

Redaman Pada Pendulum Sederhana

Kintan Limiansih, Ign Edi Santosa

Jurusan Pendidikan Fisika Universitas Sanata Dharma
Paingan, Maguwohardjo, Depok, Sleman, Yogyakarta
edi@usd.ac.id

Abstrak – Telah dilakukan pengamatan redaman pada pendulum sederhana. Eksperimen dilakukan dengan merekam pendulum yang sedang berosilasi. Selanjutnya kedudukan setiap saat dari beban ditentukan dengan menganalisa rekaman video menggunakan perangkat lunak LoggerPro. Hasil analisa menunjukkan bahwa untuk berbagai beban dengan ukuran yang sama, besarnya penurunan amplitudo berbanding terbalik dengan massa beban. Sedangkan untuk beban yang massanya sama, redaman berbanding lurus dengan jari-jarinya.

Kata kunci: pendulum, redaman, analisa video

Abstract – A damp oscillation has been investigated using a video analysis. The position of the bob at any time was determined using a video analysis software i.e. LoggerPro. The results show that the decrease in amplitude is inversely proportional to the mass of the bob. For the bob of the same mass, the damping is proportional to its radius.

Key words: pendulum, damping, video analysis

I. PENDAHULUAN

Pendulum sederhana sudah banyak dijadikan obyek praktikum dan penelitian. Pendulum ini sangat dikenal sebagai salah satu metoda untuk menentukan nilai percepatan gravitasi bumi, melalui pengukuran periode dan panjang tali. Pada umumnya hubungan yang dipakai berlaku untuk sudut awal simpangan yang kecil. Selain itu juga banyak dibahas berbagai pendekatan dalam merumuskan hubungan antara periode dan simpangan awal yang besar.

Berbagai penelitian juga menyangkut metoda pengukuran serta peralatannya. Pengukuran yang paling sederhana seperti pada praktikum, menggunakan stopwatch untuk mengukur periode. Sedang penelitian lain menggunakan photogate, motion detector dan juga video.

Pada berbagai buku teks disebutkan bahwa pendulum ini mengikuti gerak harmonis sederhana tak teredam, karena itu amplitudonya tetap selama berosilasi [1, 2]. Namun dalam praktikum di laboratorium tampak bahwa pendulum tersebut akan berhenti berosilasi setelah selang waktu tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa selama berosilasi terdapat redaman. Meskipun demikian penelitian tentang redaman ini relatif sedikit dibandingkan dengan penelitian yang terkait dengan masalah periode.

Salah satu kendala pada penelitian tentang redaman adalah kesulitan untuk dapat mengikuti proses osilasi secara kontinyu. Quist [3] menggunakan satu buah fotodioda dan LED inframerah yang diletakan di bagian bawah ayunan. Dengan setup tersebut dapat diperoleh nilai kecepatan pada setiap saat beban berada di tempat terbawah atau simpangan nol. Koefisien redamannya diperoleh dari analisa data kecepatan dan waktu. Meskipun demikian data yang ditampilkan tidak dapat secara langsung menunjukkan adanya gejala redaman seperti yang teramati secara visual.

Video dapat digunakan untuk mendapatkan nilai posisi setiap saat dari beban yang sedang berosilasi. Analisa video yang dilakukan oleh Greenwood [4] sangat terbatas pada proses penghitungan redamannya. Pengamatan redaman dilakukan secara manual dengan video pada monitor, dan kemudian mencatat saat dan kedudukan beban pada simpangan terjauh saja. Data yang diperoleh terbatas, tidak dapat menggambarkan gejala osilasi yang teredam secara langsung.

Saat ini banyak kamera dengan fasilitas perekaman video yang berharga murah. Selain itu juga tersedia software pengolah video. Untuk itu pada penelitian ini osilasi pendulum direkam secara kontinyu untuk mendapatkan data posisi beban setiap saat. Berbeda dengan penelitian sebelumnya pada penelitian ini diperoleh data yang dapat menunjukkan gejala osilasi yang teredam dan faktor yang mempengaruhinya.

II. LANDASAN TEORI

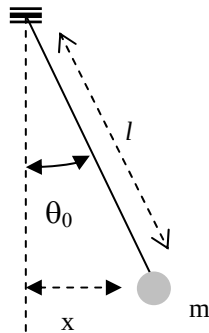
Pendulum yang terdiri dari beban bermassa m yang digantungkan pada tali tak bermassa sepanjang l ditunjukkan pada gambar 1. Pendulum ini mengalami gaya gesekan yang sebanding dengan kecepatannya mengikuti persamaan [3]

$$F_f = -b v \quad (1)$$

dengan b merupakan parameter redaman akibat gesekan

Dengan adanya gaya gesek ini untuk sudut awal θ_0 yang kecil persamaan geraknya secara lengkap menjadi:

$$\ddot{\theta} + \frac{b}{m} \dot{\theta} + \frac{g}{l} \theta = 0 \quad (2)$$



Gambar 1. Ayunan dengan panjang tali penggantung l , beban bermassa m disimpangkan dengan sudut awal θ_0 dan simpangan horisontal sebesar x .

Penyelesaian dari persamaan (2) di atas berbentuk [5]

$$\theta(t) = \theta_0 e^{-\beta t} \cos(\omega t) \quad (3)$$

dengan

ω : frekuensi angular

β : koefisien redaman mengikuti hubungan

$$\beta = \frac{b}{2m}$$

(4)

Selain berefek pada nilai amplitudo yang menurun secara eksponensial, redaman juga mempengaruhi frekuensi osilasi. Frekuensi osilasi dalam persamaan (3) berbeda dari frekuensi osilasi alaminya (ω_0) mengikuti hubungan:

$$\omega^2 = \omega_0^2 - \beta^2$$

(5)

III. METODE EKSPERIMEN

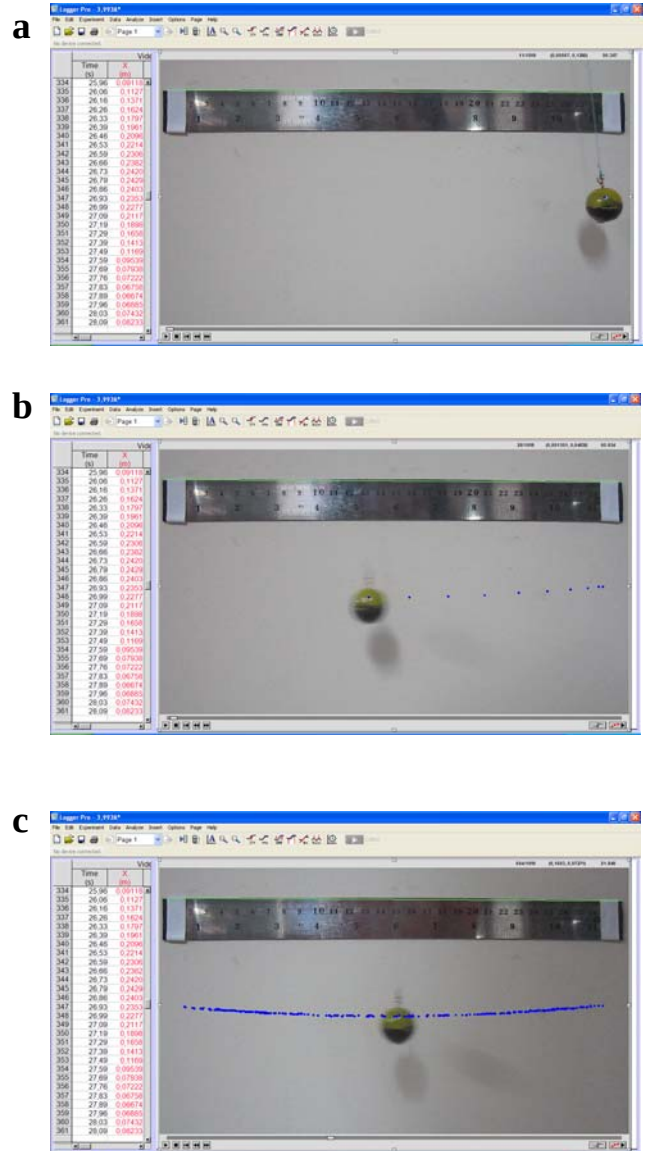
Pada eksperimen pertama digunakan satu bola kayu sebagai beban yang digantung pada benang tipis. Bola yang digunakan dapat diubah massanya dengan memasukan beban tambahan di dalamnya. Panjang benang yang dipakai adalah 120 cm. Sedang pada percobaan kedua digunakan tiga jenis bola yang berbeda jari-jarinya dengan massa yang dibuat hampir sama besar.

Perekaman dilakukan ketika beban berayun dari sudut awal sekitar 5° , menggunakan fasilitas video yang terdapat pada kamera Canon A2200. Saat perekaman selain ayunan, juga disertakan sebuah penggaris di bagian belakang ayunan sebagai acuan pengukuran panjang.

Hasil perekaman selanjutnya diolah dengan software LoggerPro [6] untuk mendapatkan simpangan horisontal (x) setiap saat dari beban ketika berayun. Nilai sudut setiap saat dapat dihitung dari data tersebut dan panjang tali seperti

ditunjukkan pada gambar 1. Selanjutnya dari grafik hubungan sudut terhadap waktu, dapat ditentukan nilai koefisien redaman dengan fasilitas fit-data pada software yang sama.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN



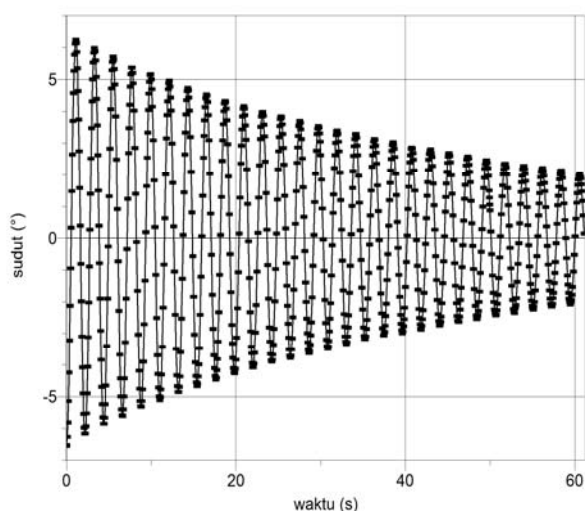
Gambar 2. Posisi setiap saat pada ayunan dengan beban bermassa 3,053 g dan panjang tali 120 cm. Ayunan diperlihatkan hanya pada bagian bebannya, tidak seluruhnya, agar memudahkan pelacakan kedudukan beban.

Hasil perekaman pada ayunan ditampilkan pada gambar 2 di bawah. Pada gambar 2a tampak bola yang disimpangkan dan penggaris. Penggaris sepanjang 30 cm yang dipasang melintang di belakang bola digunakan sebagai acuan pengukuran panjang. Jejak beban selama berayun muncul setelah dilakukan analisa dengan software

LoggerPro. Setiap kali frame diajukan kedudukan bola ditandai dan dicatat secara otomatis. Akibatnya tampak jejak beban berupa titik-titik pada gambar 2b. Pencatatan yang dilakukan selama beban mengayun akan memberikan jejak seperti gambar 2c. Dari jejak tersebut tampak bahwa beban mengayun di sekitar titik kesetimbangan. Namun demikian karena titik-titiknya tumpang tindih, jejak tersebut belum menampakkan adanya redaman secara langsung.

Selain memberikan jejak beban seperti pada gambar 2, analisa video tersebut juga langsung menghasilkan tabel data seperti waktu dan jarak horizontal (x). Selanjutnya besarnya sudut θ pada setiap saat dapat dihitung dari nilai jarak horizontal dan panjang tali berdasar gambar 1.

Nilai sudut simpangan setiap saat dari ayunan dengan massa beban 3,053 g dan panjang tali 120 cm, ditampilkan pada gambar 3. Pada gambar tersebut tampak bahwa amplitudonya mengecil dengan berjalannya waktu pengamatan. Pada awalnya beban disimpangkan dengan sudut $6,3^\circ$, setelah berayun selama 60 detik simpangan terjauhnya menjadi sebesar 2° . Hal ini menunjukkan bahwa ayunan tersebut mengalami redaman.



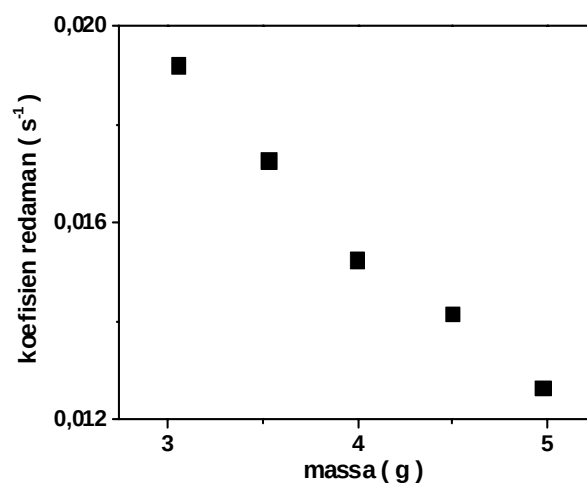
Gambar 3. Sudut simpangan fungsi waktu pada ayunan dengan beban bermassa 3,053 g, jari-jari beban 1 cm dan panjang tali 120 cm..

Tabel 1. Koefisien redaman dan frekuensi osilasi angular pada ayunan dengan berbagai massa beban yang berjari-jari 1 cm, dan panjang tali 120 cm.

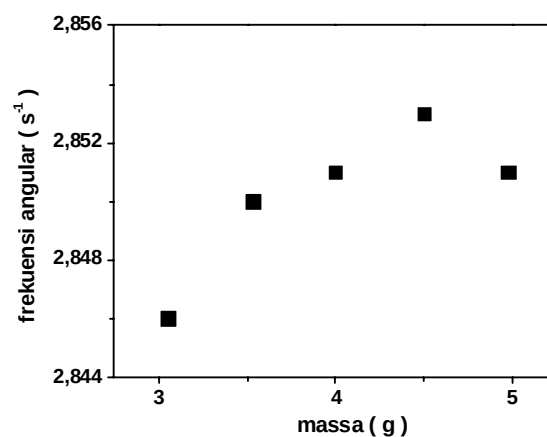
Massa (g)	β ($\times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$)	ω (s^{-1})
3,053	$1,992 \pm 0,004$	$2,846 \pm 0,001$
3,530	$1,729 \pm 0,004$	$2,850 \pm 0,001$
3,993	$1,527 \pm 0,005$	$2,851 \pm 0,001$
4,497	$1,416 \pm 0,004$	$2,853 \pm 0,001$
4,972	$1,265 \pm 0,004$	$2,851 \pm 0,001$

Untuk mendapatkan koefisien redamannya, grafik hubungan sudut terhadap waktu tersebut difit dengan persamaan (3). Pada eksperimen ini dilakukan pengamatan pada ayunan dengan beban berupa bola kayu dengan jari-jari 1 cm. Massa bola dapat diubah dengan memberikan beban tambahan di dalamnya. Hasil fitting data untuk berbagai nilai massa beban dengan jari-jari beban 1 cm dan panjang tali 120 cm, disajikan pada tabel 1.

Adanya redaman selama osilasi ditunjukkan dengan menurunnya amplitudo. Besarnya penurunan ini ditentukan oleh nilai koefisien redaman β pada persamaan (3). Sesuai dengan persamaan (4) nilai β berbanding terbalik dengan massa beban m . Hal ini dapat ditunjukkan dengan grafik hubungan antara koefisien redaman β dengan massa m seperti yang disajikan pada gambar 4.



Gambar 4. Grafik hubungan antara koefisien redaman β (s^{-1}) dengan massa beban (g).



Gambar 5. Grafik hubungan antara frekuensi angular ω (s^{-1}) dengan massa beban (g).

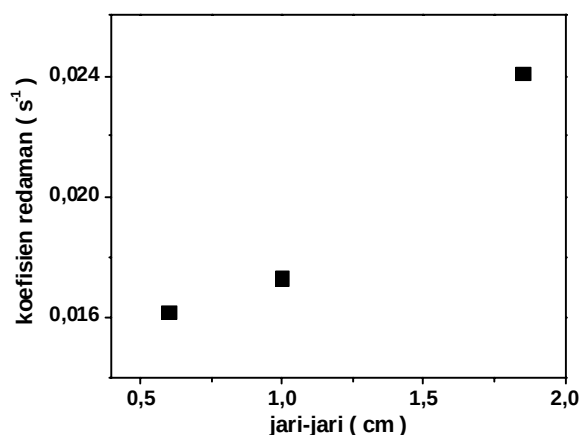
Gambar 5 menunjukkan hubungan antara frekuensi angular dengan massa beban. Tampak bahwa terdapat kenaikan frekuensi dengan adanya kenaikan massa. Hal ini

sesuai dengan persamaan (4) dan (5). Kenaikan massa akan menyebabkan penurunan nilai β seperti pada gambar 4, dan selanjutnya akan diikuti dengan kenaikan frekuensi osilasi angular sesuai persamaan (5).

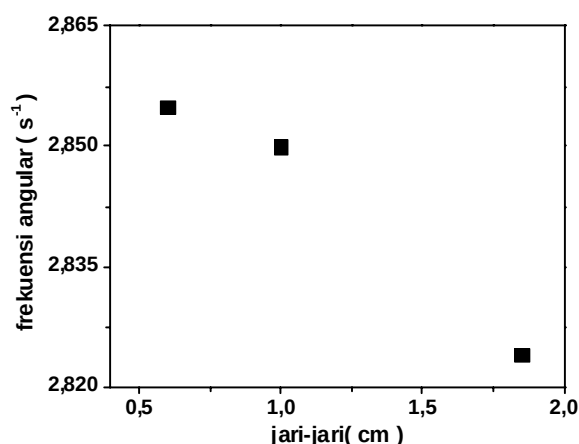
Redaman yang teramati dikarenakan oleh adanya gaya gesekan dengan udara. Karena itu pengamatan juga dilakukan dengan menggunakan berbagai bola dengan ukuran yang berbeda tetapi massanya hampir sama. Bola yang digunakan bermassa sekitar 3,5 g dengan jari-jari secara berurutan sebesar 0,6 cm, 1 cm dan 1,85 cm. Hasil eksperimen tersebut ditampilkan pada tabel 2, gambar 6 dan gambar 7.

Tabel 2. Koefisien redaman dan frekuensi osilasi angular pada ayunan dengan berbagai jari-jari beban yang bermassa sekitar 3,5 g, dan panjang tali 120 cm.

Jari-jari (cm)	Massa (g)	β ($\times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$)	ω (s^{-1})
0,6	3,514	$1,618 \pm 0,003$	$2,855 \pm 0,001$
1,0	3,530	$1,729 \pm 0,004$	$2,850 \pm 0,001$
1,85	3,509	$2,407 \pm 0,008$	$2,824 \pm 0,002$



Gambar 6. Grafik hubungan antara koefisien redaman β (s^{-1}) dengan jari-jari beban (cm).



Gambar 7. Grafik hubungan antara frekuensi angular ω (s^{-1}) dengan jari-jari beban (cm).

Besarnya redaman karena gesekan dengan udara tergantung dengan ukuran penampang beban. Kostov et.al. menyatakan bahwa redaman karena gesekan dengan udara sebanding dengan diameter [7]. Hal ini ditunjukkan dengan adanya hubungan linear antara koefisien redaman β dengan jari-jari beban seperti pada gambar 6.

Menurut persamaan (5) adanya redaman pada pendulum sederhana juga mempengaruhi nilai frekuensi osilasinya. Perbedaan jari-jari beban mengakibatkan perbedaan nilai β seperti yang ditunjukkan gambar 6. Karena itu selanjutnya jari-jari beban juga mempengaruhi frekuensi osilasi angularnya seperti yang ditunjukkan pada gambar 7. Kenaikan jari-jari menyebabkan kenaikan koefisien redaman akan diikuti dengan penurunan frekuensi osilasi angular sesuai persamaan (5).

V. KESIMPULAN

Redaman pada pendulum sederhana dapat ditunjukkan dengan menganalisa rekaman videonya. Hasil analisa digunakan untuk menunjukkan hubungan sudut simpangan ayunan terhadap waktu. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa penurunan amplitudo berbanding terbalik dengan massa, dan berbanding lurus dengan jari-jari beban.

PUSTAKA

- [1] M. Alonso, E.J. Finn, *Fundamental University Physics* Addison Wesley, 1977.
- [2] D.C. Giancoli, *Physics for Scientists and Engineers*, Prentice Hall, Englewood Cliff. 1989.
- [3] G.M. Quist, The PET and pendulum: An application of microcomputers to the undergraduate laboratory, *Am. J. Phys.*, February 1983, pp 145-49.
- [4] M. S. Greenwood, Using videotapes to study underdamped motion of a pendulum: A laboratory project, *Am. J. Phys.*, July 1987, pp 645-648.
- [5] R.A. Nelson, M. G. Alsson, The Pendulum – Rich physics from a simple system, *Am. J. Phys.*, February 1986, pp 112-121.
- [6] vernier.com
- [7] Y. Kostov, R. Morshed, B. Holing, Period-speed analysis of a pendulum, *Am. J. Phys.*, October 2008, pp 956-962.