
MENGANALISIS SUDUT PENDULUM PADA BIDANG MIRING MENGGUNAKAN SOFTWARE TRACKER VIDEO

Muhammad Rully Syepudin¹, Rahmi Siti Badriah¹ Resi Maryati Warga¹, Titin Kartini¹, Wildan Zikbal¹

*¹Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Tarbiyah dan Keguruan,
UIN Sunan Gunung Djari Bandung, Indonesia
E-mail: rullyarul95@gmail.com*

ABSTRAK

Telah dilakukan percobaan untuk menentukan sudut dan frekuensi pada pendulum (m) yang digantungkan pada sisi baki (M) dalam bidang miring. Pendulum yang digunakan adalah beban dengan massa 5 gram. Variasi sudut bidang miring (β) mulai dari 30° , 45° , dan 53° , sedangkan variasi panjang tali mulai dari 0,095 m, 0,189 m, dan 0,254 m. Analisis data dilakukan dengan menggunakan software tracker video. Hasil percobaan berdasarkan analisis video tracker menunjukkan besar nilai sudut yang dibentuk bandul terhadap bidang miring dan juga diperoleh besar nilai frekuensi sudut pendulum. Panjang tali yang dibuat berbeda dan besar sudut bidang miring yang di ubah-ubah ternyata mempengaruhi dari besar sudut yang dibentuk oleh pendulum tersebut.

Kata kunci: Pendulum, Bidang miring, tracker video

ABSTRACT

Experiments have been conducted to determine the angle and frequency of the pendulum (m) which is hung on the side of the Tray (M) in the slope. The pendulum used is a load with a mass of 5 grams. A variation of the slope angle (β) starts from 30° , 45° , and 53° , while the string length variation starts from 0.095 m, 0.189 m, and 0.254 m. Data analysis is done using video tracker software. The test results based on the video tracker analysis show a large angle value formed against the slope and also obtained a large pendulum angular frequency value. The length of the rope made differs and the large angle of slope in the change turns out to affect the large angle formed by the pendulum

Keywords: Pendulum, slope, video tracker

DOI: <http://dx.doi.org/10.15575/jtlp.v3i2.6553>

Received: 12 Juli 2018 ; Accepted: 28 Agustus 2018 ; Published: 1 September 2018

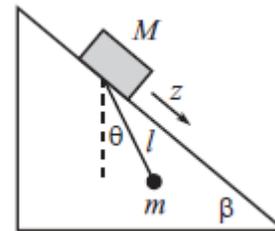
1. PENDAHULUAN

Fisika didasarkan pada pengamatan eksperimental dan pengukuran kuantitatif. Hukum dasar dinyatakan dalam bahasa matematika - alat yang menyediakan jembatan antara teori dan eksperimen. Dalam meningkatkan pemahaman yang membuat ilmu alam lebih menarik dan memudahkan dalam menganalisis sebuah fenomena alam adalah analisis video menggunakan program Tracker (*Open Source Fisika*) (Douglas&Cox, 2009). Dalam menggunakan software ini, alat yang dibutuhkan adalah sebuah kamera untuk persiapan file gerak percobaan video. Dengan bantuan kamera berkecepatan tinggi dan program Tracker gerak tertentu dapat dianalisis secara rinci. Melalui software ini kita dapat mengamati berbagai karakteristik gerakan dan mempelajari dasar-dasar fisika klasik dengan cara yang menyenangkan. Analisis video memberikan kita cara sederhana dan mudah untuk memahami proses gerakan. Salah satunya mengenai gerakan pendulum dan sebuah balok dalam bidang miring. Kegiatan ini dimungkinkan oleh alat ICT yang terintegrasi yang digunakan untuk pengukuran dengan cara merekam video (melalui titik-tracking) (Hockikcko, 2012).

Pendulum atau ayunan fisis merupakan salah satu fenomena dalam pelajaran fisika yang menunjukkan gerakan osilasi. Melalui ayunan fisis dapat dihitung atau diukur sudut yang terbentuk sebagai fungsi panjang tali ayunan dan percepatan gravitasi (Suwarno, 2015). Secara ideal pendulum akan berosilasi dengan amplitudo yang tetap, namun pada kenyataannya ketika pendulum bergerak pada bidang miring yang licin akan menghasilkan sudut yang berbeda. Pengamatan dan pengukuran gerakan yang cepat sukar diamati secara langsung oleh mata kita. Melalui bantuan perekam video dan program aplikasi tracker video dimungkinkan dan dimudahkan untuk melakukan analisis terhadap gerakan yang cepat.

Bidang miring merupakan salah satu pesawat sederhana yang sering dimanfaatkan manusia dalam menjalankan aktivitasnya. Dengan memanfaatkan konsep bidang miring akan mempermudah manusia dalam melakukan usaha

atau kerja. Salah satu pemanfaatan konsep bidang miring digunakan saat menaikkan barang ke mobil angkut atau truk. Konsep ini umumnya dimanfaatkan untuk meringankan beban atau pekerjaan supaya tidak membutuhkan gaya yang begitu besar (Astuti, 2016). Namun keuntungan ini akan berbeda jika di sisi luar benda yang akan diangkut atau diluncurkan terdapat sebuah benda yang menggantung. Seperti pada kasus ketika sebuah benda bermassa M dan sebuah pendulum yang menggantung pada sisi samping benda dengan massa m akan diluncurkan pada sebuah bidang miring dengan kemiringan sudut β . Pendulum tersebut akan mempengaruhi gerakan benda ketika diluncurkan karena terdapat perbedaan posisi dan kecepatan. Sehingga secara matematis persamaan lagrange akan membantu menyelesaikan permasalahan tersebut.



Gambar 1. Pendulum yang digantungkan pada massa M dalam bidang miring

Misalkan z adalah koordinat M sepanjang bidang, dan biarkan θ menjadi sudut pendulum (lihat Gambar 1). Dalam koordinat Cartesian, posisi M dan m adalah:

$$(x, y)_M = (z \cos\beta, -z \sin\beta)$$

$$(x, y)_m = (z \cos\beta + l \sin\theta, -z \sin\beta - l \cos\theta)$$

Dengan membedakan posisi ini, dapat ditemukan bahwa kuadrat kecepatannya adalah:

$$v_M^2 = \dot{z}^2$$

$$v_m^2 = \dot{z}^2 + l^2 \dot{\theta}^2 + 2l\dot{z}\dot{\theta} \cos(\cos\beta \cos\theta - \sin\beta \sin\theta)$$

Melalui persamaan lagrange

$$\frac{1}{2}M\dot{z}^2 + \frac{1}{2}m(\dot{z}^2 + l^2\dot{\theta}^2 + 2l\dot{z}\dot{\theta} \cos(\theta + \beta)) - Mg \sin\beta + mg(z \sin\beta + l \cos\theta)$$

Persamaan gerak yang diperoleh dari variasi z dan θ adalah:

$$(M + m)\ddot{z} + ml((\ddot{\theta} \cos(\theta + \beta))) = (M + m)g \sin\beta$$

$$l\ddot{\theta} + \ddot{z} \cos(\theta + \beta) = -g \sin \theta$$

Osilasi kecil yang terjadi pada titik kesetimbangan (di mana $\ddot{\theta} = \dot{\theta} = 0$). Sebelum menentukan di mana posisi titik kesetimbangan. Persamaan pertama di atas memberikan $\ddot{z} = g \sin \beta$. Persamaan kedua kemudian memberi $g \sin \beta \cos(\theta + \beta) = -g \sin \theta$. Dengan memperluas istilah kosinus, dapat ditemukan $\tan \theta = -\tan \beta$, jadi $\theta = -\beta$. ($\theta = \pi - \beta$ kesetimbangan yang tidak stabil). Posisi kesetimbangan pendulum terjadi pada saat tali tegak lurus terhadap bidang.

Untuk menemukan mode dan frekuensi normal untuk osilasi kecil, diberikan $\theta \equiv -\beta + \delta$, dan rentangkan Pers. (4) ke urutan pertama di δ . Membiarkan $\ddot{\eta} \equiv \ddot{z} - g \sin \beta$ untuk memudahkan, maka didapat:

$$(M + m)\ddot{\eta} + ml\ddot{\delta} = 0$$

$$\ddot{\eta} + l\ddot{\delta} + (g \cos \beta)\delta = 0$$

Dengan menggunakan metode determinan, maka frekuensi mode normal untuk

$$\omega_1 = 0 \text{ dan } \omega_2 = \sqrt{1 + \frac{m}{M}} \sqrt{\frac{g \cos \beta}{l}}$$

Sehinga ditemukan bahwa frekuensi pendulum dalam baki bermassa M bergerak secara horizontal), namun dengan $g \cos \beta$ di posisi g . Melihat Persamaan (6), dan mengingat definisi η , diperoleh bahwa solusi umum untuk θ dan z adalah

$$\theta(t) = -\beta + C \cos(\omega t + \phi), (z) - \frac{Cml}{M + m} \cos(\omega t + \phi) + \frac{g \sin \beta}{2} t^2 + At + B$$

Dengan B nilainya adalah konstan, jadi akan diabaikan (Morin, 2007).

2. METODE PENELITIAN

Peralatan yang digunakan terdiri atas bidang miring, tali, kamera, nampan kecil sebagai massa 1 (M), beban dengan massa 0,005 kg sebagai massa 2 (m), serta software aplikasi Tracker video versi 4.48 seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Setup percobaan pendulum yang digantungkan dengan massa M pada bidang miring

Variasi sudut bidang miring (β) mulai dari 30° , 45° , dan 53° , sedangkan variasi panjang tali mulai dari 0,095 m, 0,189 m, dan 0,254 m. Pendulum digerakkan pada bidang miring direkam dengan menggunakan perekam video. Tracker video dipakai untuk mencari sudut yang dibentuk dari pendulum (θ) ayunan arah horizontal dan dilakukan analisis untuk mendapatkan sudut yang dibentuk (θ) pada sistem. Pengambilan data dilakukan menggunakan tracker video dan dilakukan penandaan posisi pendulum untuk setiap frame. Hasil penandaan posisi disajikan dalam bentuk grafik. Pengolahan data dan penyajian data dalam bentuk grafik dilakukan dengan menggunakan aplikasi Microsoft Excel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari percobaan yang telah dilakukan yakni dengan tujuan untuk mengetahui tumpuan pendulum pada bidang miring dengan mencari nilai sudut yang di bentuk pendulum pada bidang miring (θ) yang dipengaruhi oleh variasi panjang tali dan variasi sudut bidang miring (β). Langkah pertama dilakukan pengambilan data (pengambilan video) dengan memvariasikan panjang tali dan pendulum dan sudut yang dibentuk bidang miring dengan variabel bebas sebagai berikut:

Table 1. Data variabel bebas

No	Percobaan ke-	β ($^\circ$)	l (m)
1	I	30	0.095
2			0.189

No	Percobaan ke-	β (°)	ℓ (m)
3			0.254
4			0.095
5	II	45	0.189
6			0.254
7			0.095
8	III	53	0.189
9			0.254

Dari data awal tersebut dilakukan pengambilan data dengan menggunakan kamera video untuk mencari sudut yang dibentuk oleh pendulum terhadap bidang miring pada sumbu vertikal. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan variasi panjang tali pendulum sebanyak 3 kali, yaitu (0,095 m, 0,189 m, dan 0,254 m) dan variasi sudut yang dibentuk bidang miring yaitu (30°, 45° dan 53°).

Setelah dilakukan pengambilan video, kemudian data dihitung dan dianalisis dengan menggunakan software tracker untuk menentukan sudut yang terbentuk pada pendulum, dan software Microsoft Excel, untuk menghitung data yang telah diperoleh. Dari software tracker, diperoleh data pengamatan sudut yang dibentuk oleh pendulum pada bidang vertikal sebagai berikut:

1. Untuk Panjang Tali 0,095 m

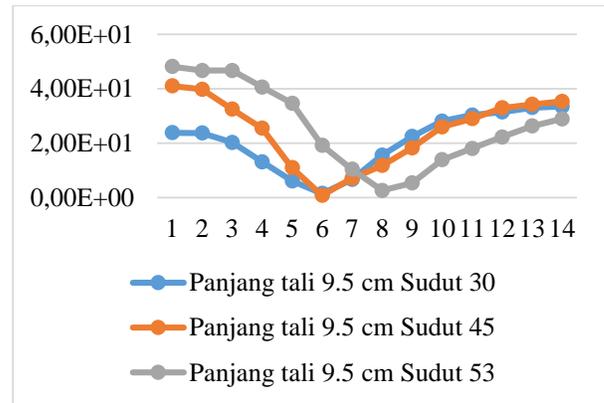
Diperoleh data hasil pengolahan tracker untuk sudut yang dibentuk oleh pendulum sebagai fungsi waktu sebagai berikut:

Table 2. Sudut yang dibentuk oleh pendulum untuk panjang tali 0,095 m

Frame	t (s)	$\ell = 0,095$ cm		
		Sudut 30°	Sudut 45°	Sudut 53°
2	0.00E+00	2.39E+01	4.10E+01	4.82E+01
3	3.21E-02	2.38E+01	3.99E+01	4.67E+01
4	6.54E-02	2.03E+01	3.26E+01	4.67E+01
5	9.87E-02	1.32E+01	2.55E+01	4.06E+01
6	1.32E-01	6.17E+00	1.10E+01	3.47E+01
7	1.65E-01	1.52E+00	8.47E-01	1.93E+01

Frame	t (s)	$\ell = 0,095$ cm		
		Sudut 30°	Sudut 45°	Sudut 53°
8	1.99E-01	6.71E+00	7.16E+00	1.04E+01
9	2.32E-01	1.56E+01	1.18E+01	2.63E+00
10	2.65E-01	2.25E+01	1.83E+01	5.42E+00
11	2.98E-01	2.81E+01	2.61E+01	1.39E+01
12	3.32E-01	3.04E+01	2.90E+01	1.81E+01
13	3.65E-01	3.15E+01	3.30E+01	2.23E+01
14	3.98E-01	3.31E+01	3.43E+01	2.63E+01
15	4.32E-01	3.35E+01	3.54E+01	2.90E+01

Jika ditranslasikan ke dalam grafik, maka grafiknya menjadi sebagai berikut:



Gambar 3. Sudut yang dibentuk oleh pendulum untuk panjang tali 0,095 m

2. Untuk Panjang Tali 0,189 m

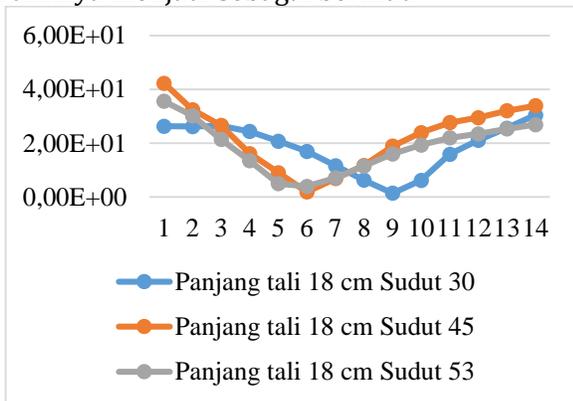
Diperoleh data hasil pengolahan tracker untuk sudut yang dibentuk oleh pendulum sebagai fungsi waktu sebagai berikut:

Table 3. Sudut yang dibentuk oleh pendulum untuk panjang tali 0,189 m

Frame (n)	t (s)	$\ell = 0,189$ cm		
		Sudut 30°	Sudut 45°	Sudut 53°
2	0.00E+00	2.63E+01	4.23E+01	4.27E+01
3	3.21E-02	2.62E+01	3.25E+01	4.02E+01
4	6.54E-02	2.64E+01	2.66E+01	3.56E+01
5	9.87E-02	2.44E+01	1.61E+01	3.02E+01
6	1.32E-01	2.07E+01	8.99E+00	2.14E+01
7	1.65E-01	1.69E+01	1.83E+00	1.34E+01
8	1.99E-01	1.16E+01	6.83E+00	4.92E+00

Frame (n)	t (s)	l = 0,189 cm		
		Sudut 30°	Sudut 45°	Sudut 53°
9	2.32E-01	6.23E+00	1.17E+01	3.94E+00
10	2.65E-01	1.36E+00	1.89E+01	7.08E+00
11	2.98E-01	6.17E+00	2.39E+01	1.15E+01
12	3.32E-01	1.59E+01	2.76E+01	1.60E+01
13	3.65E-01	2.11E+01	2.95E+01	1.93E+01
14	3.98E-01	2.56E+01	3.20E+01	2.20E+01
15	4.32E-01	3.04E+01	3.39E+01	2.35E+01

Jika ditranslasikan ke dalam grafik, maka grafiknya menjadi sebagai berikut:



Gambar 4. Sudut yang dibentuk oleh pendulum untuk panjang tali 0,189 m

3. Untuk Panjang Tali 0,254 m

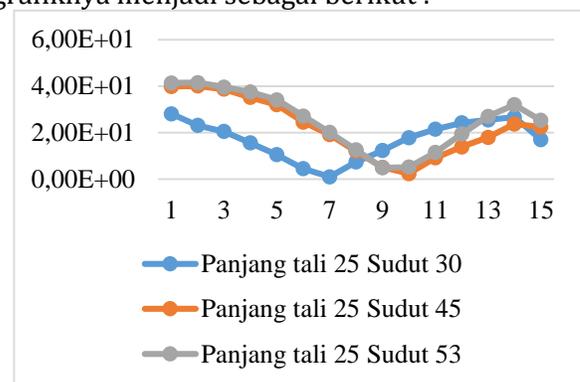
Diperoleh data hasil pengolahan tracker untuk sudut yang dibentuk oleh pendulum sebagai fungsi waktu sebagai berikut:

Table 4. Sudut yang dibentuk oleh pendulum

Frame (n)	t (s)	l = 0,254 cm		
		Sudut 30	Sudut 45	Sudut 53
2	0.00E+00	2.81E+01	3.99E+01	4.13E+01
3	3.21E-02	2.31E+01	4.00E+01	4.15E+01
4	6.54E-02	2.05E+01	3.87E+01	3.96E+01
5	9.87E-02	1.56E+01	3.52E+01	3.75E+01
6	1.32E-01	1.05E+01	3.20E+01	3.41E+01
7	1.65E-01	4.44E+00	2.45E+00	2.71E+00
8	1.99E-01	9.49E-01	1.91E+01	2.01E+01

Frame (n)	t (s)	l = 0,254 cm		
		Sudut 30	Sudut 45	Sudut 53
9	2.32E-01	7.36E+00	1.20E+01	1.26E+01
10	2.65E-01	1.22E+01	5.07E+00	4.88E+00
11	2.98E-01	1.78E+01	2.35E+00	5.16E+00
12	3.32E-01	2.15E+01	9.12E+00	1.15E+01
13	3.65E-01	2.42E+01	1.38E+01	1.94E+01
14	3.98E-01	2.55E+01	1.79E+01	2.70E+01
15	4.32E-01	2.66E+01	2.37E+01	3.20E+01

Jika ditranslasikan kedalam grafik, maka grafiknya menjadi sebagai berikut :



Grafik 1 . Sudut yang dibentuk oleh pendulum untuk panjang tali 0,254 m

Dari Tabel 2, 3, dan 4 serta Grafik 1, 2, dan 3 di atas, terlihat bahwa sudut yang dibentuk pendulum terhadap bidang miring berubah terhadap waktu. Nilai sudut yang dibentuk pendulum berbeda untuk setiap panjang tali pendulum dan sudut yang dibentuk bidang miring. Maka, panjang tali pendulum dan sudut yang dibentuk bidang miring mempengaruhi nilai sudut yang dibentuk pendulum.

Analisis di atas adalah analisis yang dilakukan dengan menggunakan software tracker, sehingga besar nilai sudut yang dibentuk bandul dapat diperoleh secara langsung dari software tracker tersebut. Setelah dilakukan analisis menggunakan software tracker, kemudian dilakukan perhitungan secara manual untuk memperoleh nilai sudut yang dibentuk pendulum pada bidang miring. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan persamaan lagrange

mekanik. Dari bagian pendahuluan, dapat diketahui bahwa untuk mencari sudut yang dibentuk oleh pendulum pada bidang miring, dapat digunakan persamaan yang telah dibahas pada bagian metode yaitu sebagai berikut:

$$\theta(t) = -\beta + C \cos(\omega t + \phi)$$

Artinya untuk mencari nilai sudut tersebut, terlebih dahulu dilakukan perhitungan nilai ω , dari persamaan (6). Dari persamaan tersebut, diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut:

Table 5. Data hasil perhitungan untuk ω

No	Percobaan ke-	(°)	(m)	(rad/s)
1			0.095	10,02
2	I	30	0.189	7,10
3			0.254	6,13
4			0.095	9,05
5	II	45	0.189	6,42
6			0.254	5,54
7			0.095	8,35
8	III	53	0.189	5,92
9			0.254	5,11

Setelah mencari nilai ω , kemudian dicari nilai sudut yang dibentuk pendulum pada bidang miring secara manual, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\theta(t) = -\beta + C \cos(\omega t + \phi)$$

Setelah dilakukan perhitungan dengan cara manual, didapat sudut yang dibentuk pendulum terhadap fungsi waktu pada saat $t = 0$, seperti yang tertera di atas. Setelah dibandingkan dengan hasil tracker, di dapat nilai sudut yang dibentuk pendulum sebagai berikut:

Table 6. Data perbandingan sudut yang dibentuk pendulum antara tracker dan manual

N o	Percobaan ke-	β (°)	ℓ (m)	Sudut Pendulum (θ)	
				Hasil Tracker	Hasil Manual
1	I	30	0.095	-23,9	-23,9

N o	Percobaan ke-	β (°)	ℓ (m)	Sudut Pendulum (θ)	
				Hasil Tracker	Hasil Manual
2			0.189	-41,04	-41,1
3			0.254	-48,2	-48,2
4			0.095	-26,3	-26,3
5	II	45	0.189	-42,3	-42,3
6			0.254	-42,7	-42,7
7			0.095	-28,1	-28,1
8	III	53	0.189	-39,9	-39,9
9			0.254	-41,3	-41,3

Table 7. Data hasil pengolahan dan perhitungan untuk sudut yang dibentuk pendulum

No	Percobaan ke-	β (°)	ℓ (m)	Sudut Pendulum
1			0.095	-23,9
2	I	30	0.189	-41,1
3			0.254	-48,2
4			0.095	-26,3
5	II	45	0.189	-42,3
6			0.254	-42,7
7			0.095	-28,1
8	III	53	0.189	-39,9
9			0.254	-41,3

Dari tabel di atas, terlihat bahwa antara hasil perhitungan dan dengan menggunakan tracker untuk sudut yang dibentuk pendulum terhadap fungsi waktu pada saat $t = 0$, setelah disederhanakan, ternyata hasilnya sama.

4. PENUTUP

Dari percobaan yang telah dilakukan, diperoleh besar nilai sudut yang dibentuk

pendulum terhadap bidang miring dan juga diperoleh besar nilai frekuensi sudut pendulum. Panjang tali yang dibuat berbeda dan besar sudut bidang miring yang di ubah-ubah ternyata mempengaruhi dari besar sudut yang dibentuk oleh pendulum tersebut. Sudut yang dibentuk pendulum terhadap bidang miring adalah sebagai berikut:

5. REFERENSI

- Astuti, I. A D. 2016. "Pengembangan alat eksperimen penentuan percepatan gravitasi bumi berdasarkan teori bidang miring berbasis microcomputer based laboratory (MBL)," *Faktor Excata*, vol. 9, no. 2, pp. 114–118
- Brown, A. J. , Douglas & Cox. 2009 "Innovative Uses of Video Analyse," *The Physics Teacher*, vol. 3, no. 47, pp. 145–155
- Hockicko, P. 2012 "Attractiveness of Learning Physics by Means of Video Analysis and Modeling Tools," *SEFI 40th Annual Conference Physics Engineering Education*, pp. 1–8.
- Morin, D. 2007. *Introduction to Classical Mechanics With Problems and Solutions*. United States of America: Cambridge University Press
- Suwarno, D. U. 2015 "Getaran osilasi teredam pada pendulum dengan magnet dan batang aluminium," *Prosiding SKF*, pp. 100–107