

PENGUJIAN DAN ANALISIS PENGARUH DUA BUAH GIROSKOP PADA MODEL SEPEDA MOTOR SELF-BALANCING

Silmi Reyhan Walid A.R., A.Md.^[1], Dede Buchori Muslim, Masch.Ing.HTL, MT.^[2]

Jurusan Teknik Manufaktur, Politeknik Manufaktur Bandung

JL. Kanayakan No.21 Dago, Bandung, 40135 Phone/Fax : 022 250 0241 / 2502649

Email : reyhanwalid@gmail.com^[1], buchori@polman-bandung.ac.id^[2]

ABSTRAK

Kendaraan yang paling banyak digunakan di negara berkembang terutama di negara Indonesia adalah sepeda motor. Sepeda motor memiliki kelebihan dibandingkan kendaraan bermotor lain yaitu harganya yang relatif lebih murah dan kepraktisan dalam penggunaannya. Namun sepeda motor juga memiliki kekurangan yang tidak bisa dihilangkan yaitu ketidakstabilannya. Hal ini dikarenakan sepeda motor hanya bertumpu pada dua titik yaitu ban depan dan ban belakang. Penelitian dan pengujian ini bertujuan untuk meningkatkan kestabilan sepeda motor dengan menambahkan giroskop. Giroskop memiliki kemampuan untuk mempertahankan orientasinya dan menjaga dirinya agar tidak jatuh. Hal inilah yang coba diterapkan pada sepeda motor dengan harapan sepeda motor tidak akan mudah jatuh ketika digunakan yang berarti meningkatkan kestabilan dari sepeda motor. Penelitian dimulai dari studi literatur, perancangan, pembuatan, perakitan, pengujian, analisis, hingga dokumentasi. Literatur yang digunakan bersumber dari jurnal dan buku mengenai dinamika. Perancangan dilakukan dengan referensi dari literatur yang sudah dibaca dan dengan masukan dari pembimbing. Pembuatan dilakukan setelah proses perancangan selesai dan dilakukan dengan persetujuan pembimbing. Pengujian dilakukan setelah model berhasil dibuat dan terpasang, pengujian dilakukan dengan variabel kecepatan putar dan arah putar dari giroskop. Setelah pengujian dilakukan selanjutnya dilakukan analisis dengan menggunakan data – data yang didapat dari hasil pengujian untuk kemudian didokumentasikan dalam bentuk karya tulis ilmiah. Dari pengujian yang dilakukan ternyata model sepeda motor tetap terjatuh dan tidak dapat menyeimbangkan diri, oleh karena itu dilakukan analisis untuk mencari penyebab dari tidak stabilnya model sepeda motor. Dari hasil analisis yang dilakukan didapatkan hasil bahwa torsi yang dihasilkan oleh giroskop tidak cukup besar untuk mengkompensasi torsi yang muncul dari kemiringan model sepeda motor. Oleh karena itu dilakukan analisis untuk perbaikan kedepannya dengan mengacu pada rumusan dasar yang ada.

Kata kunci : *Sepeda motor, Kestabilan, Giroskop, Torsi, Kecepatan putar, Arah putar*

1. PENDAHULUAN

Kendaraan diciptakan sebagai alat untuk memudahkan manusia berpindah dari suatu tempat ke tempat lain, ada berbagai macam kendaraan yang sudah diciptakan manusia dan salah satunya adalah kendaraan roda dua. Kendaraan roda dua adalah kendaraan yang paling banyak digunakan, terutama di negara – negara berkembang termasuk di Indonesia, itu dikarenakan harganya yang murah dan juga kepraktisan dalam penggunaannya.

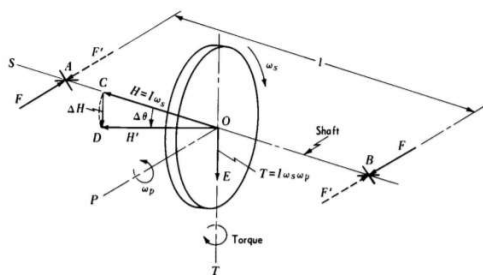
Namun ada kekurangan dari kendaraan roda dua yang tidak bisa dihilangkan yaitu ketidakstabilannya, hal ini dikarenakan kendaraan roda dua hanya bertumpu pada dua titik yang berada pada satu garis lurus. Kekurangan ini seringkali menjadi penyebab terjadinya kecelakaan dan oleh karena itu manusia berusaha untuk meningkatkan kestabilan tanpa menghilangkan kepraktisan dan kemudahan yang menjadi kelebihan dari kendaraan roda dua.

Salah satu cara untuk meningkatkan kestabilan kendaraan roda dua adalah dengan menggunakan giroskop. Giroskop dapat mengkompensasi torsi yang muncul dari kemiringan kendaraan roda dua sehingga kendaraan tidak mudah jatuh yang berarti kestabilan pada kendaraan roda dua meningkat. Pada penelitian ini giroskop digunakan bukan sebagai sensor melainkan sebagai aktuator yang menghasilkan torsi.

Untuk mencegah pembahasan yang terlalu meluas maka masalah yang akan dibahas pada penelitian ini dibatasi yaitu hanya membahas pengaruh giroskop terhadap kestabilan motor dengan melakukan variasi kecepatan putar dan arah putaran.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Giroskop



Gambar 2.1 Giroskop

Giroskop atau dalam bahasa Indonesia disebut giroskop menurut KBBI adalah “alat berupa cakram yang sumbunya berputar antara dua penopang dan tetap dalam posisinya apabila tidak ada pengaruh kekuatan dari luar”. Secara lebih detail giroskop adalah sebuah alat yang terdiri dari sebuah cakram yang memiliki massa dan berputar dengan kecepatan tertentu dan dapat mempertahankan orientasinya.

Kemampuan giroskop untuk mempertahankan orientasinya banyak digunakan sekarang ini contohnya untuk navigasi, kontrol satelit, dan *autopilot* pada pesawat. Namun pada penelitian ini giroskop digunakan bukan sebagai sensor melainkan sebagai aktuator untuk menyeimbangkan model sepeda motor *self-balancing*.

Pada sebuah giroskop yang berputar terdapat banyak fenomena yang terjadi, bahkan fenomena yang terlihat unintuitive atau terlihat tidak masuk akal padahal jika diteliti lebih lanjut fenomena yang terjadi sangat masuk akal dan dapat

dijelaskan dengan ilmu fisika dengan prinsip ketetapan momentum sudut.

2.2 Momentum Sudut

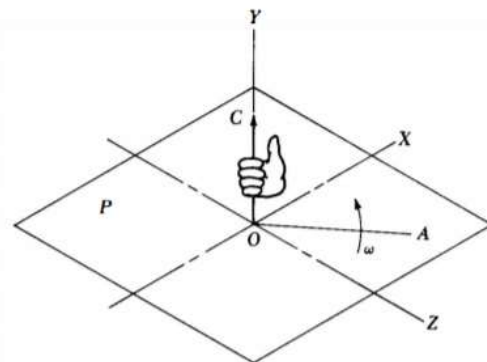
Momentum sudut atau momentum rotasional adalah ukuran seberapa besar momentum linear yang diarahkan ke titik pusat, momentum sudut disebut juga momen dari momentum, pada fenomena giroskop momentum sudut lah yang menyebabkan giroskop stabil dan tidak terjatuh meskipun diletakkan miring.

Rumus untuk menghitung momentum sudut suatu partikel adalah.

$$L = r \cdot p = r \cdot m \cdot v = r \cdot m \cdot \omega \cdot r = m \cdot r^2 \cdot \omega$$

Dimana r adalah jarak partikel terhadap sumbu putar, p adalah momentum linear, m adalah massa partikel, v adalah kecepatan linear partikel dan ω adalah kecepatan sudut. Namun pada penelitian ini yang digunakan adalah momentum sudut pada benda tegar, untuk menghitung besarnya momentum pada benda tegar dapat dicari menggunakan rumus.

$$L = \Sigma m \cdot r^2 \cdot \omega = I \cdot \omega$$



Gambar 2.2 Momentum sudut

2.3 Hubungan Momentum Sudut dan Torsi

Hubungan antara momentum sudut dan torsi dapat dicari dengan cara matematis dengan cara menurunkan rumus dasar momentum sudut dan torsi. Dari hasil penurunan rumus yang dikutip dari buku *Kinematics and Dynamics of Machines* didapatkan bahwa torsi merupakan laju perubahan momentum sudut per satuan waktu, ini dapat dibuktikan dengan penurunan rumus dibawah.

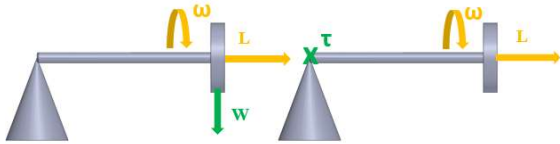
$$L = I \cdot \omega$$

$$\frac{\partial L}{\partial t} = \frac{\partial (I \cdot \omega)}{\partial t}$$

$$\lim_{t \rightarrow 0} \left(\frac{\partial L}{\partial t} \right) = I \cdot \lim_{t \rightarrow 0} \left(\frac{\partial \omega}{\partial t} \right)$$

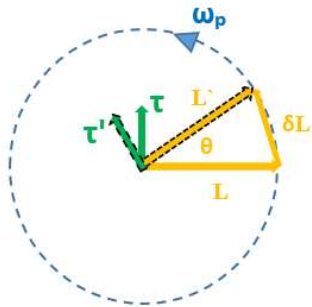
$$\frac{dL}{dt} = I \cdot \frac{d\omega}{dt} = I \cdot \alpha = \tau$$

Dari penurunan rumus diatas didapatkan bukti bahwa torsi adalah laju perubahan momentum sudut per satuan waktu. Pada giroskop dapat juga dilihat hubungan antara momentum sudut dan torsi, jika suatu giroskop yang berputar dan ditumpu hanya pada satu sisinya maka giroskop itu tidak akan terjatuh dan cenderung akan berputar/berevolusi terhadap tumpuannya seperti pada gambar dibawah.



Gambar 2.3 Fenomena pada giroskop

Momentum sudut akan bergerak mengejar torsi dan disaat yang sama torsi pun bergerak sesuai dengan posisi dari giroskop fenomena itulah yang menyebabkan giroskop berputar/mengorbit terhadap tumpuannya.



Gambar 2.4 Pergerakan momentum sudut

Dari gambar diatas kita juga bisa mencari hubungan antara momentum sudut dan torsi.

$$\delta L = 2 \cdot L \cdot \sin \left(\frac{\theta}{2} \right)$$

$$\lim_{\theta \rightarrow 0} \left(\frac{\partial L}{\partial \theta} \right) = 2 \cdot \lim_{\theta \rightarrow 0} \left(\frac{L \cdot \sin \left(\frac{\theta}{2} \right)}{\partial \theta} \right)$$

$$\partial L = 2 \cdot L \cdot \frac{\theta}{2} = L \cdot \theta$$

$$\frac{\partial L}{\partial t} = \frac{L \cdot \theta}{\partial t}$$

$$\lim_{t \rightarrow 0} \left(\frac{\partial L}{\partial t} \right) = \lim_{t \rightarrow 0} \left(\frac{L \cdot \theta}{\partial t} \right)$$

$$\frac{dL}{dt} = L \cdot \frac{d\theta}{dt} = L \cdot \omega_p = \tau$$

Dari penurunan rumus yang dikutip dari buku *Kinematics and Dynamics of Machines* diatas didapatkan bahwa torsi yang dihasilkan untuk menstabilkan sepeda motor adalah perkalian antara momentum sudut dengan $\frac{d\theta}{dt}$ atau kecepatan presepsi/ayunan giroskop (ω_p).

3. METODOLOGI PENELITIAN

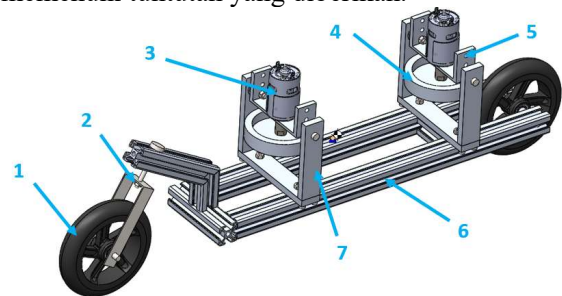
3.1 Perancangan

Perancangan dimulai dengan membuat daftar tuntutan yang harus dipenuhi oleh model yang akan dibuat. Daftar tuntutan ini dibuat berdasarkan referensi dari literatur dan saran dari pembimbing penelitian ini. Berikut ini adalah daftar tuntutan dari model sepeda motor *self-balancing* yang akan dibuat.

No	Daftar Tuntutan	Pengembangan keputusan
1	Konstruksi kokoh	Setiap komponen harus mampu menahan beban yang diberikan.
2	Komponen mudah dibuat	Komponen mudah dibuat dengan mesin yang tersedia di polman dan tidak membutuhkan sub-kontraktor untuk membuat benda.
3	Proses perakitan mudah	Komponen mudah dirakit untuk mempermudah proses pengujian dan analisis.
4	Dimensi tidak terlalu besar	Panjang total tidak lebih dari 600 mm dan berat kurang dari 6 kg.
5	Biaya pembuatan murah	Biaya pembelian material dan komponen standar yang digunakan seminimal mungkin.
6	Estetika baik	Pemilihan komponen dipilih yang tidak mudah kotor atau berkarat.

Tabel 3.1 Daftar tuntutan

Dari daftar tuntutan yang sudah dibuat selanjutnya dibuat konsep rancangan yang dapat memenuhi tuntutan yang diberikan.



Gambar 3.1 Konstruksi model sepeda motor *self-balancing*

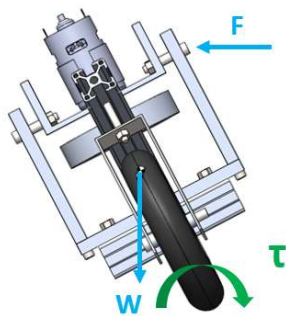
No	Nama Bagian	Jumlah	Material	Keterangan
1	Ban	2 Buah	Standar	
2	Setang	1 Set	St 37	
3	Motor listrik	2 Buah	Standar	24V 80W
4	Flywheel giroskop	2 Buah	Aluminium	o 100 mm
5	Gimbal giroskop	2 Buah	Aluminium	
6	Rangka	1 Set	Aluminium	Profil 30x30
7	Dudukan giroskop	2 Set	Aluminium	

Tabel 3.2 Daftar komponen

3.2 Prinsip Kerja

Bagian utama pada penelitian ini adalah model sepeda motor dan dua buah giroskop. Fungsi utama dari giroskop adalah mempertahankan keadaan model sepeda motor dalam keadaan berdiri dengan adanya prinsip kekekalan momentum sudut, momentum sudut pada model ini dihasilkan dari *flywheel* giroskop yang berputar.

Ketika model sepeda motor diberikan gaya dari samping atau model sepeda motor mengalami kemiringan maka akan timbul torsi karena adanya jarak antara gaya dan permukaan tanah, ketika torsi timbul maka giroskop akan mengayun dan mengkompensasi torsi yang terjadi sehingga model sepeda motor tetap stabil berdiri.



Gambar 3.2 Prinsip kerja

3.3 Pembuatan dan Perakitan

Proses pengadaan komponen dilakukan setelah rancangan selesai dibuat, komponen dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu komponen standar dan komponen non-standar.

Untuk komponen standar dilakukan pengadaan melalui UPT Logistik Polman Bandung dengan persetujuan pembimbing dan kemudian dilakukan *quality control* untuk memeriksa apakah komponen yang diberikan sesuai dengan pesanan.

Sedangkan untuk komponen non-standar dilakukan pengadaan raw material melalui UPT Logistik Polman Bandung dengan persetujuan pembimbing dan kemudian dilakukan proses

permesinan dengan mesin - mesin yang tersedia di Polman Bandung.



Gambar 3.3 Proses pembuatan

Proses perakitan dilakukan setelah semua komponen tersedia perakitan meliputi perakitan komponen mekanik dan komponen elektrik. Perakitan dimulai dari pemasangan rangka, rangka harus dipastikan kokoh karena merupakan penopang keseluruhan beban sepeda motor lalu dilanjutkan dengan pemasangan ban depan dan belakang kedua ban harus sebisa mungkin dalam kondisi lurus. Setelah itu giroskop dirakit dan dipasangkan pada rangka, pemasangan giroskop pada rangka harus kuat. Terakhir, dilakukan pemasangan komponen elektrik seperti *power supply* dan kabel - kabel.

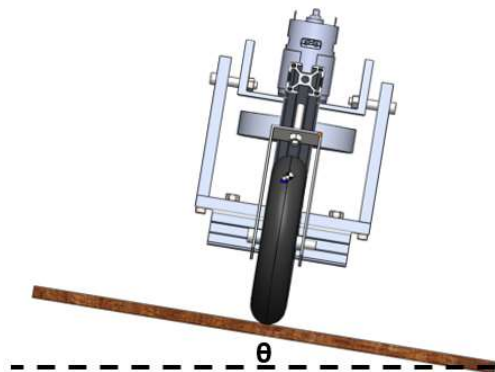
3.4 Persiapan Tabung Reaktor

Pengujian dilakukan setelah semua komponen terpasang, pengujian dilakukan dengan variabel arah putaran dan kecepatan putar *flywheel* yang berbeda - beda. Berikut ini adalah kombinasi arah putaran dan variasi kecepatan putar dari giroskop.

No	Arah putaran giroskop		No	RPM
	Depan	Belakang		
1	CW	CW	1	1000
2	CW	CCW	2	1500
3	CCW	CW	3	2000
4	CCW	CCW	4	2500
5			5	3000

Tabel 3.3 Variasi arah putar dan kecepatan putar

Pengujian dilakukan dengan cara memiringkan bidang landasan sepeda motor dengan berbagai variasi sudut kemiringan. Setelah itu dilakukan analisis untuk melihat bagaimana pengaruh variabel arah putaran dan kecepatan putar terhadap kemampuan sepeda motor mentolerir kemiringan landasan.



Gambar 3.4 Mengatur kemiringan landasan
4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN
4.1 Hasil Pengujian

4.1.1 Pengaruh Kecepatan Putar Giroskop

Menurut dasar teori yang ada, kecepatan putar giroskop berpengaruh terhadap besarnya momentum sudut yang dihasilkan oleh giroskop. Untuk mencari besarnya momentum sudut yang dihasilkan pertama – tama dibutuhkan besarnya momen inersia massa dari *flywheel* yang digunakan.

$$I = \frac{1}{2} \cdot M \cdot (R^2 + r^2)$$

Dimana M adalah massa, R adalah jari – jari luar, dan r adalah jari jari dalam. Massa didapatkan dengan menggunakan perkalian antara massa jenis dan volume, massa jenis alumunium adalah $2,7 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ atau $2,7 \cdot 10^{-3} \text{ gr/mm}^3$ sehingga momen inersia massa *flywheel* dapat dihitung seperti pada perhitungan dibawah.

$$\begin{aligned} I_{\text{total}} &= I_1 + I_2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1 \cdot (R^2 + r^2) + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2 \cdot (R^2 + r^2) \\ &= \frac{1}{2} \cdot 2,7 \cdot 10^{-3} \cdot (\pi \cdot (50^2 - 5^2) \cdot 7) \cdot (50^2 + 5^2) + \\ &\quad \frac{1}{2} \cdot 2,7 \cdot 10^{-3} \cdot (\pi \cdot (50^2 - 40^2) \cdot 13) \cdot (50^2 + 40^2) \\ &= 388979,73 \text{ gr.mm}^2 = \underline{3,89 \cdot 10^{-4} \text{ kg.m}^2} \end{aligned}$$

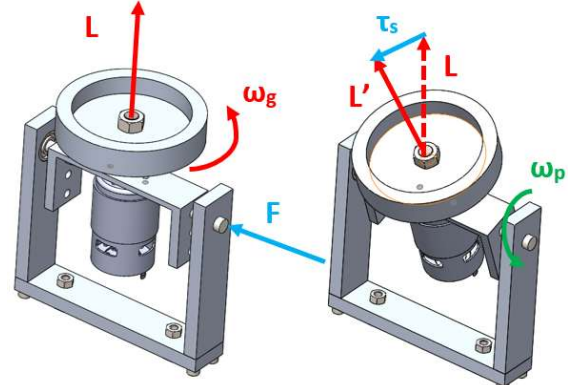
Dari hasil diatas dapat dihitung besarnya momentum sudut yang dihasilkan, momentum sudut yang dihasilkan *flywheel* bisa dilihat pada tabel dibawah.

Momen inersia massa (I)	RPM	Momentum sudut (L)
0.000389	1000	0.040735985
	1500	0.061103977
	2000	0.081471969
	2500	0.101839962
	3000	0.122207954

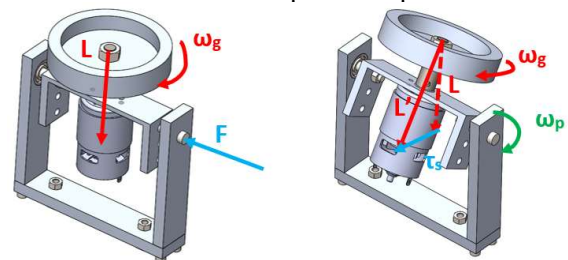
Tabel 4.1 Momentum sudut yang dihasilkan

Dari percobaan yang dilakukan ternyata model sepeda motor tetap terjatuh pada kecepatan putar berapapun. Namun dengan rpm yang lebih besar kecepatan sepeda motor saat jatuh menjadi relatif lebih lama.

4.1.2 Pengaruh Arah Putar Giroskop

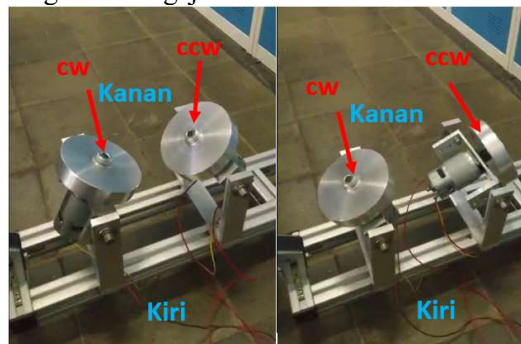


Gambar 4.1 Giroskop saat berputar CCW



Gambar 4.2 Giroskop saat berputar CW

Pada percobaan ini dilakukan juga pengujian dengan beragam kombinasi arah putaran seperti yang bisa dilihat pada tabel 3.3. Dari hasil pengujian yang dilakukan arah putaran giroskop tidak berpengaruh terhadap kestabilan model sepeda motor. Perbedaan arah putaran giroskop hanya berpengaruh terhadap arah ayunan dari giroskop. Hal ini sesuai dengan teori dasar yang mengatakan bahwa momentum sudut akan bergerak mengejar torsi.



Gambar 4.3 (a) Sepeda motor didorong ke arah kanan (b) sepeda motor didorong ke arah kiri

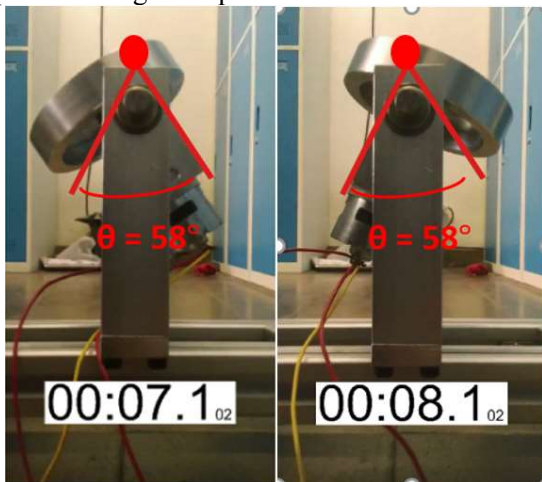
Pada gambar 4.3 diatas giroskop depan diputar CW dan giroskop belakang diputar CCW. Pada saat sepeda motor dimiringkan ke kanan fenomena yang terjadi seperti pada gambar 4.3 (a) giroskop depan mengayun ke belakang sedangkan giroskop belakang mengayun kedepan. Sedangkan pada gambar 4.3 (b) dapat dilihat fenomena saat sepeda motor dimiringkan ke kiri giroskop depan mengayun kedepan dan giroskop belakang mengayun ke belakang.

Dari pengujian yang dilakukan ternyata model sepeda motor tidak dapat menyeimbangkan diri dengan kombinasi arah putaran apapun dan kecepatan jatuhnya tetap sama dengan kombinasi arah putaran apapun.

4.2 Analisis Hasil Pengujian

Dari pengujian yang dilakukan ternyata model sepeda motor tidak dapat menyeimbangkan diri pada kombinasi kecepatan putar dan arah putaran apapun, meskipun waktu jatuhnya menjadi lebih lambat dibandingkan saat giroskop tidak dipasang.

Maka dilakukan analisis pada fenomena yang terjadi, dengan menggunakan teknologi perekaman video untuk mengukur kecepatan presesi dari giroskop.



Gambar 4.3 Kecepatan presesi giroskop

Dari pengujian yang dilakukan kecepatan presesi giroskop besarnya hanya 58°/detik atau 1.01 rad/detik. Ini berarti torsi maksimal yang dihasilkan untuk menyeimbangkan model sepeda motor sebesar.

$$\begin{aligned} \tau_p &= I_p \cdot \omega_g \cdot \omega_p \\ &= 3,89 \cdot 10^{-4} \text{ kg.m}^2 \cdot 314 \text{ rad/s} \cdot 1,1 \text{ rad/s} \\ &= 0,123 \text{ Nm} \times 2 \text{ buah} \\ &= \underline{0,246 \text{ Nm}} \end{aligned}$$

Hasil ini kemudian dibandingkan dengan torsi yang muncul akibat kemiringan dari model sepeda motor. Untuk mencari torsi akibat kemiringan model sepeda motor pertama butuh mencari titik pusat massa dari model sepeda motor secara keseluruhan.

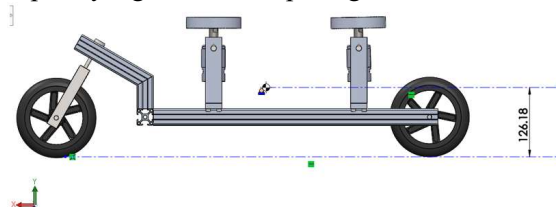
Untuk mencari titik pusat massa hal pertama yang dilakukan adalah menghitung atau mengukur massa setiap komponen. Adapun massa setiap komponen dapat dilihat pada tabel berikut ini.

No	Nama Komponen	Massa (gram)	Jumlah	Subtotal
1	Ban	347	2	694
2	Setang motor	186	1	186
3	Rangka	1454	1	1454
4	Dudukan gyroscope	372	2	744
5	Motor listrik	489	2	978
6	Gimbal gyroscope	107	2	214
7	Flywheel gyroscope	247	2	494
Total				4764

Tabel 4.2 Massa komponen

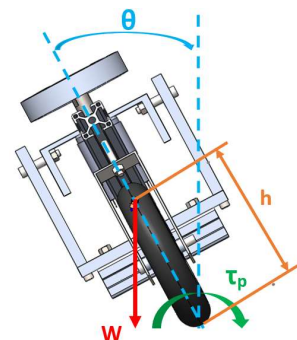
Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa massa total seluruh komponen adalah 4764 gram atau 4,76 kg. Jika percepatan gravitasi bumi adalah 9,81 m/s² maka gaya berat benda adalah 46,73 N.

Dari hasil analisis menggunakan *software* dapat diketahui bahwa titik pusat massa berada pada jarak 126,18 mm atau 0,126 m dari tanah seperti yang bisa dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 4.4 Titik pusat massa

Setelah mengetahui lokasi titik pusat massa dari keseluruhan benda kemudian bisa dicari torsi yang diakibatkan oleh kemiringan model sepeda motor.



Gambar 4.5 Torsi akibat kemiringan

Berat (N)	Jarak COG (m)	Sudut kemiringan	Torsi yang muncul (Nm)
46.73	0.126	1	0.10275942
		2	0.205487539
		3	0.308153064
		4	0.410724722
		5	0.51317127
		6	0.615461501
		7	0.717564257
		8	0.819448435
		9	0.921083001
		10	1.022436997
		15	1.523921361
		20	2.013807763
		25	2.488367873
		30	2.94399
		35	3.377206586
40	3.78472059		
45	4.163430585		

Tabel 4.3 Torsi akibat kemiringan sepeda motor

Dari tabel diatas kita dapat membandingkan torsi yang muncul akibat kemiringan dengan torsi yang dihasilkan giroskop untuk menyeimbangkan sepeda motor. Dari hasil perhitungan sebelumnya didapatkan torsi maksimal yang bisa dihasilkan oleh dua buah giroskop adalah 0,246 Nm dan jika dibandingkan dengan torsi yang muncul akibat kemiringan torsi giroskop hanya bisa mengkompensasi kemiringan sebesar 2-3° yang berarti sangat kecil. Inilah yang menjadi penyebab model sepeda motor tidak dapat stabil berdiri.

4.3 Analisis Untuk Perbaikan

Dari analisis yang sudah dilakukan sebelumnya didapatkan hasil bahwa penyebab sepeda motor tidak dapat stabil berdiri adalah karena torsi yang dihasilkan oleh giroskop sangat kecil dan tidak mampu mengkompensasi torsi akibat kemiringan sepeda motor.

Untuk memperbaiki ini maka yang harus dilakukan adalah memperbesar torsi yang dihasilkan giroskop dan memperkecil torsi yang terjadi pada model sepeda motor. Untuk melakukan ini dapat dilihat kembali rumusan yang ada.

$$\tau_p = I \cdot \omega_s \cdot \omega_p$$

$$\tau_s = W \cdot h \cdot \sin(\theta)$$

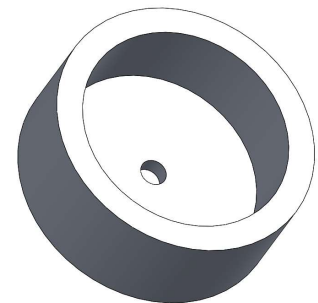
Dari rumusan diatas dapat diambil kesimpulan untuk memperbaiki model ini ada lima variabel yang dapat diubah yaitu :

1. Memperbesar momen inersia massa *flywheel*

Untuk memperbesar momen inersia massa *flywheel* kita dapat dilihat kembali rumusan dasarnya yaitu $I = \frac{1}{2} \cdot M \cdot (R^2 + r^2)$

Sehingga untuk memperbesar momen inersia massa *flywheel* dapat dilakukan dengan berbagai cara yaitu :

- Memperbesar massa *flywheel* atau dengan kata lain mengganti material dari *flywheel* dengan material yang memiliki massa jenis lebih besar seperti timah ataupun baja.
- Memperbesar diameter luar dari *flywheel* yang digunakan. Dengan memperbesar diameter luar *flywheel* maka R^2 akan semakin besar dan massa *flywheel* pun akan meningkat.
- Mempertebal *flywheel* yang digunakan. Dengan mempertebal *flywheel* akan membuat massa dari *flywheel* menjadi lebih besar.



Gambar 4.6 Mempertebal *flywheel*

- Memperkecil diameter dalam *flywheel*. Dengan memperkecil diameter dalam *flywheel* akan membuat r^2 akan mengecil namun volume nya akan meningkat. Sehingga pada akhirnya akan memperbesar inersia massa dari *flywheel*.

2. Memperbesar kecepatan putar giroskop

Hal ini tidak dapat dilakukan karena ketika dilakukan pengujian saat

kecepatan putar di atas 3000rpm terjadi getaran yang tinggi sehingga tidak memungkinkan untuk memperbesar kecepatan putar lebih dari 3000rpm.

3. Memperbesar kecepatan presesi giroskop

Hal ini tidak dapat dilakukan karena *rolling resistance* dari giroskop ini masih cukup besar karena kemungkinan ketidaksesumbuan kedudukan giroskop cukup besar. Hal yang bisa dilakukan untuk memperbesar kecepatan presesi giroskop adalah dengan menambahkan motor listrik untuk menggerakkan ayunan giroskop secara manual namun itu tidak menjadi pembahasan dalam penelitian ini.

4. Merendahkan center of gravity model sepeda motor

Dengan merendahkan titik pusat massa model sepeda motor maka nilai h pun akan berkurang dan menyebabkan torsi yang muncul akibat kemiringan semakin mengecil.

5. Mengurangi massa model sepeda motor
Mengurangi massa model sepeda motor dapat dilakukan dengan cara mengurangi komponen atau mengganti material komponen. Dengan berkurangnya massa komponen maka gaya berat pun akan berkurang dan torsi yang muncul akibat kemiringan semakin mengecil.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dalam penelitian ini penggunaan giroskop pada model sepeda motor tidak dapat mencegah model sepeda motor untuk jatuh. Hal ini dikarenakan torsi yang dihasilkan oleh giroskop tidak cukup besar untuk menstabilkan model sepeda motor dan menurut hasil perhitungan hanya dapat mentolerir kemiringan 2-3° saja, namun dari hasil pengujian yang dilakukan dengan dipasangnya giroskop pada sepeda motor membuat waktu sepeda motor untuk jatuh menjadi lebih lambat.

2. Kecepatan putar berpengaruh terhadap kestabilan model sepeda motor hal ini bisa dilihat dari fenomena yang terjadi saat rpm lebih tinggi maka kecepatan jatuh model sepeda motor semakin melambat.

3. Arah putaran dari giroskop tidak berpengaruh terhadap kestabilan model sepeda motor, namun arah putaran dari giroskop berpengaruh terhadap arah ayunan giroskop.

5.2 Saran

Dari penelitian yang sudah dilakukan didapatkan beberapa saran untuk penelitian lanjutan :

1. Gunakan *flywheel* yang memiliki inersia massa lebih besar agar menghasilkan torsi yang lebih besar. Untuk mendapatkan inersia massa lebih besar bisa dilakukan dengan berbagai cara yaitu :
 - a. Mengganti material *flywheel*.
 - b. Memperbesar diameter *flywheel*.
 - c. Mempertebal *flywheel* yang digunakan.
 - d. Memperkecil diameter dalam *flywheel*
2. Gunakan motor listrik dengan daya yang lebih besar agar bisa memutar *flywheel* yang memiliki inersia massa lebih besar.
3. Lakukan *balancing* pada *flywheel* agar rpm motor dapat di set lebih tinggi dan tidak menimbulkan getaran berlebih.
4. Buat konstruksi agar giroskop dapat lebih mudah mengayun atau memiliki *rolling resistance* yang kecil sehingga kecepatan presesi dapat lebih besar dan torsi yang dihasilkan lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

1. Martin, George H.. 1982. *Kinematics and Dynamics of Machines*. New York : McGraw-Hill, Inc.
2. Meriam, J.L.. 2006. *Engineering Mechanics : Statics 7th Edition*. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc.
3. Lam, Pom Yuan. 2013. *Design and Development of A Self-Balancing Bicycle Using Control Moment Gyro*. Singapura : National University of Singapore.
4. Kakar, Hemashree. 2018. *Design Calculations of A Two Wheeler Self Balanced Vechile*. Jaipur : International Journal of Engineering Research & Technology.
5. Beal, Robert M.. 2003. *Derivation of The Equations of Gyroscopic Motion*. [online]. Tersedia : <http://www.gyroscopes.org/math2.asp> [14 April 2019]
6. Meter, Ethan T. Van. 2013. *Gyroscopic Stabilization of A Recumbent Bicycle*. Oklahoma : University of Oklahoma.