

Aplikasi Prinsip *Gyroscope* untuk Mempertahankan Keseimbangan Sebuah Sistem Sederhana

Liya Kholida^{1,a)}, Rizqa Sitorus^{1,b)}, Alfian Inzia Fusiari^{1,c)}, Nurrohman^{1,d)} dan Dwi Irwanto^{2,e)}

¹Magister Pengajaran Fisika ,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

²Laboratorium Fisika Nuklir,
Kelompok Keilmuan Fisika Nuklir dan Biofisika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

^{a)} liyakholidia92@gmail.com

^{b)} rizqasitorus@gmail.com

^{c)} alfian.inzia@gmail.com

^{d)} nurrohmanbdg@gmail.com

^{e)} dirwanto@fi.itb.ac.id

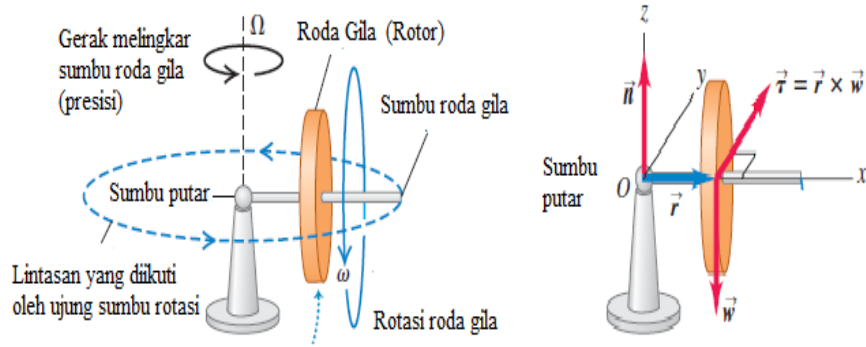
Abstrak

Gyroscope adalah sebuah alat yang bertumpu pada konsep kekekalan momentum sudut, torsi dan momen inersia yang penggunaannya dapat ditemui pada berbagai aplikasi seperti pada helikopter, robot, smartphone, dan lain-lain. Dalam sebuah sistem *gyroscope* sederhana, apabila rotor berputar, maka sistem ini akan cenderung mempertahankan keadaannya atau mempertahankan sikap konstan selama tidak ada pengaruh gaya dari luar. Dalam makalah ini, akan dipelajari bagaimana prinsip *gyroscope* dapat digunakan untuk mempertahankan keseimbangan sebuah sistem. Studi kasus yang diambil adalah bagaimana menjaga keseimbangan sekeping CD (Compact Disc) sehingga CD tetap berada pada posisi berdiri dan tidak jatuh. Prinsip kerja *gyroscope* diterapkan dalam kasus ini dengan memperhatikan dan menyelidiki beberapa parameter yang memiliki pengaruh signifikan terhadap sistem ini, seperti momen inersia rotor yang ditentukan oleh massa dan jarak terhadap sumbu putarnya. Dengan proses pembuatan dan pengamatan yang dilakukan dapat dipahami prinsip kerja *gyroscope*, konsep rotasi benda tegar, momentum sudut dan torsi.

Kata Kunci : *Gyroscope*, keseimbangan, kekekalan momentum sudut, torsi, presisi.

PENDAHULUAN

'Gyro' berasal dari kata Yunani, yang berarti 'gerakan melingkar dan rotasi berarti gerakan berputar'. Sebuah *gyroscope* adalah suatu mekanisme tata ruang yang umumnya digunakan untuk studi gerak presisi dari benda yang berputar [1]. Dalam sebuah sistem *gyroscope* sederhana, apabila rotor berputar, maka sistem ini akan cenderung mempertahankan keadaannya atau mempertahankan sikap konstan selama tidak ada pengaruh gaya dari luar. Gerakan rotasi pada rotor akan menyebabkan adanya gerak melingkar pada sistem. Gambar 1 adalah salah satu sistem *gyroscope*. Apabila rotor/roda gila dalam keadaan diam (inersia), maka rotor akan terjatuh kebawah mengikuti gaya gravitasi. Akan tetapi, apabila rotor dalam keadaan berotasi dengan kecepatan sudut ω , maka rotor akan bergerak melingkar dan dalam keadaan setimbang (tidak jatuh) [1]. Rotor berputar pada titik sumbu putar O sebesar Ω (rad/s). Hal ini dikarenakan *gyroscope* memiliki karakteristik yang dikenal sebagai presisi.



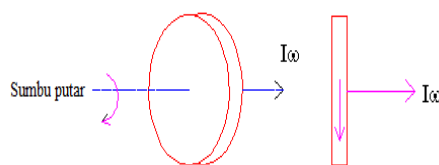
Gambar 1. Sistem giroskop dan diagram gaya yang dimiliki ketika rotor dalam keadaan diam(sumber: Sears and jewwet,2015)

Presisi ialah gerakan memiringkan atau berputar melingkar dari sumbu *gyroscope* sebagai akibat dari gaya yang diterapkan. Ketika sebuah gaya diterapkan pada tepi *gyroscope* yang stasioner (diam). Maka rotor akan bergerak dalam arah yang sama dengan gaya tersebut. Namun, ketika rotor berputar, gaya yang sama mengakibatkan rotor bergerak kearah yang berbeda seolah-olah gaya yang diterapkan pada titik 90⁰ di sekitar lingkaran dalam arah rotasi. Untuk mempelajari fenomena presisi maka terlebih dahulu kita harus memahami hubungan antara momen gaya terhadap momentum sudut yang diberikan oleh persamaan : $d\vec{L} = \vec{\tau}dt$

Pada makalah ini kami mencoba membuat sistem sederhana dengan menggunakan kepingan CD untuk mempelajari prinsip *gyroscope* dalam mempertahankan kesetimbangan sistem tersebut. Dengan memperhatikan dan menyelidiki parameter masing-masing kepingan CD seperti massa CD, tebal CD, jari-jari CD dan lengan gaya pada CD, diperoleh besaran fisika lainnya yakni momen inersia dan momentum sudut rotor. Dengan mengetahui parameter ini maka dapat dipahami prinsip kerja *gyroscope*, konsep rotasi benda tegar, momentum sudut dan torsi.

GERAK ANGULER

Suatu benda tegar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 berputar dengan kecepatan sudut konstan (rad/s) disekitar sumbu putar yang melalui pusat massanya. Momentum sudut yang dihasilkan akibat rotasi tersebut merupakan besaran vektor sebesar $I\omega$. I menyatakan massa inersia pada rotor disekitar sumbu putar.



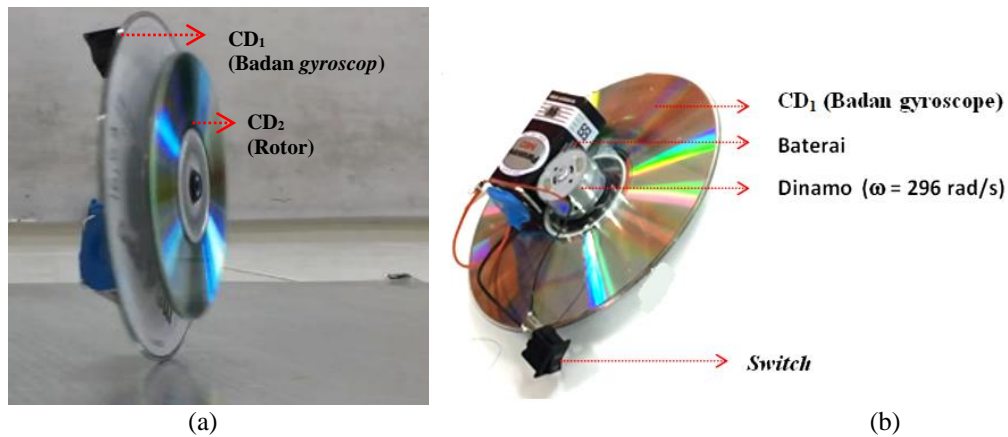
Gambar 3. Arah momentum sudut pada benda tegar (sumber:)

Arah dari momentum sudut dapat diketahui dengan menggunakan kaidah tangan kanan seperti pada sekrup. Ibu jari menunjukkan arah momentum sudut dan jari lainnya menunjukkan arah rotasi benda.

DISAIN SISTEM GYROSCOPE

Sistem *Gyroscope* dalam penelitian ini dibuat dari kepingan CD yang dibagi menjadi dua bagian, yaitu keping CD₁ dan CD₂ seperti terlihat pada Gambar 2.a. Jari-jari (R) CD₁ lebih besar dibandingkan dengan jari-jari (R) dari CD₂. Keping CD₁ berperan sebagai sistem yang ingin dijaga kesetimbangannya dan terdiri dari sebuah CD, dinamo, baterai dan *switch* seperti terlihat pada Gambar 2.b. Pada sistem ini, sumber putar dinamo dihubungkan dengan keping CD₂ yang berperan sebagai rotor yang dapat berputar. Ketika saklar dihidupkan dan dinamo berputar, keping CD₂ (rotor) yang dihubungkan dengan dinamo pun akan berotasi dengan kecepatan sudut sebesar $\omega = 296$ rad/s. Kecepatan sudut $\omega = 296$ rad/s merupakan kecepatan sudut yang dimiliki *dynamo* dengan tipe RF300FA dan keluaran 0,02W~1,8W ketika diberi beban. Sehingga dengan mengasumsikan gerak dinamo terhubung pada CD₂ maka CD₂ dianggap memiliki kecepatan yang sama dengan *dynamo*. Karena penambahan massa CD₂ sangatlah kecil, maka kecepatan sudut yang dimiliki oleh keping CD₂ tidak mengalami perubahan (konstan) Putaran rotor dari CD₂ mengakibatkan keping CD₁

memiliki gerak yang disebut presisi dengan kecepatan presisi sebesar Ω (rad/s). Hal ini kemudian membuat sistem *gyroscope* tidak jatuh ketanah (Gambar 2.a) dan cenderung untuk mempertahankan kesetimbangannya atau mempertahankan sikap konstan selama tidak ada pengaruh gaya dari luar.



Gambar 2. Disain sistem *gyroscope* menggunakan 2 keping CD (a) bagian CD₁ (b) sistem *gyroscope*

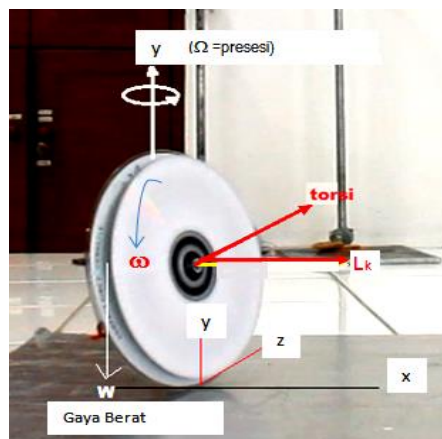
Untuk mempelajari karakteristik sistem *gyroscope* sehingga tujuan dari penelitian ini dapat tercapai, maka beberapa parameter penting di bawah ini divariasikan sebagai berikut:

- (a) Variasi jari-jari rotor
 Jari-jari rotor yang digunakan adalah 5.5 cm, 5.0 cm, 4.5 cm, 4 cm dan 3.5 cm.
- (b) Variasi massa rotor
 Variasi massa rotor yang digunakan yaitu dengan menambah jumlah keping CD pada rotor. Variasi yang digunakan yaitu, 1 keping CD, 2 keping CD dan 3 keping CD.

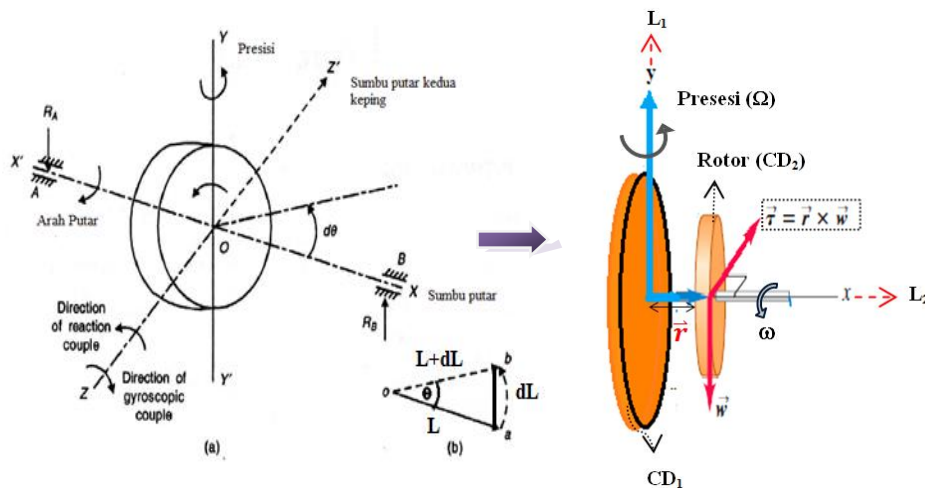
Pengamatan pada parameter yang berubah dalam sistem *gyroscope* ini pun bertujuan untuk mengetahui dan menentukan parameter optimal seperti apa yang akan membuat sistem ini stabil mempertahankan kesetimbangannya.

SISTEM *GYROSCOPE* KEPING CD

CD₁ yang merupakan sistem yang ingin kita pertahankan kesetimbangannya, kita asumsikan sebagai sebuah benda pejal yang memiliki massa m serta jari-jari r . Ketika rotor (CD₂) yang memiliki sumbu putar tepat di tengah sistem kemudian berputar dengan kecepatan sudut tertentu, maka akan timbul momentum sudut pada arah sumbu- x . Momentum sudut ini akan berubah hanya jika terjadi perubahan torsi akan kecenderungan sistem untuk jatuh ke bawah akibat gaya gravitasi. Perubahan momentum sudut inilah yang akan mengakibatkan munculnya gerak *presisi* yang dapat diamati dengan pergerakan memutar dari sistem CD₁ dengan arah putaran berlawanan dengan arah jarum jam. Perputaran sistem ini akan mengakibatkan adanya momentum sudut dalam arah sumbu- y yang akan menjaga agar benda tidak jatuh ke bawah dan tetap berada dalam kesetimbangan. Berdasarkan prinsip ini, percobaan dilakukan dengan ilustrasi terlihat pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Percobaan *gyroscope* menggunakan 2 keping CD



Gambar 5. Diagram gaya yang ditunjukkan pada keping CD

Momentum sudut yang diberikan rotor ketika berotasi ialah sebagai berikut:

$$L = mr^2\omega = I\omega \tag{1}$$

Adapun momentum sudut yang diberikan oleh CD besar bergantung pada arah presisi yang diberikan oleh sumbu-X. Perhatikan kembali Gambar 3. Ketika lengan gaya penghubung kedua CD berputar sepanjang lintasan-X maka sumbu-X tersebut akan bergeser sejauh $d\theta$ pada bidang XOZ, pergeseran ini memberikan perubahan momentum dari L terhadap $L+dL$. Sehingga kecepatan sudut presesi yang disimbolkan oleh Ω ialah :

$$\Omega = \frac{d\theta}{dt} = \frac{|d\vec{L}|/|\vec{L}|}{dt} = \frac{\tau}{L} = \frac{F_w r}{I\omega} = \frac{mgr}{I\omega} \tag{2}$$

Ω adalah kecepatan presesi yang di pengaruhi oleh besar momen inersia rotor (I), kecepatan sudut rotor (ω), massa sistem (m), gaya grafitasi (g) dan lengan gaya (r). Semakin besar L maka kecepatan presesi. Maka dari itu pada percobaan ini, untuk mengetahui pengaruh L maka dilakukan variasi jari-jari dan massa rotor.

DATA DAN HASIL PERHITUNGAN

Pada penelitian ini, dilakukan tiga buah percobaan dengan menggunakan sistem *gyroscope* yang telah dibuat. Percobaan 1 menggunakan satu keping CD, percobaan 2 menggunakan dua keping CD, dan percobaan 3 menggunakan tiga keping CD sebagai rotor yang berputar. Dengan melakukan perubahan parameter yang mempengaruhi momentum sudut sistem, diharapkan akan didapatkan karakteristik serta konfigurasi optimal untuk mempertahankan kesetimbangan sistem. Hasil percobaan yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 1-3.

Tabel 1. Hasil perhitungan percobaan 1 menggunakan satu keping CD pada rotor

No	Keping CD ₂ (Rotor)					Keping CD ₁			
	R ₂	ω	I	τ	L ₂	R	Ω	I	L
	m	Rad/s	mr ²	N.m	Kg.m ² .rad/s	m	Rad/s (x 10 ⁻³)	mr ²	Kg.m ² .rad/s
1	0.055	296	0.022	0.0009	6.54	0.06	0.85	0.137	0.0019
2	0.050	296	0.015	0.0007	4.52	0.06	1.20	0.137	0.0023
3	0.045	296	0.010	0.0006	3.00	0.06	1.75	0.137	0.0028
4	0.040	296	0.007	0.0005	1.99	0.06	2.61	0.138	0.0036
5	0.035	296	0.004	0.0004	1.25	0.06	4.07	0.150	0.005055

Tabel 2. Hasil perhitungan percobaan 2 menggunakan dua keping CD pada rotor

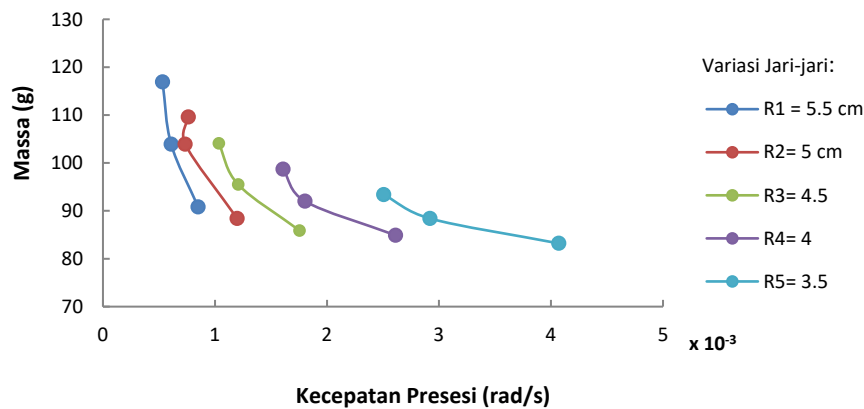
No	Keping CD ₂ (Rotor)					Keping CD ₁			
	R _r	ω	I	τ	L _r	R ₁	Ω	I	L
	m	Rad/s	mr ²	N.m	Kg.m ² .rad/s	m	Rad/s (x 10 ⁻³)	mr ²	Kg.m ² .rad/s
1	0.055	296	0.04	0.0020	12.37	0.06	0.61	0.137	0.0022
2	0.050	296	0.03	0.0020	10.26	0.06	0.73	0.137	0.0027
3	0.045	296	0.02	0.0014	5.70	0.06	1.21	0.138	0.0033
4	0.040	296	0.01	0.0011	3.67	0.06	1.80	0.138	0.0042
5	0.035	296	0.01	0.0009	2.20	0.06	2.92	0.137	0.0055

Tabel 3. Hasil perhitungan percobaan 3 menggunakan tiga keping CD pada rotor

No	Keping CD ₂ (Rotor)					Keping CD ₁			
	R _r	ω	I	τ	L _r	R ₁	Ω	I	L
	m	Rad/s	mr ²	N.m	Kg.m ² .rad/s	m	Rad/s (x 10 ⁻³)	mr ²	Kg.m ² .rad/s
1	0.055	296	0.061	0.0034	18.19	0.06	0.53	0.018	0.0025
2	0.050	296	0.042	0.0029	12.33	0.06	0.76	0.023	0.0032
3	0.045	296	0.028	0.0023	8.34	0.06	1.03	0.028	0.0038
4	0.040	296	0.018	0.0019	5.26	0.06	1.61	0.036	0.0050
5	0.035	296	0.004	0.0006	1.27	0.06	2.51	0.046	0.0063

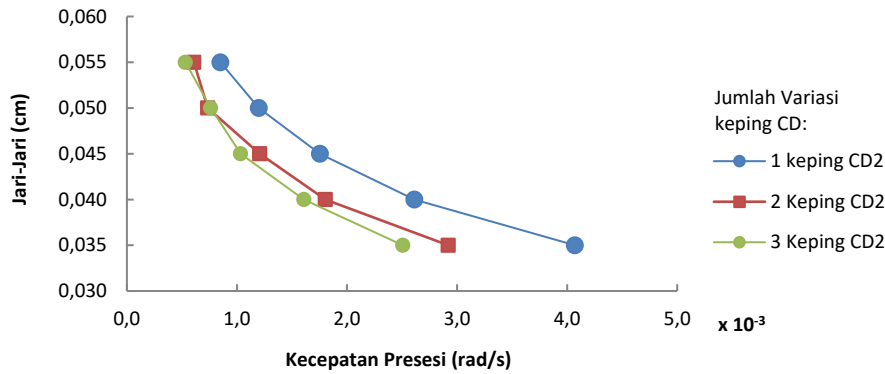
Grafik 5 dan 6 menunjukkan pengaruh massa terhadap kecepatan presesi dan pengaruh jari-jari terhadap kecepatan presesi.

Pengaruh Massa Rotor Terhadap Kecepatan Presesi



Gambar 5. Grafik Pengaruh Massa Terhadap Kecepatan Presesi

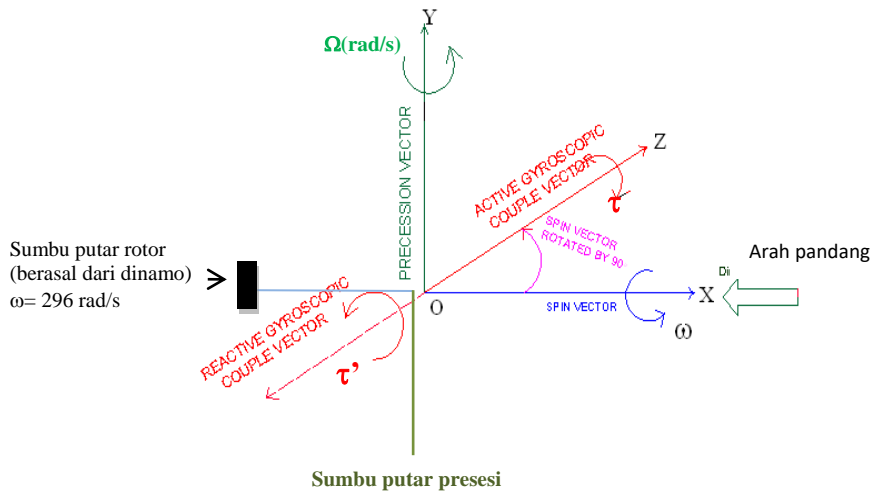
Pengaruh Jari-jari Terhadap Kecepatan Presepsi



Gambar 6. Grafik pengaruh jari-jari terhadap kecepatan presepsi

PEMBAHASAN

Hasil pengamatan pada sistem *gyroscope* ini menunjukkan, apabila rotor berotasi, sistem *gyroscope* cenderung tidak jatuh ketika posisi keping CD diposisikan vertikal. Stabil tidaknya sistem *gyroscope* pada studi ini tergantung besar variasi jari-jari dan massa rotor (ω tetap). Jari-jari dan massa rotor akan mempengaruhi besar inersia (I_2) rotor. Inersia rotor akan mempengaruhi besar momen gaya (L_r), dan torsi (τ) rotor. Besar L_r dan τ akan mempengaruhi besar kecepatan presepsi Ω (rad/s). Gambar 7 menunjukkan arah vektor torsi (*active gyroscopic couple vector and reactive gyroscopic couple vector*), kecepatan sudut (ω) dan presepsi (Ω) pada sistem *gyroscope*. Pada studi kasus ini, arah ω rotor berlawanan arah dengan jarum jam, sehingga arah rotasi Ω untuk semua variasi sistem *Gyroscope* juga berlawanan dengan arah jarum jam. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Gambar 7 berikut ini



Gambar 7. Diagram gaya sistem gyroscope pada keping CD

Prinsip kerja dari sistem keping CD adalah, ketika rotor berputar berlawanan arah jarum jam pada sumbu X, timbul momen gaya L_1 yang menimbulkan torsi τ pada sumbu Z (searah jarum jam). Keduanya menimbulkan kecepatan sudut baru yang disebut dengan kecepatan sudut presepsi. Kecepatan presepsi juga menimbulkan torsi sebesar τ' namun arah sumber putarnya berlawanan dengan sumbu putar. Dua vektor torsi τ dan τ' inilah yang mengakibatkan sistem tidak jatuh.

Hasil percobaan menunjukkan kestabilan *gyroscope* dipengaruhi oleh besar momen inersia dan kecepatan sudut yang dimiliki oleh kaset kecil. Semua kecepatan sudut rotor memiliki kecepatan yang sama dari kecepatan rotor dinamo. Percobaan 1, 2 dan 3 memiliki perbedaan momen inersia dengan cara membuat lapisan CD (massa diperbesar dengan menambah kepingan CD) dan jari-jari CD yang berbeda-beda.

Momen inersia (I_r) dan kecepatan sudut (ω) kaset pada rotor mempengaruhi besar momentum angular. semakin besar nilai I dan ω maka semakin besar kecepatan momentum angular. Momentum angular dan torsi yang ada pada rotor menghasilkan kecepatan sudut presepsi pada arah sumbu Y yang berputar pada bidang z

dan x . Besarnya kecepatan presisi terdapat pada persamaan 2, yang menunjukkan bahwa percepatan presisi diperoleh dari besar torsi dibagi kecepatan sudutnya. Sehingga dapat dijabarkan kecepatan sudut presisi berbading lurus dengan gaya dan jarak lengan gayanya, serta berbading terbalik dengan momen inersia dan kecepatan sudut rotor. Maka dapat dilihat dari tabel 1, 2 dan 3 semakin besar momen inersia pada rotor mengakibatkan *gyroscope* memiliki kestimbangan yang lebih baik karena nilai presesinya semakin kecil.

Hasil pengolahan data pada tabel 1, 2 dan 3 menunjukkan adanya pengaruh massa dan jari-jari terhadap kecepatan sudut presisi. Semakin besar massa dan jari-jari rotor maka semakin kecil pula kecepatan sudut presisi. Dengan mengamati Gambar 7 diketahui bahwa kecepatan sudut presisi pada studi kasus ini yaitu kecepatan sudut pada sumbu $-y$ yang memiliki arah putar berlawanan dengan arah jarum jam. Pada tabel 1 teramati bahwa $R_5 < R_4 < R_3 < R_2 < R_1$, pada kondisi ini terlihat bahwa R_5 tidak stabil (terjatuh). Hal ini dikarenakan jari-jari dan massa R_5 sangat kecil sehingga menyebabkan kecepatan sudut presisi lebih besar. Akibatnya sistem akan bergerak lebih cepat namun dalam kondisi yang tidak stabil (tidak terkontrol) sehingga sistem lebih cepat jatuh. Agar sistem tersebut stabil maka perlu ditambahkan massa pada rotor yakni dengan mengubah 1 keping rotor menjadi 2 keping rotor. Hal ini terbukti pada jari-jari yang sama seperti ditunjukkan pada Tabel 2 namun dengan jumlah keping yang berbeda, sistem dapat berputar (stabil) sehingga tidak terjatuh.

KESIMPULAN

Adanya kecepatan sudut pada rotor menimbulkan kecepatan sudut presisi sistem. Keduanya menghasilkan dua vektor torsi yang berlawanan arah sehingga sistem *gyroscope* tidak jatuh dan stabil. Kestabilan sistem tersebut dipengaruhi oleh besar momen inersia rotor. Pada studi kasus ini, rotor yang memiliki jari-jari dan massa yang paling besar memiliki kestabilan yang terbaik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam penulisan makalah ini.

REFERENSI

1. Vtu edusat programme. *Gyroscope*. <http://elearning.vtu.ac.in/newvtuelc/courses/17/e-Notes/10ME54/Unit7-YMS.pdf>. diakses pada 23 November.
2. Sears and Jewett. 2015. *Physics University*. Thomson: USA