termasuk dalam klasifikasi kapal cepat yang memiliki kecepatan dinas lebih tinggi atau mencapai 20 Knot atau bahkan lebih, mempunyai dimensi kecil dan berat yang ringan umumnya dibuat dari material *fiberglass*. *Speed Boat* pada umumnya digunakan untuk kelancaran operasional di alur pantai, keperluan wisata, penyeberangan antar pulau kecil, sungai maupun danau bahkan karena mempunyai kecepatan dinas yang tinggi seringkali digunakan sebagai sarana untuk perolongan pertama jika terjadi kecelakaan maupun musibah di laut dan digunakan untuk keperluan inspeksi oleh pengawas. Karakteristik *speed boat* yang mempunyai bobot ringan, sehingga distribusi muatannya dan sistem strabilitas kapal perlu diperhatikan secara cermat karena faktor tersebut akan mempengaruhi kemampuan *speed boat* untuk meredam olah gerak kapal akibat gaya eksternal [8].



Sumber : KNKT

Gambar 2.1 Model kapal *speed boat*

2.2 Kecepatan Sudut



Sumber : Harold Cbatree

Gambar 2.2 Kecepatan sudut

Kecepatan sudut terjadi pada titik O, jika gerak titik P relatif terhadap acuan titik O tapi tidak bergerak sepanjang garis OP. Kecepatan sudut bisa diukur dengan laju terhadap garis OP yang menggambarkan sudut. Gambar 1 menerangkan, jika titik O sebagai poros cakram, titik P mulai bergerak dari titik A secara bersamaan dengan kecepatan v , laju pada sudut dari POA yang menerangkan kecepatan sudut disebut ω dapat dikatakan partikel P terhadap O. Jika r diterangkan sebagai jari-jari lingkaran, serta v adalah satuan panjang yang dilalui per detik atau satuan waktu.

$$\omega = \frac{v}{r} \text{ Rad/sec} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

v = kecepatan gerak translasi (m/s)

r = radius terhadap poros rotasi cakram (m)

Satuan dari ω kecepatan sudut adalah rad/s, dimana satuan tersebut dapat dikonversikan menjadi putaran tiap menit (RPM) begitu juga sebaliknya. Jika tiap 1 putaran penuh adalah sama dengan 2π radian, maka kaitan kedua satuan dapat ditentukan sebagai,

$$\omega = \frac{N \cdot 2\pi}{60 \text{ s}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

ω = kecepatan sudut (rad/s)

N = putaran tiap menit (RPM) [10]

2.3 Percepatan Sudut

Dapat dikatakan percepatan sudut jika suatu benda berbentuk cakram bergerak berputar kemudian terjadi peningkatan atau perubahan laju kecepatan sudut $\delta\omega$ pada perubahan selang waktu δt , maka kaitan antara kedua notasi tersebut dapat dijelaskan,

$$\alpha = \frac{\delta\omega}{\delta t} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

α = percepatan sudut (rad/s²)

$\delta\omega$ = perubahan kecepatan sudut (rad/s)

δt = selang waktu saat terjadi perubahan kecepatan putar (s)

Hasil dari substitusi persamaan 3 ke persamaan 1, diperoleh

$$\alpha = \frac{\frac{\delta v}{r}}{\delta t} = \frac{dv}{r\delta t} \dots\dots\dots (2.4)$$

- α = percepatan sudut (rad/s^2)
- δv = perubahan kecepatan putaran (rad/s)
- r = radius terhadap poros rotasi (m)
- δt = selang waktu yang dibutuhkan saat mengubah kecepatan (s)

$$\alpha = \frac{a}{r} \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

- α = percepatan sudut (rad/s^2)
- a = percepatan gerak translasi (m/s^2)
- r = radius terhadap poros rotasi cakram (m)

2.4 Torsi/Momen Gaya

Untuk memuntir benda cakram terhadap poros rotasinya, dibutuhkan suatu gaya yang bekerja. Gaya tersebut dikerjakan di suatu titik pada sepanjang garis tertentu dari titik poros cakram ke arah tepi cakram. Torsi/Momen gaya adalah hasil perkalian \vec{F} sebagai vektor gaya x \vec{r} sebagai vektor jarak lengan, sehingga ditentukan seperti bawah ini:

$$\tau = \vec{F} \times \vec{r} \dots\dots\dots (2.6)$$

Besar momen gaya bukan hanya karena ada gaya yang bekerja, tetapi jarak dari poros ke tepi cakram juga berperan. Sesuai dengan Hukum Newton yang ke dua, telah ditentukan f adalah hasil kali antara m sebagai massa dan a sebagai percepatan, sedangkan besar nilai percepatan sudut α yang terjadi pada cakram dipengaruhi sumbu putarnya. Keadaan tersebut menghasilkan persamaan,

$$a = r \times \alpha \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana :

a = percepatan gerak translasi (m/s^2)

r = radius terhadap poros rotasi cakram (m)

α = percepatan sudut (rad/s^2)

Dan

$$F = m \times r \times \alpha \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

F = gaya yang bekerja (N)

M = massa benda (kg)

α = percepatan angular (rad/s^2)

maka persamaan 6 dapat ditentukan:

$$\tau = m r^2 \alpha \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana:

τ = torsi / momen gaya (N.m)

m = massa benda cakram (kg)

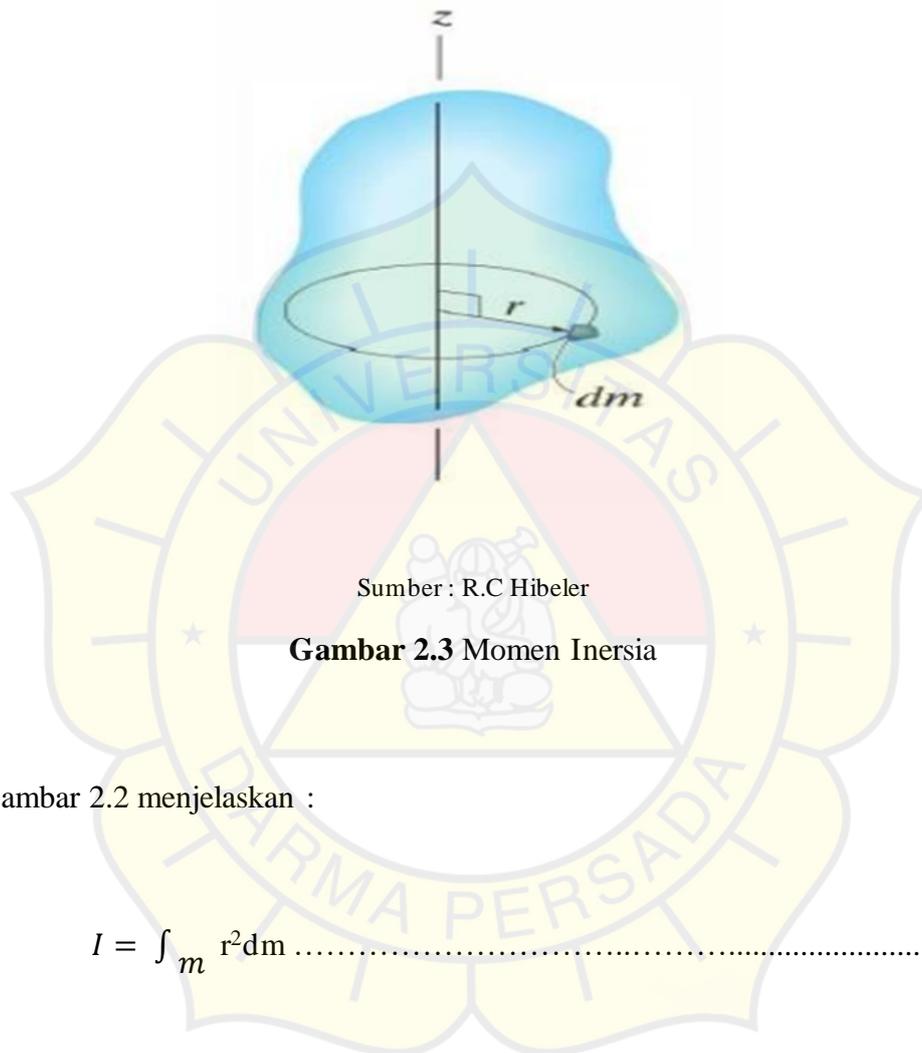
r = radius terhadap poros rotasi cakram (m)

α = percepatan angular (rad/s^2) [11]

2.5 Momen Inersia

Massa benda dapat mengubah gerak linear suatu partikel sesuai dengan isi dari Hukum Newton 2. Benda tegar yang berotasi, diketahui momen produk inersianya selaras dengan momen inertia dari benda tersebut

Keseluruhan elemen massa dm yang menyusun pada body merupakan momen kedua pada sumbunya, kemudian diintegrasikan sehingga mempengaruhi mempengaruhi nilai momen inersia.



Gambar 2.2 menjelaskan :

$$I = \int_m r^2 dm \dots\dots\dots (2.10)$$

Dimana :

I = momen inersia massa (N.m²)

m = massa benda cakram (kg)

r = radius terhadap poros rotasi cakram (m)

dm = massa potongan elemen benda (m)

radius terhadap poros rotasi cakram (r) merupakan panjang tegak lurus yang mengarah bebas ke massa dm , sehingga dilihat dari penjabaran di atas bahwa nilai r menentukan hasil momen inersia.

untuk mengetahui nilai momen inersia pada sumbu xx , jika benda mempunyai partikel n , sehingga dapat dijelaskan :

$$I_{xx} = \sum_{s=1}^n m_s \times r_s^2 \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

I_{xx} = momen inersia sumbu xx (N.m²)

m_s = massa benda cakram yang berotasi pada sumbu xx (kg)

r_s = radius terhadap poros rotasi massa benda yang berotasi terhadap sumbu xx (m)

untuk benda pejal berupa silinder terhadap sumbu, dapat dihitung dengan dijabarkan dengan,

$$I = \frac{1}{2} m \times r^2 \dots\dots\dots(2.12)$$

momen inersia dapat dituliskan dengan I_G karena perhitungannya berdasarkan sumbuhnya yang menyeberangi poros massa *body*/benda G yang berotasi, sehingga dijabarkan,

$$I_G = \frac{1}{2} m \times r^2 \dots\dots\dots (2.13)$$

Dimana:

I_G = momen inersia melewati poros rotasi massa *body*/benda G (N.m²)

r = radius terhadap poros rotasi (m)

m = massa benda G (kg) [11]

2.6 Momentum sudut

Suatu benda bergerak mengitari poros rotasi mempunyai jarak radius r , dengan memiliki kecepatan sudut ω , sehingga memberikan momentum sudut L . Kondisi ini dapat dijabarkan dengan mengalikan momentum linear P dengan jarak radius r .

$$L = \frac{1}{2} \times p \times r \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana:

L = momentum sudut (kg.m²/s)

p = momentum linear (kg.m/s)

r = radius terhadap poros rotasi (m)

momentum linear p di dapat dari hasil perkalian massa sebuah benda m dengan kecepatan gerak translasi v maka didefinisikan,

$$p = m \times v \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana:

p = momentum linear (kg.m/s)

m = massa benda (kg)

v = kecepatan gerak translasi (m/s)

sedangkan v di dapat dari kecepatan sudut ω dikalikan dengan radius terhadap poros rotasi r , sehingga dapat ditulis dengan,

$$v = \omega \times r \dots\dots\dots (2.16)$$

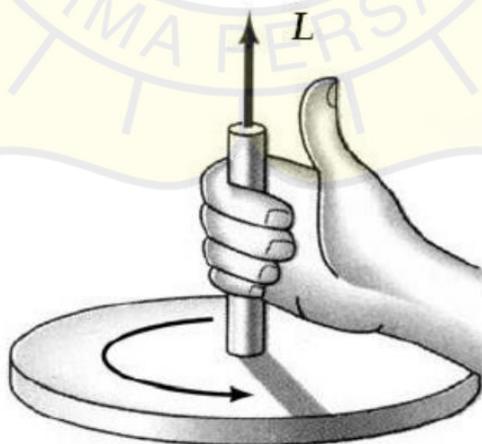
Dimana:

- v = kecepatan gerak translasi (m/s)
- ω = kecepatan sudut (rad/s)
- r = radius terhadap poros rotasi (m)

$$L = I \times \omega \text{ atau } L = (m \times r^2) \times \left(\frac{N \cdot 2\pi}{60}\right) \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana:

- L = momentum sudut (kg.m²/s)
- m = massa benda (kg)
- ω = kecepatan sudut (rad/s)
- r = radius terhadap poros rotasi (m)
- I = momen inersia



Sumber :

Gambar 2.4 Momentum sudut

Berdasarkan penjelasan dari hukum kaidah tangan kanan bahwa momentum sudut dideskripsikan sebagai ibu jari dan jari keempat-empatnya yang terlipat menjelaskan arah dari momentum sudut.

Arah maupun besar yang dihasilkan momentum sudut L adalah tetap, apabila tidak diberikan pengaruh oleh momen gaya atau dapat dikatakan besaran torsi τ yang mempengaruhi pada benda sama dengan nol, teori tersebut dijelaskan pada Hukum Kekekalan Momentum, sehingga persamaan dapat ditulis,

$$\tau = F \times r \dots\dots\dots(2.18)$$

Dimana :

- τ = torsi/momen gaya (N.m)
- F = gaya yang bekerja (N)
- r = radius terhadap poros rotasi (m)

$$\tau = (m \times a) \times r \dots\dots\dots(2.19)$$

Dimana :

- τ = torsi/momen gaya (N.m)
- m = massa benda (N)
- r = radius terhadap poros rotasi (m)

$$\tau = \left(m \times \frac{\delta p}{\delta t} \right) \times r \dots\dots\dots(2.20)$$

Dimana:

- τ = torsi/momen gaya (N.m)
- m = massa benda (N)
- δv = perubahan kecepatan putaran (rad/s)
- δt = selang waktu yang dibutuhkan saat mengubah kecepatan (s)
- r = radius terhadap poros rotasi (m)

$$\tau = \frac{\delta p}{\delta t} \times r \dots\dots\dots(2.21)$$

Dimana:

- τ = torsi/momen gaya (N.m)
- m = massa benda (N)
- δp = perubahan momentum linear (rad/s)
- δt = selang waktu yang dibutuhkan saat mengubah kecepatan (s)
- r = radius terhadap poros rotasi (m)

Disubstitusikan dengan persamaan (14), sehingga dapat dijabarkan,

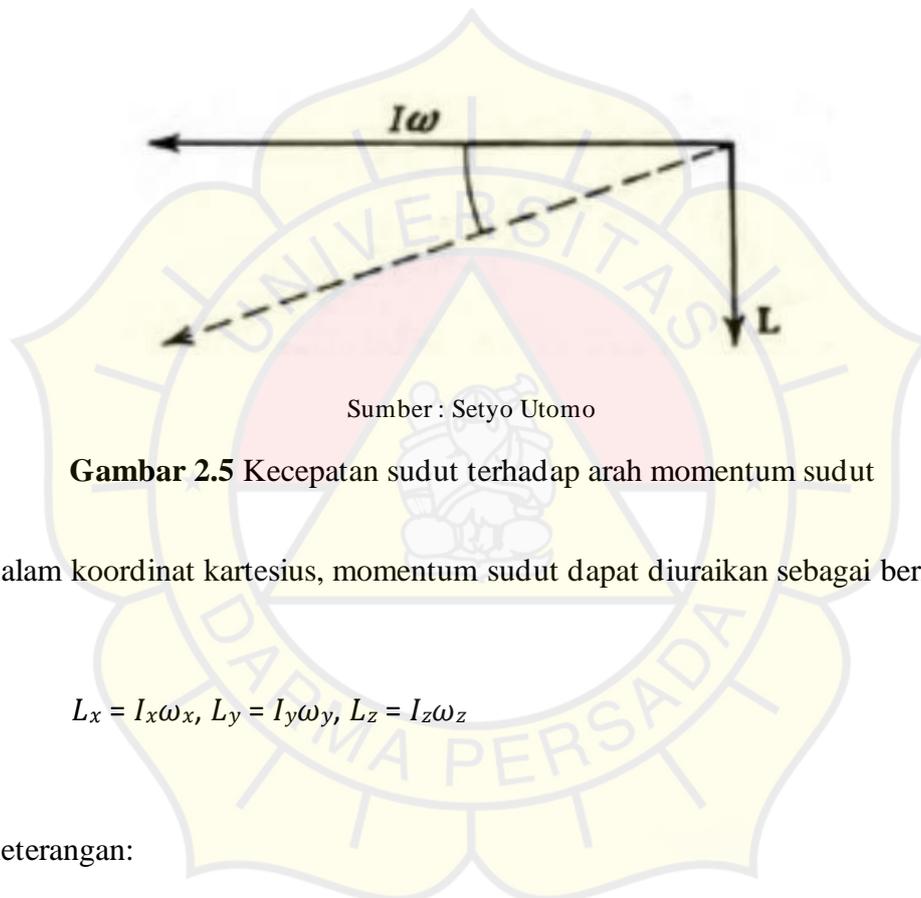
$$\tau = \frac{\delta L}{\delta t} \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana:

- τ = torsi/momen gaya (N.m)
- δL = perubahan momentum sudut (kg.m/s)
- δt = selang waktu saat terjadi perubahan kecepatan putar (s)

Bedasarkan persamaan yang diuraikan di atas menjelaskan bahwa, besaran momentum sudut adalah konstan pada benda yang bergerak secara memuntir

terhadap poros bendanya dengan catatan tidak dipengaruhi oleh momen gaya atau besar torsi ($\tau = 0$). Apabila gaya momen/torsi bekerja pada benda tersebut, maka momentum angular yang bekerja pada benda akan mengalami perubahan selaras dengan arah torsi yang bekerja. Akibat perubahan arah rotasi benda atau perubahan arah momentum sudut sehingga benda yang berputar pada terhadap porosnya menghasilkan perubahan putaran pada bidangnya dapat disebut “perubahan posisi” sekaligus terjadi kecepatan sudut lain pada benda. Presisi adalah θ sudut yang terbentuk dari perubahan posisi benda, kecepatan sudutnya atau kecepatan sudut lain pada benda dituliskan dengan kecepatan sudut presisi.



Gambar 2.5 Kecepatan sudut terhadap arah momentum sudut

Dalam koordinat kartesius, momentum sudut dapat diuraikan sebagai berikut,

$$L_x = I_x\omega_x, L_y = I_y\omega_y, L_z = I_z\omega_z$$

Keterangan:

L_x = momentum sudut pada sumbu x

I_x = momen inersia pada sumbu x

ω_x = kecepatan angular pada sumbu x [11]

2.7 Efek Giroskopik

Giroskop merupakan sebuah benda pejal yang bergerak sesuai lintasannya sambil berputar terhadap poros sumbu benda karena adanya gaya eksternal yang

bekerja. Poros *flywheel* dari *gyroscope* dapat mengubah orientasi sistem dalam ruang, kondisi ini yang disebut sebagai efek giroskopik. Pergerakan *gyroscope* yang bebas pada sumbunya, biasanya diperoleh dari adanya penyangga motor/dinamo pada gimbal dan dapat juga menggunakan dengan satu gimbal atau dua gimbal. Efek giroskopik tentu banyak diterapkan dalam teknologi modern seperti navigasi otomatis pada pesawat terbang, kapal, roket, torpedo, untuk penentuan horizon atau garis meridian geografis, untuk sensor pengukuran kecepatan gerak translasi atau sudut benda saat bergerak, dan tujuan lainnya. Efek giroskopik dapat terjadi dalam dua kondisi, yakni sumbu rotasi giroskop harus mampu mengubah orientasi dalam ruang, dan kecepatan sudut rotasi giroskop pada porosnya harus sangat besar dibandingkan dengan kecepatan sudut dari sumbu giroskop ketika berorientasi.

Saat giroskop dipengaruhi oleh torsi eksternal, giroskop akan cenderung bergerak tegak lurus terhadap momentum angular sesuai torsi yang diberikan. Gerakan yang diakibatkan dari torsi eksternal yang bekerja pada *gyroscope* inilah disebut precesi.

2.8 Sistem Gyroscope

Self-stabilization dapat dilihat pada benda yang tidak stabil seperti monorel roda dua, kendaraan roda dua, atau sepeda tanpa awak. Kendaraan tersebut memiliki konstruksi roda dua dengan roda berada di depan dan dibelakang kendaraan dengan sumbu putar masing-masing dan sejajar. Stabilisasi menggunakan sistem giroskopik memanfaatkan roda yang berputar pada kecepatan tertentu.

Penggunaan susunan giroskop dengan satu gimbal atau dua gimbal, vertikal giroskop maupun horizontal giroskop, bergantung terhadap gerak dan batasan yang diinginkan. Penggunaan single gimbal memberikan momen penyeimbang lebih besar daripada double gimbal sehingga penggunaan single gimbal lebih sering dijumpai pada kasus stabilisasi sehari-hari seperti pada kapal, monorail dan sebagainya.

Berdasarkan sumbu putar giroskop, pada umumnya pemasangan giroskop dilakukan dengan dua macam, yakni vertikal dan horizontal. Jika giroskop dirakit dengan sumbu vertikal sebagai sumbu putar *flywheel*, maka giroskop tersebut

dinamakan vertikal giroskop, sedangkan jika sumbu horizontal sebagai sumbu putar flywheel, maka disebut Gyroscope horizontal. *Gyroscope* vertikal sangat cocok digunakan untuk mempertahankan suatu sistem pada kondisi vertikalnya seperti sudut kemiringan dari objek terhadap bidang dari sumbu vertikal dan juga cocok untuk sistem yang dinamis. *Gyroscope* jenis ini biasa digunakan untuk menjaga posisi vertikal objek dalam waktu yang lebih lama. Sedangkan giroskop horizontal biasanya digunakan untuk menjaga agar suatu sistem tetap pada kondisi horizontalnya. Pada penerapannya, *gyroscope* horizontal digunakan pada sistem pesawat terbang bersama dengan *gyroscope* vertikal, sebagai sistem navigasi. *gyroscope* horizontal hanya cocok digunakan untuk sistem yang statis. Sehingga untuk pengembangannya sering digunakan tipe *gyroscope* vertikal.

2.9 Gyroscopic Stabilizer

Permainan gasing merupakan permainan yang dimainkan dengan memuntirkannya di atas lantai, mekanisme tersebut telah dijelaskan di hukum newton kedua yaitu mengenai gerak benda berotasi. Kondisi ini sangat kompleks sehingga lumayan sulit diterangkan, karena di saat kondisi tertentu gasing dapat berotasi secara sederhana. Putaran gasing terhadap sumbu poros rotasi menghasilkan momentum sudut, kondisi tersebut dapat tetap berlanjut sampai adanya pengaruh atau diberikan torsi dari luar.

Penggunaan *Gyroscopic Stabilizer* untuk mengurangi gerakan roll di kapal, stabilitas kapal dapat terkendali ketika jumlah rpm *flywheel* dipenuhi, prinsip kerja ini memiliki kesamaan seperti gasing.

Gambar 3.2.1 menunjukkan sumbu Z yang diputari *flywheel*, mengacu pada kaidah tangan kanan, vektor dari hasil putaran menandakan gerakan berputar ke arah atas. Gerakan terhadap sumbu Y saat *flywheel* berputar dan arah vektornya mengarah ke kiri dapat disebut presesi. Sumbu X menghasilkan momen penegak. Vektor X, Y dan Z, ketiga vektor ini saling tegak lurus. Jari telunjuk menunjukkan arah putaran vektor Z, jari tengah mewakili arah presesi vektor Y, dan ibu jari mewakili arah momen penegak vektor X. Secara teoritis, ini menjelaskan bahwa momen penegak τ dari gyro dapat dihitung berdasarkan persamaan.

$$\tau = I_G \times \omega \times \omega_{\text{Presesi}} \times \cos\phi \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana :

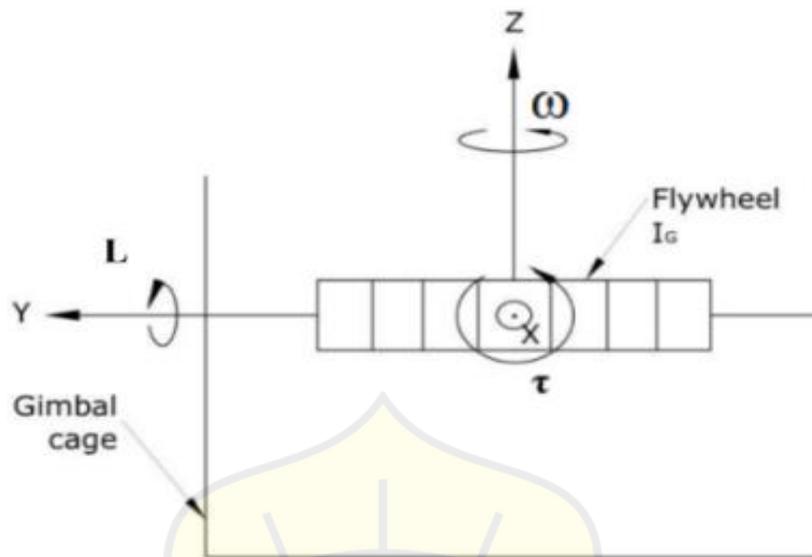
- τ = torsi/momen penegak (N.m)
- I_G = momen inersia terhadap salah satu sumbu melalui pusat rotasi massa G (N.m²)
- ω = mecepatan sudut *flywheel* (rad/s)
- ω_{Presesi} = mecepatan sudut presesi (rad/s)
- ϕ = sudut yang didapatkan saat gerak *rolling*/sudut presesi gyro (°)

I_G adalah nilai yang ditentukan berdasarkan geometri *flywheel* dan dihitung dengan persamaan, ω adalah nilai dari kecepatan putar *flywheel*, ω_{Presesi} adalah nilai kecepatan presisi, ϕ sudut presisi gyro.

$$I_G = \frac{1}{2} \times m \times r^2 \dots\dots\dots (2.24)$$

Ketentuan :

- I_G = Momen inersia terhadap salah satu sumbu melalui pusat rotasi massa G (N.m²)
- m = Massa benda (kg)
- r = Radius *flywheel* titik pusat rotasinya (m)



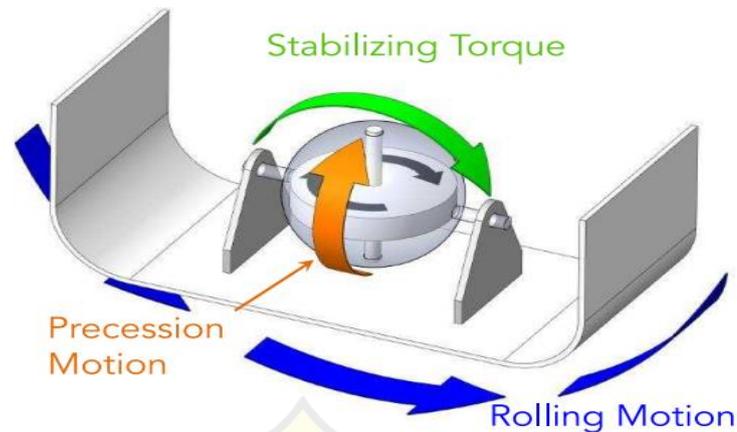
Sumber : Tao Zhang

Gambar 2.6 *Gyroscopic Stabilizer*

2.10 Prinsip Kerja Gyroscope Pada Kapal

Terdapat 3 keadaan yang memproses terjadinya torsi gyro yang menyebabkan keseimbangan. Perlu diketahui bahwa keadaan ini terjadi secara bersamaan. Saat *flywheel* berputar terjadi proses yang menghasilkan torsi *gyro-stabilizing* dapat meredam gerakan *rolling*, berikut 3 keadaan tersebut

1. Hantaman ombak mengakibatkan terjadi gerakan *rolling*
2. Gerakan *rolling* terjadi bersamaan dengan berputarnya *flywheel*, kemudian kondisi tersebut menghasilkan gerak presisi pada *gyroscope*.
3. Gerak presisi yang terjadi dikombinasikan dengan *flywheel* secara terus berputar, keadaan inilah yang menghasilkan torsi stabilitas pada kapal .



Sumber : Paul Steinmann

Gambar 2.7 Gyroscope pada kapal

2.11 Penempatan Gyroscope Pada Kapal

Gyroscope dapat menghasilkan torsinya secara sendiri, jika dilihat secara teori penempatan *gyroscope* dapat diletakan di manapun. Torsi yang bekerja pada *gyroscope* akan melawan torsi yang bekerja ketika terjadi gerakan rolling walaupun *gyroscope* ditempatkan tepat pada centerline, tidak pada *centerline*, buritan dan haluan kapal. Jika penempatannya tidak tepat pada centerline, tentu distribusi muatan harus diperhatikan. Untuk menghindari terhadap pengaruh gerak kapal secara vertikal atau gerak pitching yang dapat merusak komponen *gyroscope*, sebaiknya *gyroscope* ditempatkan tengah kapal/centerline dan dianjurkan tidak lebih dari 70 % LWL yang dihitung dari haluan kapal menurut Steinman (2014). Tingginya tidak melebihi di atas 2 m dari gari air kapal, s jikalau melebihi ini akan mempengaruhi berat kapal, oleh sebab itu pemasangannya dibutuhkan perlakuan khusus karena. Mempertimbangan kebisingan yang dihasilkan *gyroscope* tentu ini akan mengganggu penumpang kapal, maka untuk menghindari kebisingan *gyroscope* ditempatkan pada ruang mesin bahkan ini akan mempermudah *power supply* dan dilindungi oleh konstruksi yang kokoh dalam ruang mesin. Berdasarkan uraian di atas, maka peletakan *gyroscope* dapat ditempatkan antara lain,

- Peletakan *gyroscope* tidak melebihi 70 % LWL diukur dari haluan kapal.

- Penempatan gyroscope diperbolehkan tidak tepat pada *centerline*, dengan memperhatikan distribusi muatan.

2.12 Seakeeping

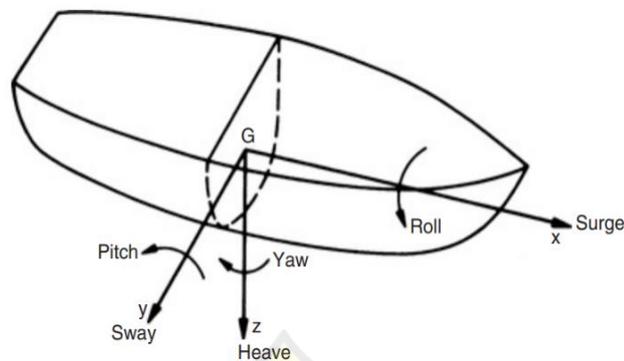
Seakeeping atau disebut dengan olah gerak kapal adalah gerakan pada kapal yang disebabkan adanya pengaruh dari gaya eksternal yang bekerja seperti hantaman, ombak dan angin. Terlihat pada gambar 2.6 bahwa kemampuan kapal menjaga kestabilannya dipengaruhi oleh gerak 6 derajat kebebasan, gerakan tersebut antara lain :

Gerak translasi kapal,

1. *Surging* adalah gerakan kapal yang bergerak maju lalu mundur dan sebaliknya (gerak mengikuti arah sumbu x)
2. *Swaying* adalah gerak kapal ke arah sisi kiri, ke kanan dan sebaliknya (gerak selaras dengan sumbu y).
3. *Heaving* adalah gerak naik turun kapal dan sebaliknya (searah dengan sumbu Z)

Sedangkan gerak rotasi kapal,

1. Gerak *rolling* adalah gerakan sisi samping kapal secara naik turun mengitari sumbu putar X
2. *Pitching* adalah gerakan depan dan belakang kapal secara naik turun yang mengitari sumbu putar Y.
3. *Yawing* adalah gerakan depan dan belakang kapal secara ke kiri lalu ke kanan yang mengitari sumbu putar Z.



Sumber : Anthony F. Molland

Gambar 2.8 *Seakeeping*

2.13 Gerak *Rolling Kapal*

Gerak *rolling* merupakan gerak kapal mengayun ke kiri dan ke kanan yang berotasi pada sumbu longitudinal, gerak ini dapat disebabkan oleh faktor internal (penataan muatan yang tidak merata, desain lambung kapal) dan eksternal (gelombang, angin). Menunjukkan seberapa ekstrem gerakan rolling dapat diukur sudut maksimum pada posisi berguling dan periode rolling yaitu waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan 1 siklus *rolling* dengan kembali ke posisi vertikal. Salah satu cara untuk meredam gerakan rolling pada kapal dengan menggunakan sistem stabilisasi yang baik menurut Barass, Bryan dan Derrett, D.R. (2012).