

PENGARUH PERBEDAAN PANJANG POROS SUATU BENDA TERHADAP KECEPATAN SUDUT PUTAR

Sri Jumini¹, Lilis Muhliso²

^{1,2}Prodi Pendidikan Fisika, FITK – UNSIQ Wonosobo Jawa Tengah

Email : umyfadhil@yahoo.com

ABSTRAK

Telah dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh panjang poros (r) suatu benda terhadap besarnya kecepatan sudut (ω). Penelitian dilakukan dengan merangkai alat berupa tongkat yang diikat dengan tali dalam posisi tongkat horizontal. Dengan mengubah-ubah panjang poros, dan memutarkannya 10 kali, serta mengukur waktu yang dibutuhkan dengan stopwatch. Frekuensi yang didapatkan digunakan untuk menganalisis kecepatan sudut. Setelah itu menghitung momen inersia dengan variasi panjang poros, kemudian menghitung momentum sudut dan yang terakhir menganalisis hubungan antara panjang poros dengan kecepatan sudut dengan teknik analisis regresi linear. Berdasarkan percobaan, didapatkan variasi panjang poros berpengaruh terhadap kecepatan sudut. Semakin besar panjang poros suatu benda maka kecepatan sudut semakin kecil dan didapat nilai seberapa besar panjang poros mempengaruhi kecepatan sudut yaitu $y = a + bx \rightarrow y = 0,21 - 0,82x$ dan diperoleh $R^2 = 0,8 = 80\%$, dari grafik didapatkan gradient bernilai negatif yang menunjukkan bahwa panjang poros berbanding terbalik dengan kecepatan sudut.

Kata –Kata Kunci: panjang poros, frekuensi, momen inersia, kecepatan sudut.

A. Pendahuluan

Dinamika rotasi adalah materi fisika yang banyak sekali penerapannya dalam kehidupan sehari-hari. Contohnya pada saat membuka pintu rumah. Apabila dilihat pintu rumah dimana untuk membukanya terdapat pemutar dengan silinder batang, sehingga apabila batang silinder tersebut diputar, maka pintu akan terbuka. Pintu ini terbuka tidak lain karena adanya momen yang timbul akibat gaya yang diberikan yang disebut dengan torsi atau momen gaya (τ).

Papan nama atau suatu lampu gantung bisa dihitung seberapa besar gaya tegangan tali yang dibutuhkan agar papan nama atau lampu tersebut dapat terpasang dengan baik, dan aman. Seorang penari balet dan peloncat indah dapat menari ataupun meloncat dengan indah tanpa cedera, dengan memanfaatkan konsep kekekalan momentum sudut

Contoh diatas menunjukkan bahwa betapa sangat dibutuhkan pemahaman yang baik tentang dinamika rotasi. Untuk itu dilakukan

penelitian yang membuktikan hubungan antara momen inersia melalui panjang poros dengan kecepatan sudut. suatu benda yang bergerak melingkar. Penelitian ini bertujuan untuk membuktikan teori yang sudah ada, sehingga lebih yakin, dan lebih mudah mentransfer ke peserta didik.

Konsep dasar dinamika rotasi merupakan konsep yang abstrak, sehingga untuk memahaminya peserta didik merasa kesulitan. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, perlu diberikan rangsangan yang bisa meningkatkan daya imajinasi anak untuk menangkap sesuatu hal yang bersifat abstrak. Rangsangan tersebut bisa dilakukan dengan berbagai cara, salah satu diantaranya yaitu dengan mengajak peserta didik untuk melakukan praktik langsung tentang konsep yang ingin disampaikan. Praktikum yang dilaksanakan tidak harus menggunakan alat-alat canggih yang harganya mahal, tetapi bisa dari peralatan yang sederhana. Oleh karena itu, dalam penelitian ini peneliti mencoba membuat alat peraga sederhana untuk membantu pemahaman siswa tentang konsep dasar dinamika rotasi dengan

melakukan percobaan untuk mengetahui pengaruh perbedaan panjang poros suatu benda terhadap kecepatan sudut.

B. Kajian Pustaka

1. Momen Gaya (τ)

Momen gaya atau torsi adalah keefektifan sebuah gaya yang bekerja pada suatu benda untuk memutar benda tersebut terhadap suatu titik poros tertentu.¹ Torsi (momen gaya) sama dengan gaya pada gerak translasi. Torsi menunjukkan kemampuan sebuah gaya untuk membuat benda melakukan gerak rotasi.

Torsi dilambangkan dengan τ (huruf kecil dari abjad Yunani tau). Hasil kali antara gaya dan lengan gaya dikenal dengan julukan torsi atau momen gaya. Secara matematis :

$$\tau = F \times l$$

karena $l = r \sin \theta$, torsi juga bisa dirumuskan :

$$\tau = F r \sin \theta$$

Keterangan :

τ = Torsi (Nm)

F = gaya (N)

r = lengan momen (m)

θ = sudut antara gaya dan lengan gaya

2. Momen Inersia

Setiap benda memiliki kuantitas yang mewakili keadaan benda tersebut. Massa suatu benda mewakili kelembaman benda ketika benda bergerak translasi². Pada saat benda bergerak rotasi massa tidak lagi mewakili kelembaman benda, karena benda yang bergerak rotasi terikat dengan suatu poros tertentu yang mana keadaan ini tidak dapat diabaikan. Keadaan ini mengharuskan adanya suatu kuantitas baru yang mewakili kelembaman benda yang bergerak rotasi. Besaran yang mewakili kelembaman benda yang bergerak rotasi dinamakan momen inersia (momen kelembaman) dan dilambangkan dengan I .

Pernyataan untuk momen inersia muncul dari analogi hukum Newton kedua untuk gerak

rotasi³. Momen inersia adalah perkalian massa dengan kuadrat jarak benda ke poros. Persamaan ini dapat diperluas untuk sistem benda yang berotasi maupun untuk benda dengan bentuk tertentu.

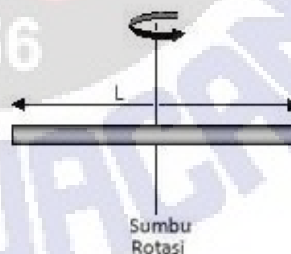
Momen inersia untuk sistem dengan beberapa benda yang berputar bersama dapat ditinjau sebagai penjumlahan dari tiap-tiap massa tersebut⁴. Adapun untuk benda-benda dengan bentuk tertentu perhitungan momen inersianya menjadi lebih kompleks dan lebih mengarah persoalan matematis. Secara sederhana kita dapat menulis pada persamaan momen inersia berbagai bentuk benda tegar sebagai integral kuadrat jari-jari terhadap massa.

$$I = \int r^2 dm$$

Momen Inersia Benda yang Bentuknya Beraturan

Selain bergantung pada sumbu rotasi, Momen Inersia (I) setiap partikel juga bergantung pada massa (m) partikel itu dan kuadrat jarak (r^2) partikel dari sumbu rotasi⁵. Total massa semua partikel yang menyusun benda = massa benda itu. Persoalannya, jarak setiap partikel yang menyusun benda tegar berbeda-beda jika diukur dari sumbu rotasi. Ada partikel yang berada di bagian tepi benda, ada partikel yang berada dekat sumbu rotasi, ada partikel yang sembunyi di pojok bawah, ada yang terjepit di tengah.

Silinder Batang pejal yang panjangnya L (sumbu rotasi terletak pada pusat)



$$I = \frac{1}{12} ML^2$$

Jika momen inersia benda terhadap pusat massa I_{pm} diketahui, maka momen inersia benda terhadap sembarang sumbu yang paralel dengan sumbu pusat massa dapat dihitung dengan

menggunakan teori sumbu paralel yang menyatakan :

$$I = I_{cm} + Md^2$$

Dengan d adalah jarak dari sumbu pusat massa ke sumbu paralel, dan M adalah massa benda.

3. Momentum Sudut (L)

Setiap benda yang bergerak memiliki momentum. Benda yang bergerak translasi mempunyai momentum linear yang besarnya merupakan perkalian antara massa benda dengan kecepatan linearnya ($p = mv$). Demikian halnya pada gerak rotasi, kita dapat menuliskan pernyataan untuk momentum sebagai perkalian momen inersia I dengan kecepatan sudutnya ω yang disebut momentum sudut. Secara matematis :

$$L = I\omega$$

C. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan metode eksperimen dengan teknik analisis data menggunakan teknik analisis regresi Linear⁶ dengan rumus $y = a + bx$ sehingga didapat persamaan $L = a + bf$ diperoleh berapa % panjang poros mempengaruhi kecepatan sudut putar.

1. Tahap Eksperimen

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah : balok kayu, seutas tali elastis, tongkat kayu, stopwatch, dan penggaris.



Gambar 1. Peraga sederhana Dinamika Rotasi

2. Prosedur Eksperimen

Adapun langkah-langkah yang akan dilakukan dalam eksperimen pada penelitian ini adalah sebagai berikut⁷ :

- Menyiapkan semua peralatan seperti yang ditunjukkan dalam gambar 1.
- Memasang tali elastis pada kedua tongkat penahan sehingga tali menjadi dua bagian dan masing-masing ujungnya ditarik oleh tongkat penahan tersebut.
- Memasang tongkat kayu panjang 60 cm yang sudah diketahui massanya di tengah-tengah tali elastis dengan poros $\frac{1}{2}$ panjang tongkat.
- Memutar tongkat tersebut sepuluh kali putaran.
- Menghitung waktu yang dibutuhkan agar tongkat kembali seperti semula menggunakan stopwatch.
- Mengulangi langkah 3-5 dengan poros $\frac{1}{3}$ panjang poros, $\frac{1}{4}$ panjang poros, $\frac{1}{5}$ panjang poros dan $\frac{1}{6}$ panjang poros.

D. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Setelah dilakukan eksperimen, didapatkan data untuk mengetahui pengaruh perbedaan panjang poros terhadap kecepatan sudut sebagai berikut :

1. Deskripsi Data

Tabel 1. Data Pengamatan Momentum Sudut

Panjang tongkat kayu (l) = 0,6 m, massa (m) = 0,2 kg, banyak putaran (n) = 10 kali

| No. | l | t | f | ω | I | L |
|-----|------|-----|------|----------|-------|-----|
| 1 | 0,3 | 3,0 | 3,33 | 20,9 | 0,006 | 0,1 |
| 2 | 0,2 | 4,0 | 2,50 | 15,7 | 0,008 | 0,1 |
| 3 | 0,15 | 4,3 | 2,33 | 14,6 | 0,011 | 0,1 |
| 4 | 0,12 | 4,6 | 2,17 | 13,6 | 0,013 | 0,1 |
| 5 | 0,1 | 4,9 | 2,04 | 12,8 | 0,014 | 0,1 |

Dari tabel 1 terlihat bahwa dengan panjang poros semakin diperpendek didapatkan nilai kecepatan sudut yang semakin besar. Maka semakin panjang poros batang dari titik tumpu kecepatan berputar batang akan semakin lambat. Dan sebaliknya makin pendek panjang poros dari titik tumpu kecepatan putar batang akan semakin besar, ditunjukkan dengan kecepatan sudut yang semakin besar.

2. Hasil Analisis data

Berdasarkan data percobaan pada tabel 1 dilakukan perhitungan menggunakan analisis regresi untuk mendapatkan hubungan antara panjang poros dan kecepatan sudut sebagai berikut.

Tabel 2. Hubungan antara Panjang Poros dan Kecepatan Sudut

| No | x_i | y_i | x_i^2 | y_i^2 | $x_i y_i$ | $(y_i - \bar{y})^2$ | $\hat{y}_i = a + bx_i$ | $(\hat{y}_i - \bar{y})^2$ |
|-----------|-------|-------|---------|---------|-----------|---------------------|------------------------|---------------------------|
| 1. | 0,30 | 0,12 | 0,09 | 0,02 | 0,04 | 0,001 | 0,114 | 0,001 |
| 2. | 0,20 | 0,12 | 0,04 | 0,02 | 0,03 | 0,001 | 0,146 | 0,0002 |
| 3. | 0,15 | 0,15 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,000 | 0,162 | 0,0001 |
| 4. | 0,12 | 0,17 | 0,01 | 0,03 | 0,02 | 0,000 | 0,172 | 0,0004 |
| 5. | 0,10 | 0,18 | 0,01 | 0,03 | 0,02 | 0,000 | 0,178 | 0,0007 |
| Σ | 0,87 | 0,75 | 0,18 | 0,12 | 0,12 | 0,002 | 0,772 | 0,0022 |
| \bar{x} | 0,17 | 0,15 | 0,04 | 0,02 | 0,03 | 0,000 | 0,154 | 0,0004 |

Keterangan :

x = panjang poros

y = momentum sudut

$$b = \frac{\sum x_i y_i - \frac{(\sum x_i)(\sum y_i)}{n}}{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}} = -0,32$$

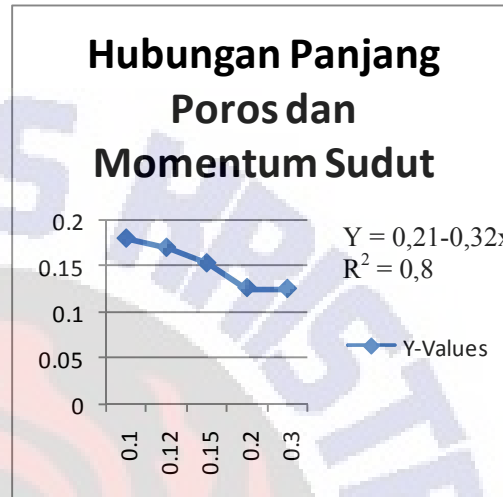
$$a = \frac{\sum y_i}{n} - b \frac{\sum x_i}{n} = 0,21$$

$$y = a + bx \rightarrow y = 0,21 - 0,32x$$

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2} = \frac{0,0004}{0,0005} = 0,8 = 80\%$$

Dari analisis regresi didapat nilai seberapa besar panjang poros mempengaruhi besarnya momentum sudut yaitu $y = a + bx \rightarrow y = 0,21 - 0,32x$ dan diperoleh $R^2 = 80\%$, artinya 80% dari seluruh variasi total y diterangkan oleh regresi atau data x , dan masih ada sekitar 20% lagi dari variasi y yang

tidak dapat diterangkan oleh model yang kita gunakan. Sisa 20% ini mungkin disebabkan oleh faktor lain yang gagal diperhitungkan dalam model diantaranya gesekan udara dan keelastisan karet.



Gambar 2. grafik Hubungan antara ℓ dan L

Dari hasil analisis data regresi di atas, pada grafik terbentuk suatu garis dengan gradien negatif. Artinya bahwa hubungan antara panjang poros dan kecepatan sudut berbanding terbalik. Jika panjang poros besar, maka kecepatan sudut kecil. Artinya semakin panjang poros batang dari titik tumpu kecepatan berputar batang akan semakin lambat. Dan sebaliknya makin pendek panjang poros dari titik tumpu kecepatan putar batang akan semakin besar, ditunjukkan dengan kecepatan sudut yang semakin besar. Perubahan panjang poros ini dilakukan dengan mengubah-ubah letak tali pengikat tongkat dari 1/3 panjang poros, 1/4 panjang poros, 1/5 panjang poros dan 1/6 panjang poros. Di dapatkan hasil analisis hubungan panjang poros dan momentum sudut berbanding terbalik. Hal ini sesuai dengan persamaan: $L = I\omega$. Persamaan ini dapat dituliskan dalam format hukum Newton II untuk benda berotasi, $\sum \tau = I\alpha$ yang dapat dituliskan dalam momentum sudut $\sum \tau = \frac{\Delta L}{\Delta t}$.

Persamaan $\sum \tau = \frac{\Delta L}{\Delta t}$ merupakan kasus khusus persamaan $L = I\omega$, jika momen inersia

tetap. Jika torsi total $\sum \tau l$ pada benda sama dengan nol, maka $\frac{\Delta L}{\Delta t}$ juga sama dengan nol.

Yaitu L tidak berubah. Hal ini merupakan hukum kekekalan momentum sudut untuk benda yang berotasi yang berbunyi “momentum sudut total pada benda yang berotasi tetap konstan, jika torsi total yang bekerja padanya sama dengan nol.”

Jika ada torsi total nol yang bekerja pada sebuah benda, dan benda tersebut berotasi pada sumbu yang tetap atau sumbu yang melalui pusat massanya sedemikian sehingga arahnya tidak berubah dapat dituliskan:

$$I_1 \omega_1 = I_2 \omega_2 \text{ atau } \frac{I_1}{I_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$$

Dari persamaan $\frac{I_1}{I_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1}$ terlihat hubungan yang berbanding terbalik antara momen inersia dengan kecepatan sudut putar suatu benda.

Hukum kekekalan momentum sudut ini banyak menjadi dasar dalam berbagai kejadian dalam kehidupan sehari-hari. Misal seorang penari balet sedang melakukan putaran diujung jari kakinya. Ia berotasi dengan laju yang relative lambat dengan lengan yang terentang, tetapi ketika ia menekuk tangan ke tubuhnya, ia akan berputar lebih cepat. Hal ini sesuai dengan definisi momen inersia $I = \sum mr^2$. Jika tangan ditekuk, maka akan lebih dekat dengan pusat poros, r untuk lengan diperkecil, sehingga momen inersia mengecil. Karena momentum sudut $L = I\omega$ bersifat kekal, jika I berkurang, maka kecepatan sudut ω bertambah. Jika penari balet tersebut memperkecil momen inersianya dua kali, maka kecepatan putarnya akan bertambah dua kali lipat.

Demikian juga dengan peloncat indah. Dorongan pada saat meninggalkan papan memberikan momentum sudut awal disekitar pusat massanya. Ketika ia menggulung tubuhnya, ia akan berotasi lebih cepat. Dengan meluruskan badannya kembali, ia telah menaikkan momen inersianya, yang berarti

mengurangi kecepatan sudut putarnya, baru kemudian masuk ke air. Hal ini berlaku untuk momentum sudut kekal, yang disebabkan torsi total yang nol, akan tetapi total gayanya tidak nol.

E. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa variasi panjang poros berpengaruh terhadap kecepatan sudut. Semakin besar panjang poros suatu benda maka momentum sudut semakin kecil dan didapat nilai seberapa besar panjang poros mempengaruhi kecepatan sudut yaitu $y = a + bx \rightarrow y = 0,21 - 0,32x$ dan diperoleh $R^2 = 0,8 = 80 \%$.

Sebaiknya dalam setiap pelaksanaan pembelajaran fisika yang berhubungan dengan konsep dasar fisika, dijelaskan dengan menggunakan alat peraga agar peserta didik lebih cepat memahami konsep dasar yang ingin disampaikan.

F. Daftar Pustaka

- [1] Umar, Efrizon. 2008. *Buku Pintar Fisika*. Jakarta : Media Pusindo.
- [2] Giancoli. 2001. *FISIKA Edisi kelima Jilid 2*. Jakarta : Erlangga.
- [3] Bueche, Frederick J. Dan Eugene Hecht. 2006. *FISIKA UNIVERSITAS Edisi Kesepuluh*. Jakarta : Erlangga.
- [4] Tipler, P.A. 1998. *Fisika untuk Sains dan Teknik jilid 1 (terjemahan)*. Jakarta : Erlangga.
- [5] Resnick, Halliday. 2001. *Fisika Jilid 1 edisi ketiga*. Jakarta : Erlangga.
- [6] Budiono. 2008. *Statistika untuk Penelitian*. Surakarta
- [7] Hidayanti, Nur. 2011. *Penggunaan Alat Peraga Sederhana pada Materi Momen Gaya*.

Nama Penanya : Widodo / UAD
Pertanyaan : 1. Apakah Kemantapan atau kesahihan
2. Kalau yang saya usulkan pakai maks 3
Jawaban : Masalahnya di jumlah

Nama Penanya : Jayus STKIP Surya
Pertanyaan : 1. Elastisitas karet?
2. Bagaimana Posisi tegaknya?
Jawaban : masukan diterima

