



Experimental Analysis of the Principle of Equilibrium of Rigid Objects Using the Beam-Pivot System as a Physics Learning Medium

Anggia Dwi Maulani¹, Monica Amelia², Erlida Amnie^{3*}

^{1,2,3} Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Jambi, Indonesia

Jl. Jambi-Muara Bulian Km. 15, Mendalo Indah, Kec. Jambi Luar Kota.

e-mail: erlidaamnie@unja.ac.id phone: +62852692020331

DOI: <https://doi.org/10.52434/jpif.v5i2.43203>

Accepted: December 20, 2025 Approved: December 27, 2025 Published: December 28, 2025

ABSTRACT

This study aims to experimentally analyze the principle of rigid body equilibrium using a beam and pivot system as a learning aid. The concept of rigid body equilibrium explains how forces and moments work to keep an object stable. In this study, an experimental method with a quantitative approach was used to verify the law of force-moment equilibrium through variations in mass and the distance of the load from the fulcrum. The tools used included a wooden beam as a rigid body, a pivot as a fulcrum, and metal loads with varying masses. The results show that equilibrium is achieved when the left and right moments have almost the same value, with an average moment difference of <0.002 Nm. which shows high consistency with the theory of $\sum \tau = 0$. In addition, the position of the center of mass which is within the range of ± 0.3 cm from the fulcrum confirms the achievement of stable equilibrium. These findings indicate that the beam-pivot teaching aid is effective for use as a learning medium because it is able to visualize the relationship between mass, distance, and torque in a concrete manner, thereby helping to reduce misconceptions regarding the direction of rotation and moment of force. The implication of this research is that the design of a simple tool such as the beam-pivot system can be used as a reference in the development of educational experimental devices that are inexpensive, easy to implement, and relevant to strengthen the understanding of basic concepts in physics learning.

Keywords: Teaching aids, experiments, rigid body balance, moment of force, beam system, pivot.

Analisis Eksperimental Prinsip Keseimbangan Benda Tegar Menggunakan Alat Peraga Sistem Balok dan Pivot sebagai Media Pembelajaran Fisika

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara eksperimental prinsip keseimbangan benda tegar menggunakan sistem balok dan pivot sebagai alat peraga pembelajaran. Konsep keseimbangan benda tegar menjelaskan bagaimana gaya dan momen bekerja agar suatu benda tetap stabil. Dalam penelitian ini digunakan metode eksperimen dengan pendekatan kuantitatif

untuk memverifikasi hukum keseimbangan momen gaya melalui variasi massa dan jarak beban terhadap titik tumpu. Alat yang digunakan meliputi balok kayu sebagai benda tegar, pivot sebagai titik tumpu, serta beban logam dengan massa bervariasi. Hasil menunjukkan bahwa keseimbangan tercapai ketika momen kiri dan kanan memiliki nilai yang hampir sama, dengan selisih momen rata-rata $< 0,002 \text{ Nm}$, yang menunjukkan konsistensi tinggi terhadap teori $\sum \tau = 0$. Selain itu, posisi pusat massa yang berada dalam rentang $\pm 0,3 \text{ cm}$ dari titik tumpu menegaskan tercapainya keseimbangan stabil. Temuan ini menunjukkan bahwa alat peraga balok–pivot efektif digunakan sebagai media pembelajaran karena mampu memvisualisasikan hubungan antara massa, jarak, dan torsi secara konkret, sehingga membantu mengurangi miskonsepsi mengenai arah rotasi dan momen gaya. Implikasi penelitian ini adalah bahwa desain alat sederhana seperti sistem balok–pivot dapat dijadikan acuan dalam pengembangan perangkat eksperimen edukatif yang murah, mudah diterapkan, serta relevan untuk memperkuat pemahaman konsep dasar dalam pembelajaran fisika.

Kata kunci: Alat peraga, eksperimen, keseimbangan benda tegar, momen gaya, sistem balok, pivot

PENDAHULUAN

Fenomena keseimbangan sering muncul dalam kehidupan sehari-hari, seperti cara kerja timbangan dua lengan, keseimbangan jembatan, dan posisi stabil sebuah papan yang didukung di tengah. Semua hal tersebut melibatkan interaksi antara gaya dan momen yang bekerja pada benda-benda tertentu. Proses mempelajari bagaimana gaya dan momen bekerja dalam bidang fisika secara seimbang merupakan bagian penting dari mekanika klasik, terutama dalam ilmu statika (Pramono, 2020). Berbagai penelitian juga menegaskan bahwa eksperimen sederhana dapat sangat membantu memvalidasi konsep dasar ini. Misalnya, metode pendulum bergoyang menyediakan prosedur eksperimental sederhana dan kuantitatif untuk mengekstraksi momen inersia dan memverifikasi perilaku rotasi benda tegar (Bissell *et al.*, 2023). Eksperimen tersebut menunjukkan bahwa prosedur sederhana dapat memvalidasi parameter rotasional yang relevan pada sistem balok–pivot.

Sejumlah penelitian terbaru menunjukkan bahwa kajian eksperimen pada sistem keseimbangan benda tegar masih sangat penting untuk membantu mahasiswa benar-benar memahami konsep momen, baik dari sisi teori maupun praktik. Penelitian sebelumnya juga menegaskan bahwa alat peraga memiliki peran penting dalam memvisualisasikan hubungan antara gaya, jarak, dan torsi (Illiyin *et al.*, 2024; Ladachart, 2022). Temuan ini memperlihatkan bahwa alat peraga sederhana dapat merepresentasikan perilaku benda tegar dalam keadaan seimbang secara nyata.

Sejalan dengan itu, percobaan sederhana berbasis distribusi massa menunjukkan bahwa pengaturan massa dan jarak beban berperan langsung dalam menentukan besar momen gaya dan arah rotasi pada sistem keseimbangan. Pendekatan ini efektif mengurangi miskonsepsi keseimbangan torsi karena perubahan kecil pada jarak lengan tuas dapat menghasilkan perbedaan torsi yang signifikan, sebagaimana ditunjukkan oleh Ahlami *et al.* (2022), Syahrial *et al.* (2022), serta diperkuat oleh temuan David *et al.* (2023) dan Muhammad *et al.* (2025). Selain itu, ketelitian

pengukuran keseimbangan momen juga dipengaruhi oleh proses kalibrasi dan ketepatan penempatan massa, karena lengan tuas yang terkalibrasi dengan baik memungkinkan pengukuran torsi dan posisi pusat massa yang lebih presisi meskipun menggunakan sistem sederhana (Wang & Tung, 2022; Yu et al., 2022). Secara keseluruhan, temuan-temuan tersebut menegaskan bahwa hubungan antara massa, jarak, dan momen gaya paling efektif dipahami melalui eksperimen langsung dengan sistem sederhana seperti balok–pivot, yang terbukti memperkuat pemahaman konsep dibandingkan pembelajaran teoretis semata (Bachtiar & Ermawati, 2025; Purnama et al., 2022).

Salah satu model yang sering digunakan untuk menjelaskan keseimbangan gaya dan momen adalah sistem balok yang bertumpu pada pivot. Dalam sistem ini, balok berperan sebagai benda tegar yang dapat berotasi terhadap titik tumpu, sedangkan beban pada jarak tertentu menghasilkan momen gaya. Secara teoretis, keseimbangan statis tercapai apabila resultan gaya dan resultan momen terhadap titik acuan bernilai nol (Halliday & Resnick, 2014; Goldstein, 2002). Dalam keadaan ini, sistem tidak mengalami perubahan konfigurasi baik secara translasi maupun rotasi, sehingga secara matematis dapat dinyatakan:

$$\sum M_{pivot} = m_1 g_1 x_1 - m_2 g_2 x_2 = 0 \dots \dots \dots (1)$$

Dimana M berupa momen terhadap titik tumpu m_1 dan m_2 adalah massa beban, sedangkan x_1 dan x_2 adalah jarak masing-masing beban dari titik tumpu. Konsep dasar ini dikenal sebagai hukum keseimbangan momen yang menjadi bagian dari prinsip keseimbangan benda tegar (Pratama, 2024). Dalam eksperimen modern, beberapa desain mekanik seperti mekanisme lengan variabel juga memperlihatkan cara teknik untuk membuat tumpuan dan lengan yang dapat diubah-ubah sehingga eksperimen torsi dan momen dapat diperkaya dengan variasi rasio lengan berguna untuk rancangan alat peraga balok–pivot yang fleksibel (Moomau & Li, 2025).

Sejumlah studi menekankan pentingnya mempertimbangkan perilaku nyata benda tegar dalam pengujian laboratorium agar hasil eksperimen selaras dengan model teoretis. Analisis eksperimental pada benda kaku yang mengalami *rocking* menunjukkan bahwa pengukuran torsi dan momen perlu memperhitungkan efek dinamis dan kehilangan energi agar valid pada kondisi nyata (Mao et al., 2024). Selain itu, Bogoni et al. (2024) menegaskan bahwa penggunaan protokol pengujian bertahap (*step-wise*) diperlukan untuk mencegah tercampurnya hubungan keseimbangan statis dengan efek visko-inelastik, yang menjadi perhatian penting dalam perancangan praktikum balok–pivot.

Dalam konteks pendidikan fisika, topik keseimbangan benda tegar sering dianggap sulit karena melibatkan keterkaitan antara gaya, jarak, dan arah rotasi. Pendekatan eksperimental terbukti membantu mahasiswa dan siswa mengamati secara langsung cara kerja momen gaya pada sistem nyata (Dalimunthe, 2025). Beberapa penelitian melaporkan bahwa penggunaan alat sederhana seperti sistem balok–pivot atau papan keseimbangan mampu meningkatkan pemahaman konsep keseimbangan benda tegar serta kemampuan berpikir kritis peserta didik (Herawati & Nurulia, 2019; Lubis & Dalimunthe, 2025).

Penelitian lain menunjukkan bahwa penggunaan konteks nyata dan model fisis sederhana dapat memperkuat keterkaitan antara teori dan praktik. Analisis objek sehari-hari, seperti perahu tradisional, menegaskan hubungan antara momen gaya, titik berat, dan keseimbangan benda tegar

(Putri et al., 2022). Selain itu, Keck (2025) menunjukkan bahwa model batang kaku dengan tumpuan tertentu mampu merepresentasikan prinsip statika dan torsi secara akurat, sekaligus memberikan acuan dalam perancangan serta kalibrasi alat ukur torsi sederhana untuk keperluan pembelajaran dan eksperimen dasar. Temuan tersebut menjadi acuan dalam merancang alat ukur torsi sederhana seperti balok-pivot terkalibrasi.

Efektivitas pembelajaran berbasis eksperimen juga didukung oleh penelitian yang menunjukkan bahwa kegiatan praktikum *hands-on* dapat meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap kondisi keseimbangan $\sum F = 0$ dan $\sum M = 0$ (Ardakani & Wiseman, 2024). Secara teoretis, prinsip keseimbangan statis pada balok memungkinkan berbagai aplikasi edukatif, seperti penentuan massa benda tak dikenal melalui distribusi massa dan jarak lengan tuas berdasarkan hukum $\sum \tau = 0$ (Hafisah et al., 2025; Hamid & Saputri, 2025).

Meskipun inovasi alat peraga berbasis teknologi, seperti penggunaan mikrokontroler, juga dilaporkan mampu meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep keseimbangan benda tegar (Purnama et al., 2022), berbagai studi menunjukkan bahwa kesulitan dalam menentukan arah rotasi dan besar momen masih sering dialami siswa (Fariyani et al., 2022). Hal ini mengindikasikan bahwa eksperimen langsung dengan sistem sederhana tetap relevan dan dibutuhkan sebagai sarana penguatan konsep. Pengembangan alat peraga keseimbangan balok juga terbukti mampu menjembatani pemahaman antara teori dan praktik melalui pengamatan langsung hubungan gaya, jarak, dan torsi (Febriyanti & Febriyani, 2025).

Meskipun berbagai penelitian telah membahas keseimbangan benda tegar serta efektivitas pembelajaran berbasis eksperimen, sebagian besar studi masih berfokus pada peningkatan pemahaman konsep atau pengembangan media pembelajaran tanpa menganalisis secara kuantitatif hasil eksperimen keseimbangan momen pada sistem balok–pivot sederhana. Secara khusus, masih terbatas penelitian yang mengkaji hubungan antara massa, jarak beban terhadap titik tumpu, dan keseimbangan momen sebagai validasi langsung prinsip $\sum \tau = 0$ dalam konteks laboratorium pendidikan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara eksperimental prinsip keseimbangan benda tegar menggunakan alat peraga sistem balok dan pivot melalui variasi massa dan jarak beban terhadap titik tumpu, serta menilai kelayakannya sebagai media pembelajaran fisika.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif deskriptif, karena data yang diperoleh berupa hasil pengukuran massa, jarak, dan momen gaya yang dianalisis secara numerik untuk memverifikasi hukum keseimbangan benda tegar. Metode eksperimen dipilih karena dapat membuktikan secara empiris keterkaitan antara massa beban, jarak terhadap titik tumpu, dan momen gaya pada sistem balok–pivot. Eksperimen fisika pada dasarnya memungkinkan hubungan antara teori dan kenyataan teramati; sebagaimana dijelaskan oleh Hake (2022), kegiatan eksperimen memberi ruang bagi siswa untuk menguji model teoretis melalui data yang diperoleh langsung dari pengamatan. Pandangan ini menegaskan bahwa praktik laboratorium berfungsi sebagai sarana validasi konsep inti fisika, termasuk konsep torsi dan keseimbangan. Sejalan dengan itu, Shevchenko dan Dmitriev (2023) menyatakan bahwa eksperimen langsung membantu siswa memahami hubungan sebab–akibat dalam fenomena fisika secara lebih konkret dan terukur. Penekanan pada pengalaman empiris tersebut menjadikan metode eksperimen

relevan untuk penelitian ini, karena dapat meminimalkan kesalahan konseptual yang kerap muncul ketika pembelajaran hanya berfokus pada penjelasan teoretis tanpa dukungan data nyata.

Sebelum eksperimen dilakukan, validasi alat dilakukan untuk memastikan keandalan pengukuran. Mistar dikalibrasi dengan skala standar laboratorium, sedangkan beban gantung ditimbang ulang untuk memastikan kesesuaian massa nominal. Posisi pivot dipastikan berada tepat di tengah balok agar distribusi lengan momen simetris.

Setiap konfigurasi beban dan jarak diulang sebanyak tiga kali (*repeated trials*). Nilai momen yang dianalisis merupakan nilai rata-rata dari hasil pengulangan tersebut untuk meningkatkan keandalan data dan mengurangi kesalahan acak.

Eksperimen ini didasarkan pada hukum keseimbangan momen gaya, yang menyatakan bahwa suatu benda tegar akan berada dalam keadaan setimbang apabila jumlah momen gaya yang bekerja terhadap titik tumpu bernilai nol. Hubungan ini ditulis dalam bentuk persamaan:

$$\sum M_{pivot} = m_1 g_1 x_1 - m_2 g_2 x_2 = 0 \dots \dots \dots (1)$$

M_{pivot} = Resultan momen terhadap titik tumpu (N·m)
 m_1, m_2 = Massa beban di sisi kiri dan kanan balok (kg)
 x_1, x_2 = Jarak beban terhadap titik pivot (m)
 g = percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

Persamaan ini menjadi dasar analisis keseimbangan sistem balok–pivot dalam penelitian ini.

Penelitian dilakukan di Laboratorium Fisika Dasar, pada Selasa, 04 November 2025. Lingkungan laboratorium dijaga agar bebas dari getaran yang dapat mengganggu kestabilan sistem keseimbangan.

Eksperimen menggunakan alat sederhana yang dapat merepresentasikan sistem benda tegar seimbang. Daftar alat dan bahan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat dan Bahan Eksperimen Keseimbangan Benda Tegar

Alat/Bahan	Fungsi
Balok homogen panjang 30 cm	Sebagai benda tegar
Pivot	Sebagai titik tumpu rotasi
Beban gantung 10-200 g	Sebagai sumber gaya berat
Mistar	Mengukur jarak beban dari pivot
Tali dan pengait beban	Menopang beban di kedua sisi
Kamera	Dokumentasi kondisi seimbang

Penelitian ini melibatkan tiga jenis variabel, seperti ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Jenis Variabel Penelitian

Jenis Variabel	Keterangan
Variabel bebas (independen)	Massa beban (m_1, m_2) dan jarak beban terhadap pivot (x_1, x_2).
Variabel terikat (dependen)	Kondisi keseimbangan (selisih momen gaya antara sisi kiri dan kanan).
Variabel kontrol	Panjang balok, dan percepatan gravitasi.

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan untuk menentukan kesetimbangan sistem balok–pivot berdasarkan hubungan antara massa, jarak terhadap titik tumpu, dan momen gaya yang dihasilkan. Tahap awal analisis dimulai dengan menghitung jarak relatif antara posisi beban terhadap titik pivot. Jarak tersebut dinyatakan dalam bentuk:

$$d_1 = |x_{pivot} - x_1| \text{ dan } d_2 = |x_{pivot} - x_2| \dots\dots\dots(2)$$

x_{pivot} = Posisi titik tumpu

x_1, x_2 = Posisi beban pertama dan kedua di sepanjang balok

d_1, d_2 = Jarak beban dari titik tumpu, faktor utama penentu momen gaya dari tiap beban

Langkah berikutnya adalah menghitung momen gaya (τ) untuk setiap beban dengan persamaan:

$$\tau = m \times g \times d \dots\dots\dots(3)$$

m = Massa beban (kg)

g = percepatan gravitasi (9,8 m/s²)

d = Jarak beban dari titik tumpu, faktor utama penentu momen gaya dari tiap beban

τ = Menunjukkan kecenderungan suatu beban untuk memutar balok terhadap pivot

Selanjutnya dihitung momen total τ_{net} , yaitu selisih antara momen di sisi kanan dan kiri, dengan menggunakan rumus:

$$\tau_{net} = \tau_2 - \tau_1 \dots\dots\dots(4)$$

Jika $\tau_{net} = 0$, maka sistem berada dalam keadaan seimbang sempurna. Namun, bila τ_{net} bernilai positif atau negatif, berarti terdapat kelebihan momen pada salah satu sisi yang menyebabkan balok berotasi. Hasil ini digunakan untuk menilai seberapa besar perbedaan momen akibat kesalahan pengukuran atau pengaruh faktor eksternal seperti gesekan pada pivot.

Selain menghitung keseimbangan momen, analisis juga dilakukan terhadap posisi pusat massa sistem (*center of mass*). Posisi pusat massa dihitung menggunakan rumus:

$$x_{com} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2}{m_1 + m_2} \dots\dots\dots(5)$$

Rumus tersebut menunjukkan posisi titik pusat massa gabungan dari kedua beban terhadap sistem balok. Selanjutnya dihitung posisi pusat massa relatif terhadap titik pivot dengan persamaan:

$$x_{com_rel} = x_{com} - x_{pivot} \dots\dots\dots(6)$$

Jika nilai x_{com_rel} mendekati nol, maka pusat massa sistem berada tepat di atas titik pivot, dan sistem dapat dikatakan berada dalam keseimbangan stabil. Sebaliknya, bila nilainya positif atau negatif yang cukup besar, berarti pusat massa bergeser dari pivot, menandakan ketidakseimbangan sistem.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Eksperimen

Tabel 3. Data Hasil Eksperimen Kesetimbangan Benda Tegar

Trial	$m_1(\text{gr})$	$x_1(\text{cm})$	$m_2(\text{gr})$	$x_2(\text{cm})$	x_{pivot}	$d_1(\text{cm})$	$d_2(\text{cm})$
1	50	2	50	28,6	15	13,5	13,2
2	70	4	60	28,5	15	11,3	13
3	70	5	80	23,8	15	10,1	8,4
4	90	7	70	26	15	8,2	10,3
5	80	5,6	60	28	15	9,5	12,7

Adapun hasil eksperimen berupa perhitungan nilai kesetimbangan benda tegar tersajikan pada tabel 4.

Tabel 4. Data Hasil Eksperimen Kesetimbangan Benda Tegar

Trial	τ_1	τ_2	τ_{net}	x_{com}	x_{comrel}	Keterangan
1	$0,06615 \pm 0,0002$	$0,0647 \pm 0,0002$	$0,0015 \pm 0,0002$	15,3	0,3	Seimbang
2	$0,0776 \pm 0,0003$	$0,0765 \pm 0,0003$	$0,0011 \pm 0,0005$	15,2	0,2	Seimbang
3	$0,0694 \pm 0,0003$	$0,0659 \pm 0,0004$	$0,0034 \pm 0,0005$	15	0	Seimbang
4	$0,0724 \pm 0,0004$	$0,0707 \pm 0,0003$	$0,0017 \pm 0,0006$	15,3	0,3	Seimbang
5	$0,0746 \pm 0,0004$	$0,0748 \pm 0,0003$	$-0,0002 \pm 0,0005$	15,2	0,2	Seimbang

Pembahasan

Berdasarkan data hasil eksperimen yang tercantum pada Tabel 3 dan Tabel 4, sistem balok–pivot menunjukkan pola yang konsisten dengan prinsip dasar keseimbangan benda tegar, yaitu bahwa momen gaya di kedua sisi titik tumpu harus bernilai sama dan berlawanan arah agar rotasi tidak terjadi. Penelitian dilakukan di Laboratorium Fisika Dasar, pada Selasa, 04 November 2025. Lingkungan laboratorium dijaga agar bebas dari getaran yang dapat mengganggu kestabilan sistem keseimbangan. Pada seluruh rangkaian percobaan, nilai momen kiri dan momen kanan yang diperoleh selalu berada dalam selisih yang sangat kecil, sehingga secara fisik sistem dapat dinyatakan berada dalam keadaan seimbang. Kondisi ini membuktikan bahwa hubungan antara massa beban, jarak terhadap pivot, dan momen gaya benar-benar terwujud secara empiris pada alat peraga sederhana yang digunakan.

Jika dibandingkan dengan penelitian Ladachart et al. (2022), yang melaporkan bahwa deviasi torsi pada aktivitas pembelajaran konsep momen berada pada kisaran 2–5%, selisih momen pada penelitian ini relatif lebih kecil, yaitu berada di bawah 3% dari nilai momen rata-rata. Hal ini menunjukkan bahwa sistem balok–pivot sederhana yang digunakan memiliki kestabilan yang cukup baik untuk merepresentasikan kondisi keseimbangan statis, meskipun masih terdapat keterbatasan mekanis seperti gesekan pada pivot.



Gambar 1. Dokumentasi percobaan pada beban 50g

Pada percobaan pertama, balok langsung berada dalam keadaan seimbang setelah beban 50 g dipasang pada kedua sisi dengan jarak masing-masing 15 cm dan 13,5 cm dari pivot. Selisih momen gaya antara kedua sisi bernilai $0,0015 \text{ N}\cdot\text{m}$, yang merupakan selisih sangat kecil sehingga tidak menimbulkan rotasi. Keseimbangan ini terjadi karena besar gaya berat yang bekerja pada kedua beban tersebut setara, dan jarak beban terhadap pivot hanya berbeda sedikit. Perbedaan kecil ini masih berada dalam rentang toleransi keseimbangan statis, terutama bila mempertimbangkan gesekan pivot dan ketidaksempurnaan struktur balok. Penelitian terbaru yang dilakukan Gosar *et al.* (2024) menegaskan bahwa pada sistem eksperimental seperti balok pivot, toleransi selisih torsi yang sangat kecil tetap menghasilkan keadaan setimbang secara praktis karena pengaruh komponen mekanis yang tidak ideal.



Gambar 2. Dokumentasi percobaan pada beban 70g dan 60g

Ketika variasi massa dan jarak dimodifikasi pada percobaan kedua, hasil yang diperoleh tetap memenuhi hukum keseimbangan momen. Beban 70 g ditempatkan pada jarak 11,3 cm dari pivot, sedangkan beban 60 g ditempatkan pada jarak 13 cm. Meskipun besar massa pada kedua sisi tidak sama, jarak yang lebih pendek untuk beban yang lebih berat dan jarak yang lebih panjang untuk beban yang lebih ringan menghasilkan momen yang hampir setara. Selisih torsi hanya sebesar $0,0011 \text{ N}\cdot\text{m}$, yang kembali menunjukkan bahwa mekanisme keseimbangan rotasi bekerja dengan baik pada sistem ini. Syam (2021) menjelaskan bahwa dalam eksperimen nyata, keseimbangan tidak menuntut nilai momen yang identik secara matematis, melainkan cukup mendekati nol dengan deviasi minimal agar efek rotasi tidak tampak.



Gambar 3. Dokumentasi percobaan pada beban 70g dan 80g

Percobaan ketiga kembali memperlihatkan kecenderungan yang konsisten. Pada konfigurasi beban 70 g dan 80 g, sistem tetap mencapai keseimbangan meskipun selisih massa cukup besar. Karena jarak beban terhadap pivot telah diatur sehingga torsi kedua sisi hampir sama, yaitu $0,0694 \text{ N}\cdot\text{m}$ dan $0,0659 \text{ N}\cdot\text{m}$. Selisih sebesar $0,0034 \text{ N}\cdot\text{m}$ dalam kondisi eksperimen fisika dasar masih dianggap sangat kecil dan tidak menyebabkan balok mengalami rotasi terlihat. Menurut Betti, A., *et al.* (2023), alat peraga keseimbangan berbasis balok pivot cukup sensitif untuk menunjukkan perubahan momen, tetapi gesekan pada pivot dan getaran mikro dapat mengurangi efek rotasi yang seharusnya tampak dari selisih momen yang kecil.

Percobaan keempat dan kelima juga menunjukkan pola yang sejalan dengan tiga percobaan sebelumnya. Pada percobaan keempat, beban 90 g dan 70 g ditempatkan pada jarak masing-masing 8,2 cm dan 10,3 cm dari pivot. Selisih momen yang diperoleh bernilai $0,0017 \text{ N}\cdot\text{m}$, yang kembali menunjukkan bahwa sistem berada pada titik hampir tanpa torsi bersih. Pada percobaan kelima, keadaan justru lebih ideal karena selisih torsi bernilai $0,0002 \text{ N}\cdot\text{m}$, yang hampir nol secara sempurna. Nilai negatif menunjukkan arah kecenderungan rotasi, namun besarnya sangat kecil sehingga tidak menghasilkan pergerakan nyata. Hal ini memperkuat bahwa kemampuan sistem untuk mempertahankan keseimbangan sangat dipengaruhi oleh pengaturan jarak beban, bukan hanya massa semata.



Gambar 4. Dokumentasi percobaan pada beban 90g, 70g, dan 80g, 60g.

Penelitian juga menghitung posisi pusat massa sistem selain menganalisis momen gaya. Data Tabel 4 menunjukkan bahwa posisi pusat massa dalam setiap percobaan selalu berada di sekitar nilai 15,0 hingga 15,3 cm, yang sangat dekat dengan posisi pivot yaitu 15 cm. Artinya, pusat massa sistem berada tepat di atas titik tumpu atau hanya bergeser dalam rentang 0,3 cm. Posisi pusat massa yang hampir berhimpit dengan pivot menandakan bahwa sistem berada dalam kondisi keseimbangan stabil. Febrianty *et al.* (2023) menyatakan bahwa keseimbangan stabil terjadi ketika garis gaya berat total sistem melewati titik tumpu sehingga torsi bersih bernilai nol. Prinsip ini terverifikasi secara kuantitatif dalam penelitian ini, ditunjukkan oleh hasil perhitungan posisi pusat massa sistem yang berada pada rentang 15,0–15,3 cm, sangat dekat dengan posisi pivot sebesar 15 cm. Kedekatan posisi pusat massa tersebut menjelaskan secara fisik mengapa balok tetap mendatar pada setiap percobaan, meskipun massa beban berbeda, selama jarak beban diatur untuk mempertahankan kesetimbangan momen.

Dokumentasi visual yang diambil selama percobaan turut memperkuat hasil perhitungan. Ketika massa atau jarak belum disesuaikan, balok terlihat sedikit miring ke sisi dengan momen lebih besar. Namun setelah dilakukan penyesuaian, balok kembali mendatar dengan stabil. Perubahan ini menunjukkan bahwa sistem balok pivot sangat responsif terhadap variasi momen, sehingga hubungan antara torsi dan rotasi dapat diamati secara langsung.

Meski hasil eksperimen mendekati teori, terdapat penyimpangan kecil pada nilai momen bersih (τ_{net}). Penyimpangan ini terutama disebabkan oleh kesalahan ketidakpastian pengukuran jarak beban terhadap pivot. Kesalahan pembacaan jarak sebesar $\pm 0,3$ cm pada posisi beban (x_1) dapat menyebabkan deviasi sekitar $\pm 2\%$ pada nilai momen gaya (τ_1), terutama pada konfigurasi dengan beban yang lebih besar. Selain itu, gesekan pada pivot menyebabkan sebagian momen tidak sepenuhnya terkonversi menjadi rotasi, serta ketidakhomogenan balok turut memengaruhi distribusi massa sistem. Meskipun demikian, besarnya deviasi yang diperoleh masih berada dalam batas toleransi eksperimen fisika dasar dan tidak memengaruhi kesimpulan utama penelitian.

Hasil eksperimen secara keseluruhan menunjukkan bahwa prinsip dasar keseimbangan benda tegar dapat dibuktikan secara empiris melalui alat sederhana seperti balok–pivot. Hasil perhitungan momen pada kedua sisi balok yang selalu mendekati sama membuktikan bahwa $\sum \tau = 0$ benar-benar menjadi syarat utama tercapainya keseimbangan rotasi. Posisi pusat massa yang selalu berada tepat di atas pivot menegaskan bahwa kondisi stabil sistem sangat dipengaruhi oleh distribusi massa terhadap titik tumpu. Temuan ini selaras dengan berbagai penelitian terbaru yang menekankan pentingnya eksperimen langsung untuk memperkuat pemahaman konsep momen gaya dan keseimbangan dalam pembelajaran fisika modern.

KESIMPULAN

Eksperimen ini membuktikan bahwa hukum keseimbangan momen ($\sum \tau = 0$) terpenuhi pada sistem balok–pivot, dengan selisih momen rata-rata sebesar $0,0014 \text{ N} \cdot \text{m}$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa variasi massa dan jarak beban menghasilkan keseimbangan rotasi ketika momen kiri dan kanan bernilai hampir sama. Selain itu, posisi pusat massa sistem yang berada pada rentang 15,0–15,3 cm, sangat dekat dengan posisi titik tumpu 15 cm, menegaskan bahwa keseimbangan stabil tercapai ketika garis gaya berat total sistem melewati pivot. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan bahwa hubungan antara gaya, lengan momen, dan keseimbangan rotasi tidak hanya valid secara teoritis, tetapi juga terverifikasi secara empiris.

melalui alat eksperimen sederhana, serta relevan untuk penguatan pemahaman konsep dalam kajian fisika dasar.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, antara lain penggunaan alat ukur manual yang membatasi ketelitian pengukuran jarak, pengaruh gesekan pada pivot yang tidak dapat dihilangkan sepenuhnya, serta jumlah pengulangan percobaan yang masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan menggunakan sistem pivot dengan gesekan lebih kecil atau sensor digital untuk meningkatkan akurasi hasil pengukuran dan memperluas analisis ketidakpastian data.

REFERENSI

- Ardakani, S. M. S., & Wiseman, J. (2024). Work In Progress : A Hands-On Activity on Equilibrium of Rigid Bodies in Statics A Hands-On Activity on Equilibrium of Rigid Bodies in Statics. *American Society for Engineering Education*. <https://peer.asee.org/work-in-progress-a-hands-on-activity-on-equilibrium-of-rigid-bodies-in-statics>
- Bachtiar, A., & Ermawati, I. R. (2025). Development of Electromagnetic-Based Physical Pendulum Practical Tools Using Infrared Sensors. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 16(2), 160-168. <https://doi.org/10.26877/jp2f.v16i2.1742>
- Betti, A., Brusa, E., Delprete, C., & Genta, M. (2023). Investigation on pivot rolling motion effect on the behavior of rocker back tilting pad journal bearings. *Applied Sciences*, 13(7), 4302. <https://doi.org/10.3390/app13095563>
- Bissell, J. J., Ritchey, C. E., & Stevens, F. (2023). Measuring the moment-of-inertia of a swing-pendulum. *Physics Education*, 58(6), 65022. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/acf816>
- Bogoni, F., Wollner, M. P., & Holzapfel, G. A. (2024). Journal of the Mechanics and Physics of Solids On the experimental identification of equilibrium relations and the separation of inelastic effects in soft biological tissues. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 193(August), 105868. <https://doi.org/10.1016/j.jmps.2024.105868>
- Dalimunthe, Y. K. L. dan T. R. (2025). Peningkatan Kemampuan Berfikir Kritis pada Siswa terhadap Konsep Fisika Keseimbangan Benda Tegar Menggunakan Model Discovery Learning. 4(1), 78–88. <https://doi.org/10.24952/gravity.v4i1.16596>
- Dian Purnama, Harpian, Vitoria Venisia Pereira, D. R., & Suwarma, I. R. (2022). Pengembangan Alat Praktikum Berbasis Arduino Uno Materi Keseimbangan Benda Tegar (Momen Inersia Dan Momentum Sudut). *Jurnal Pendidikan Indonesia*, 3(2), 144–152. <https://doi.org/10.59141/japendi.v3i02.574>
- Fariyani, Q., Prama, Z. W., & Poernomo, J. B. (2022). At-Taqaddum Four-Tier Test Based On Local Wisdom to Analyze Misconceptions in Rotational Dynamics. 2013, 21–36. DOI: <https://doi.org/10.5678/sendja.2025.478>
- Fariyani, Q., Prama, Z. W., & Poernomo, J. B. (2022). At-Taqaddum Four-Tier Test Based On Local Wisdom to Analyze Misconceptions in Rotational Dynamics. 2013, 21–36. <https://doi.org/10.21580/at.v14i2.13394>
- Febrianty, W., Saputra, R. D., Al Amri, H., Rahmat, F. N., Handayani, R. D., & Putra, P. D. A. (2023). Eksplorasi konsep fisika keseimbangan benda tegar pada permainan tradisional engklek sebagai bahan pembelajaran fisika. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(1), 109-120. <https://doi.org/10.37478/optika.v7i1.2761>
- Goldstein, H., Poole, C., & Safko, J. (2002). *Classical mechanics (3rd ed.)*. Addison-Wesley.
- Gosar, A., Dempsey, M., & Alonso, J. J. (2024). On the importance of the experimental setup design in numerical validation of low Reynolds number turbulence models. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 109, 109337. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2024.109800>
- Hafsah, S., Hendri, M., & Rasmi, D. P. (2025). Pengembangan Modul Ajar Terintegrasi STEAM-PjBL untuk Meningkatkan Kemampuan Berkolaborasi pada Materi Keseimbangan Benda

- Tegar. 8, 8649–8656. <https://doi.org/10.54371/jiip.v8i7.8721>
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2014). *Fundamentals of physics (10th ed.)*. Wiley.
- Hamid, A., & Saputri, M. (2025). Identifikasi Miskonsepsi Mahasiswa Fisika Menggunakan Five-Tier Diagnostic Test (FTDT) Pada Materi Keseimbangan Benda Tegar. 8, 31–38. <https://doi.org/10.25134/gravitasi.v13i1.11494>
- Herawati, R., & Nurulia, E. (2019). Pengembangan Panduan Eksperimen Fisika Menggunakan Smartphone dengan Aplikasi Phyphox pada Materi Tumbukan. 10(2), 101–107. <https://doi.org/10.26877/jp2f.v10i2.4019>
- Illiyyin, H. (2024). Pengembangan Alat Peraga “Crandar: Crane Dermaga” untuk Menunjang Pembelajaran Fisika Bab Momen Gaya dan Katrol. Jurnal Cerdik: Jurnal Pendidikan dan Pengajaran, 4(1), 36-45. <https://doi.org/10.21776/ub.jcerdik.2024.004.01.05>
- Keck, L. (2025). *Flexure-Based Mechanism for a Kibble Balance*. <https://doi.org/10.22032/dbt.63554>
- Ladachart, L., Khamlarsai, S., & Phothong, W. (2022). Facilitating educationally disadvantaged students' learning of torque using a design-based activity. *LUMAT: International Journal on Math, Science and Technology Education*, 10(1), 151-181. <https://doi.org/10.31129/LUMAT.10.1.1664>
- Mao, Q., Deng, T., Shen, B., & Wang, Y. (2024). *Research on Collision Restitution Coefficient Based on the Kinetic Energy Distribution Model of the Rocking Rigid Body within the System of Mass Points*. <https://doi.org/10.3390/buildings14072119>
- Moomau, K., & Li, Y. (2025). *Design and Validation of an Improved Rotational Variable Stiffness Mechanism* †. <https://www.mdpi.com/2075-1702/13/1/6>
- Muhammad, R., Hadary, F., & Sanjaya, B. W. (2025). Pemodelan Dan Simulasi Sistem Kendali Rotary Inverted Pendulum Berbasis Mikrokontroler Stm32. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, 13(3S1). <http://dx.doi.org/10.23960/jitet.v13i3S1.7745>
- Pramono, H. (2020). *Dasar Rekayasa Sistem Mekanik*. Yogyakarta: Deepublish.
- Pratama, Y. (2024). Rancang Bangun Alat Peraga Statika Untuk Menganalisis Gaya Geser Dan Momen Lentur. *Universitas Islam Indonesia*. <https://dspace.uui.ac.id/bitstream/handle/123456789/52062/20511189.pdf?isAllowed=y&sequence=1>
- Purnama, D., Pereira, V. V., Rusdiana, D., & Suwarma, I. R. (2022). Pengembangan Alat Praktikum Berbasis Arduino Uno Materi Keseimbangan Benda Tegar (Momen Inersia Dan Momentum Sudut). *Jurnal Pendidikan Indonesia*, 3(2). <https://doi.org/10.59141/japendi.v3i02.574>
- Putri, R. A., Handayani, D., Handono, S., & Prastowo, B. (2022). *Analysis of the Physics Concept of Rigid Body Equilibrium on Banyuwangi Cadik Boat Bimorejo*. 8(3). <https://doi.org/10.29303/jppipa.v8i3.1715>
- Syahrial, A. H., Deliana, W., Cahyani, V. D., & Husaini, A. F. (2022). Pembelajaran Fisika Materi Mekanika Benda Tegar: Review Media, Model, dan Metode. *Mitra Pilar: Jurnal Pendidikan, Inovasi, Dan Terapan Teknologi*, 1(2), 119-140. <https://doi.org/10.58797/pilar.0102.06>
- Syam, W. P. (2021). *Toleransi Dimensi dan Geometri*. Widina Bhakti Persada Bandung.
- Wang, Y. J., & Tung, C. W. (2022). A machine for calibrating six-axis force/torque sensors using a torque sensing structure and a stiffness compensation model. *Sensors and Actuators A: Physical*, 334, 113323. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2021.113323>
- Yu, Z., Qiu, Z., Li, H., Xue, J., Hu, W., & Wang, C. (2022). Design and calibration of torque measurement system of comprehensive performance test instrument of industrial robot reducer. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022(1). [10.1155/2022/8155818](https://doi.org/10.1155/2022/8155818)