

# Analisis Perbandingan Ketelitian Periode Gerak Harmonik Sederhana Pegas yang Diperoleh Berdasarkan Metode Statik dan Dinamik

Fourier Dzar Eljabbar Latief,<sup>1,2a)</sup> Amaldeus Tani Dosi<sup>2b)</sup>, Fitri Sulastri<sup>2c)</sup>, Hayatining Suci Abdilah<sup>2d)</sup>, Ignatius Mayo Aquino Pang<sup>2e)</sup>, Yunita Riztyana<sup>2f)</sup>

<sup>1</sup>Fisika Bumi dan Sistem Kompleks, Institut Teknologi Bandung  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,  
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

<sup>2</sup>Program Studi Magister Pengajaran Fisika, Institut Teknologi Bandung  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,  
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

- a) fourier@fi.itb.ac.id (corresponding author)
- b) amaldeustanidosi@students.itb.ac.id
- c) itrisulastri@students.itb.ac.id
- d) hayatining.suci@students.itb.ac.id
- e) ignatiuspang@students.itb.ac.id
- f) yunitariztyana@students.itb.ac.id

## Abstrak

*Pengukuran besaran-besaran fisis pada sistem benda-pegas vertikal yang bergerak harmonis, yakni periode getaran dan konstanta gaya pegas, umumnya masih dilakukan pada tingkat sekolah menengah atau tingkat dasar perguruan tinggi. Besaran ini dapat diukur dalam 2 keadaan, yakni dengan pendekatan statik dan pendekatan dinamik. Pada pendekatan statik, konstanta pegas ditentukan terlebih dahulu dengan mengubah berat beban dan kemudian dari grafik hubungan antara berat dan pertambahan panjang dapat diperoleh konstanta pegas tersebut. Untuk pendekatan dinamik pada tingkatan sekolah menengah, umumnya digunakan stopwatch untuk mencatat periode getaran pegas. Sebagai alternatif, pengukuran periode pegas dapat dilakukan dengan menganalisis video hasil perekaman gerak osilasi benda menggunakan piranti lunak Tracker. Dalam penelitian ini, ketelitian dari data pengukuran periode pegas yang diperoleh dengan pendekatan statik dan dinamik akan dianalisis. Dalam pendekatan statik, periode diperoleh secara tidak langsung dari fungsi massa beban dan konstanta pegas. Sementara itu, dengan pendekatan dinamik, periode diperoleh dari konstanta pencocokan kurva posisi terhadap waktu serta penentuan selang waktu puncak-puncak. Ketelitian pengukuran metode statik dan dinamik dibandingkan karena berdasarkan pengalaman penulis mengajar di tingkat SMA, periode yang diperoleh dari metode statik seringkali dijadikan pembandingan dari hasil yang diperoleh secara dinamik-konvensional. Padahal, berdasarkan hasil penelitian ini, yang seharusnya dijadikan pembandingan ialah periode hasil pengukuran metode dinamik yang dianalisis dengan Tracker karena ketelitiannya lebih tinggi. Secara umum, ketidakpastian periode dari metode dinamik hasil pencocokan kurva berada pada orde  $10^{-4}$  s sementara ketidakpastian pengukuran periode berdasarkan metode statik berada pada orde  $10^{-3}$  s. Selain membandingkan ketelitian periode dari metode statik dan dinamik, penelitian ini juga menunjukkan beberapa konsep dasar yang penting untuk ditekankan saat diskusi di kelas.*

*Kata-kata kunci: gerak harmonik sederhana sistem beban-pegas, periode, statik, dinamik, Tracker, ketidakpastian*

## PENDAHULUAN

Keterampilan berpikir kritis adalah salah satu tuntutan dari pembelajaran sains abad ke-21. Salah satu aktivitas untuk melatih keterampilan berpikir kritis adalah eksperimen. Aktivitas eksperimen dapat melibatkan peserta didik pada pengalaman melakukan observasi, bertanya, mengumpulkan data, menganalisis dan menginterpretasi data, dan memberikan penjelasan lebih lanjut. Banyak topik eksperimen dalam proses pembelajaran Fisika yang dapat melatih keterampilan-keterampilan tersebut. Salah satu topik yang masih dilakukan pada proses pembelajaran Fisika tingkat SMA atau tingkat dasar perguruan tinggi ialah pengukuran besaran-besaran fisis pada sistem benda-pegas vertikal yang bergerak harmonis sederhana. Dua besaran fisis yang umumnya diukur ialah periode getaran dan konstanta gaya pegas.

Eksperimen topik ini dapat dilakukan secara konvensional maupun dengan bantuan teknologi. Secara konvensional, instrumen utama yang digunakan dalam eksperimen ialah *stopwatch* [1]. Sementara itu, eksperimen dengan bantuan teknologi dapat dilakukan dengan menganalisis rekaman video digital dari gerakan sistem menggunakan peranti lunak *Tracker* (tidak berbayar) atau *Logger Pro* (berbayar) atau dengan metode pengolahan citra digital [2,3]. Dengan bantuan teknologi, fenomena osilasi teredam yang sukar dilakukan secara konvensional bahkan dapat dianalisis sebagaimana telah dilakukan oleh Tirtasari dkk [3]

Pada penelitian ini, metode analisis rekaman video digital dengan menggunakan perangkat lunak *Tracker* dipilih karena lebih sederhana dibandingkan dengan pengolahan citra, dan juga perangkatnya yang tidak berbayar. Meskipun lebih sederhana daripada pengolahan citra, tetapi ketelitian metode ini lebih baik dibandingkan metode konvensional. Selain itu, penggunaan *Tracker* sebagai alat bantu pengukuran besaran fisis juga sudah telah banyak divalidasi dalam penelitian-penelitian terdahulu, di antaranya oleh Tirtasari dkk [4].

Dalam penelitian ini, rekaman video digital gerak harmonis sederhana dari beban yang tergantung pada sebuah pegas, 2 pegas yang tersusun seri, 2 pegas yang tersusun paralel, dan 4 pegas yang tersusun seri-paralel dianalisis dengan perangkat lunak *Tracker*. Pegas yang digunakan ialah ialah pegas skala laboratorium, karena diharapkan hasil penelitian ini dapat diaplikasikan pada eksperimen Fisika tingkat sekolah menengah atas. Besaran Fisika yang akan dianalisis pada penelitian ialah periode osilasi dari konfigurasi pegas-beban yang telah diuraikan sebelumnya.

Secara khusus penelitian ini membandingkan ketelitian dari data pengukuran periode pegas yang diperoleh dengan pendekatan statik dan dinamik. Secara statik, periode diperoleh secara tidak langsung dari fungsi massa beban dan konstanta pegas. Sementara itu, secara dinamik, periode diperoleh dari konstanta pencocokan kurva posisi terhadap waktu serta penentuan selang waktu puncak-puncak.

Ketelitian pengukuran metode statik dan dinamik dibandingkan karena belum banyak penelitian yang membahas ini. Dengan demikian, periode yang diperoleh dari metode statik belum tentu lebih teliti daripada metode dinamik. Namun berdasarkan pengalaman penulis mengajar di tingkat SMA, periode yang diperoleh dari metode statik seringkali dijadikan pembanding dari hasil yang diperoleh secara dinamik-konvensional. Padahal, berdasarkan hasil penelitian ini, yang seharusnya dijadikan pembanding ialah periode hasil pengukuran metode dinamik yang dianalisis dengan *Tracker*.

Selain membandingkan ketelitian periode dari metode dinamik dan statik, penelitian ini juga menunjukkan beberapa keunggulan penggunaan *Tracker* sebagai instrumen pengukuran Fisika. Dengan kemudahan siswa dalam mengakses perangkat lunak *Tracker* secara bebas, serta sudah lazimnya kepemilikan dari *smartphone*, siswa diharapkan dapat mengeksplorasi secara mandiri dua perangkat ini dalam berbagai eksperimen Fisika.

## TEORI DASAR

### Gerak Harmonik Sederhana

Suatu pegas yang diberi beban kemudian disimpangkan, akan bergerak bolak-balik melewati titik setimbangnya, yang memenuhi definisi dari gerak harmonik sederhana. Berdasarkan hukum kedua Newton:

$$F = m \frac{d^2y}{dx^2} \quad (1)$$

dimana  $m$  adalah massa beban yang tergantung dan  $d^2y/dt^2$  adalah turunan kedua fungsi posisi terhadap waktu dari gerak harmonis sistem beban-pegas. Sistem dapat bergerak harmonik sederhana ketika gaya pemulihnya berbanding lurus dengan negatif dari simpangannya. Gaya pemulih seperti pada hukum Hooke dapat ditulis

$$F = -ky. \quad (2)$$

Dengan menggabungkan persamaan (1) dan (2), maka diperoleh

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = -ky \rightarrow m \frac{d^2 y}{dt^2} + ky(t) = 0. \quad (3)$$

Jika ruas kanan dan kiri dibagi dengan  $m$ , maka :

$$\frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{k}{m} y = 0. \quad (4)$$

Persamaan diferensial pada persamaan (4) memiliki solusi analitik berupa fungsi sinusoidal, yang menunjukkan bahwa simpangan sebagai fungsi waktu dapat dituliskan sebagai:

$$y(t) = A \sin(\omega t + \phi), \quad (5)$$

dengan  $A$  adalah amplitudo atau simpangan terjauh (m),  $t$  ialah waktu (s) dan  $\phi$  adalah fase getarannya. Fase getaran ini penting diperhatikan karena menjadi penanda bilamana benda telah melakukan satu siklus gerak harmonis yang kembali ke keadaan (posisi dan fase) yang sama.

Turunan kedua dari fungsi simpangan ini dinyatakan oleh:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = -\omega^2 A \sin(\omega t + \phi), \quad (6)$$

sehingga persamaan geraknya menjadi :

$$\begin{aligned} -\frac{1}{\omega^2} \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} &= y(t), \\ \frac{d^2 y}{dt^2} + \omega^2 y(t) &= 0. \end{aligned} \quad (7)$$

Jika dibandingkan dengan formulasi hukum Hooke:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{k}{m} y(t) &= 0 \\ \frac{d^2 y}{dt^2} + \omega^2 y(t) &= 0, \end{aligned}$$

maka akan didapatkan kecepatan sudut  $\omega = \sqrt{k/m}$  dengan  $\omega = 2\pi/T$ . Di sini,  $k$  adalah konstanta pegas (N/m),  $m$  adalah massa beban (kg) dan  $T$  ialah periode gerak harmonis sistem beban-pegas. Sehingga

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}. \quad (8)$$

## Susunan Pegas

Dalam penelitian ini, akan dianalisis berbagai konfigurasi pegas-beban selain dari konfigurasi pegas tunggal-beban. Konfigurasi-konfigurasi tersebut diuraikan sebagai berikut.

1. Susunan pegas secara seri: jika ada dua pegas atau lebih yang disusun berkaitan maka berlaku beberapa sifat, yaitu bahwa gaya yang bekerja pada masing-masing pegas adalah sama ( $F_1 = F_2 = F_3 = F_n$ ), sehingga pertambahan panjang masing-masing pegas memberikan kontribusi terhadap pertambahan panjang totalnya:

$$\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3 + \dots,$$

maka konstanta pegas pengganti susunan seri adalah

$$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \dots \quad (9)$$

2. Susunan pegas secara paralel: jika ada dua pegas yang dipasang sejajar maka akan berlaku beberapa sifat, yaitu bahwa gaya total yang bekerja pada pegas paralel adalah penjumlahan dari gaya masing-masing pegas:

$$F_{tot} = F_1 + F_2 + F_3 + \dots$$

dan pertambahan panjang total pegasnya sama dengan pertambahan panjang masing-masing pegas

$$\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3 + \dots$$

Maka konstanta pegas pengganti paralel adalah

$$k_p = k_1 + k_2 + k_3 + \dots \quad (10)$$

3. Susunan pegas campuran (seri dan paralel): jika dua buah pegas disusun secara seri kemudian diparalelkan dengan dua pegas lainnya, maka konfigurasi ini diistilahkan dengan susunan pegas campuran, dengan konstanta efektif yang bisa ditentukan dari konstanta seri dan paralelnya.

$$\frac{1}{k_{S1}} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}$$

$$\frac{1}{k_{S2}} = \frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_4}$$

Setelah konstanta pegas seri diketahui maka akan didapatkan konstanta pegas paralel yang menjadi konstanta efektif konfigurasi tersebut, yaitu

$$k_{total} = k_{S1} + k_{S2} \quad (11)$$

### Ketidakpastian

Arifin, dkk [5] menjelaskan bahwa ketidakpastian hasil pengukuran beberapa variabel lain dapat merambat menjadi ketidakpastian suatu variabel yang merupakan fungsi dari hasil pengukuran tersebut. Dalam penelitian ini, ketidakpastian yang dianalisis adalah ketidakpastian dalam penentuan besaran periode getar/osilasi.

1. Ketidakpastian periode. Pada pengukuran dengan pendekatan statik, periode ( $T$ ) merupakan fungsi dari 2 variabel yakni massa beban ( $m$ ) dan konstanta pegas ( $k$ ) seperti ditunjukkan pada Persamaan (8). Dengan demikian, ketidakpastian periodenya ialah sebagai berikut:

$$\Delta T = \frac{1}{2} T \frac{\Delta a}{a}, \quad (12)$$

dengan

$$a = \frac{m}{k}. \quad (13)$$

Karena  $a$  adalah fungsi dari 2 variabel dengan operasi pembagian, maka ketidakpastiannya dinyatakan oleh:

$$\Delta a = a \left( \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta k}{k} \right). \quad (14)$$

Dengan menggunakan hasil dari persamaan (14) maka

$$\Delta T = \frac{1}{2} T \left( \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta k}{k} \right), \quad (15)$$

dimana  $\Delta m/m$  adalah ketidakpastian relatif pengukuran massa dengan  $\Delta m$  ialah setengah nilai skala terkecil alat ukur yang digunakan dan  $\Delta k/k$  ialah ketidakpastian relatif pengukuran konstanta pegas yang diperoleh dari metode statis dan  $\Delta k$  ialah ketidakpastian konstanta pegas.

2. Ketidakpastian konstanta pegas tunggal yang diperoleh dari kurva regresi. Ketidakpastian konstanta untuk konfigurasi dua pegas seri dapat ditentukan dari Persamaan (9), dengan konstanta efektif untuk susunan seri dua buah pegas tersebut adalah sebagai berikut:

3.

$$\frac{1}{k_s} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}. \quad (16)$$

Dengan demikian,

$$\begin{aligned} \frac{1}{\Delta k_s} &= \frac{1}{\Delta k_1} + \frac{1}{\Delta k_2}, \\ \Delta k_s &= \frac{\Delta k_1 \Delta k_2}{\Delta k_1 + \Delta k_2}. \end{aligned} \quad (17)$$

Ketidaktepastian konstanta pegas paralel dinyatakan oleh:

$$\Delta k_p = \Delta k_1 + \Delta k_2 \quad (18)$$

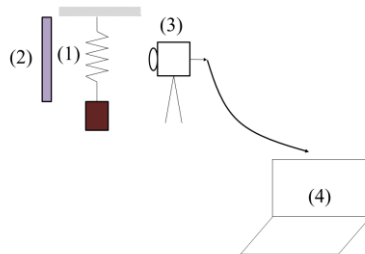
### Video Digital

Video digital didefinisikan sebagai gambar (atau bingkai citra) bergerak yang dihasilkan oleh suatu perangkat elektronik yang diubah menjadi data digital yang dikodekan [3,4]. Video digital dapat dihasilkan oleh beberapa gawai yang sering kita temui dalam kehidupan sehari-hari diantaranya telepon pintar dan kamera digital. Adapun yang digunakan dalam penelitian ini adalah kamera DSLR yang memiliki laju pengambilan gambar sebesar 59 frame per sekon. Laju pengambilan gambar sendiri adalah banyaknya foto atau gambar yang dihasilkan tiap detik.

Video digital yang didapatkan kemudian dianalisis menggunakan suatu piranti lunak yang disebut tracker. Tracker merupakan suatu analisis video gratis yang dapat melacak dan menyajikan komponen gerak benda diantaranya posisi, waktu, kecepatan dan percepatan secara manual atau otomatis [6].

### METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada tanggal 7 – 19 November 2019 bertempat di laboratorium Fisika, Gedung BSCA ITB. Alat dan bahan yang digunakan dalam percobaan ini, antara lain: statif dan penopang statif, pegas (4 buah), beban (5 buah), batang penyangga susunan paralel, timbangan digital Scout Pro, meteran kain, mistar plastik, kamera Canon DSLR (59 fps), perangkat lunak video Tracker dan Logger Pro. Desain alat dan bahan yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain alat penelitian yang terdiri atas (1) sistem beban-pegas; (2) meteran sebagai alat untuk kalibrasi spasial; (3) kamera dan tripod; (4) komputer yang terinstall Tracker dan Logger Pro

Proses penelitian dilakukan dalam tiga tahapan, yakni tahap persiapan, pelaksanaan dan analisis data. Pada tahap persiapan, dilakukan pengecekan ketersediaan alat dan kinerja alat ukur yang digunakan dan dilanjutkan dengan merangkai susunan alat percobaan. Dalam eksperimen ini, digunakan empat buah pegas dengan konstanta pegas masing-masing  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ , dan  $k_4$  untuk empat konfigurasi yang berbeda. Konfigurasi A untuk pegas tunggal ( $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ , dan  $k_4$ ). Konfigurasi B untuk susunan dua buah pegas ( $k_1$  dan  $k_2$ ) yang dirangkai seri. Konfigurasi C untuk susunan dua buah pegas ( $k_1$  dan  $k_2$ ) yang dirangkai paralel, dan konfigurasi D untuk susunan empat buah pegas ( $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ , dan  $k_4$ ) yang dirangkai seri dan paralel.

Pada tahap pelaksanaan, tiap pegas diberi 5 (lima) beban berbeda dan dicatat perubahan panjang pegas tiap penambahan beban. Selanjutnya hubungan berat beban ( $mg$ ) terhadap perubahan panjang tiap pegas ( $\Delta L$ ) diplot pada kurva. Dengan melakukan *curve fitting* secara linier akan diperoleh nilai konstanta tiap pegas beserta ketidaktepastiannya. Periode osilasi secara statik untuk 4 konfigurasi dengan menghitung menggunakan Persamaan (8).

Selanjutnya dilakukan pengambilan video osilasi sistem pegas-massa untuk tiap konfigurasi A, B, C dan D masing-masing sebanyak 3 kali dengan durasi tertentu. Sebelum dilakukan pengolahan data, dilakukan kalibrasi *Tracker* berupa kalibrasi spasial dan temporal. Video yang telah diolah dan dianalisis dengan menggunakan perangkat *Tracker* akan menghasilkan data simpangan ( $y$ ) dan kurva simpangan ( $y$ ) terhadap waktu ( $t$ ). Dari tiap kurva untuk setiap konfigurasi akan dihitung periode osilasi dengan menentukan jarak dari puncak-puncak pada kurva sinusoidal yang diperoleh. Selanjutnya nilai periode dinamikinya diperoleh dengan menghitung nilai reratanya. Nilai periode dengan pendekatan dinamik ini juga ditentukan dari persamaan

$$y = A \sin(Bx + C) + D \quad (19)$$

yang merupakan fungsi yang sesuai dengan hasil *curve fitting* dari data yang diperoleh. Dengan membandingkan Persamaan (5), konstanta  $A$  ialah amplitudo,  $B$  ialah kecepatan sudut,  $C$  ialah fase dan  $D$  ialah titik setimbang.

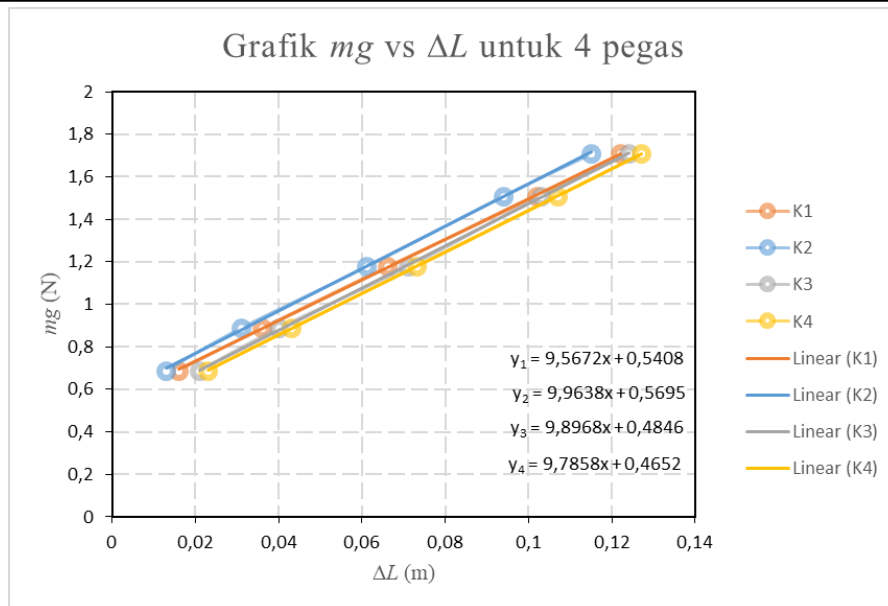
Tahapan berikutnya adalah analisis data. Dalam percobaan ini ditentukan periode osilasi sistem pegas-beban dengan pendekatan statik dan dinamik lengkap dengan ketidakpastiannya. Ketidakpastian dari data yang diperoleh dari pendekatan statik didapatkan dari perhitungan rambatan galat, sedangkan dalam pendekatan dinamik, ketidakpastian diperoleh dengan menghitung standar deviasi. Selanjutnya hasil perhitungan periode osilasi pegas dari cara statik dan dinamik dibandingkan. Untuk nilai periode osilasi cara dinamik juga dibandingkan antara hasil yang diperoleh dengan perhitungan waktu tempuh dari puncak-puncak yang berdekatan pada kurva sinusoidal dan hasil dari pencocokan kurva (*curve fitting*).

Pada percobaan dengan pendekatan statik, pegas yang digunakan tidak digetarkan. Konstanta pegas 1, 2, 3, dan 4 diukur melalui data pertambahan panjang akibat pembebanan. Pada kurva berat beban vs. pertambahan panjang pegas, konstanta pegas merupakan kemiringan kurva, dengan mengambil percepatan gravitasi di Laboratorium Fisika Dasar  $9,74 \text{ m/s}^2$ .

## HASIL DAN ANALISIS

Menurut Hukum Hooke, seharusnya kurva regresi dari data yang diperoleh memenuhi persamaan Hukum Hooke pada persamaan (2) dimana  $F$  ialah gaya gravitasi yang bekerja pada beban sebesar (berat)  $mg$  yang mengisyaratkan bahwa ketika tidak ada beban yang digantungkan pada pegas ( $m = 0$ ) maka pegas tidak akan mengalami pertambahan panjang. Selain itu, Persamaan (2) juga menunjukkan bahwa pertambahan panjang berbanding lurus dengan massa beban yang diberikan.

Dari data yang diperoleh, kurva regresi tidak bisa mengikuti Persamaan (2) karena nilai galat/RMS-nya terlalu besar. Bila kurva regresi diplot dengan persamaan  $y = mx + b$ , maka galat yang diperoleh kecil. Titik potong kurva dengan sumbu  $mg$  atau titik  $b$  ialah sebagai berikut:  $b_1 = 0,5408 \text{ N}$ ;  $b_2 = 0,5695 \text{ N}$ ;  $b_3 = 0,4846 \text{ N}$ ;  $b_4 = 0,4652 \text{ N}$ . Keempat titik potong ini berada di luar batas ketidakpastian data  $mg$  yang berada pada orde  $10^{-3} \text{ N}$ .



Gambar 2. Kurva hubungan pertambahan panjang setiap pegas dengan berat bebannya.

Dilihat dari makna fisiknya, titik potong kurva regresi yang berada di sumbu  $mg$  positif berarti saat pegas belum mengalami pertambahan panjang, pegas sudah diberi beban sebesar  $b$ . Kemungkinan besar  $b$  ini berhubungan dengan faktor massa pegas yang ternyata tidak cukup ringan untuk diabaikan.

Meskipun ada ketidakcocokan dengan teori, kurva yang ditunjukkan oleh Gambar 3 sudah menunjukkan hubungan linear antara pertambahan panjang pegas dengan berat beban yang digantung pada pegas. Dengan demikian, kemiringan kurvanya menunjukkan konstanta empat pegas yang digunakan, yakni  $k_1, k_2, k_3,$  dan  $k_4$  sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Konstanta pegas dari empat buah pegas yang digunakan

Pegas/Susunan Pegas	$k$ (N/m)	Ketidakpastian (N/m)
1	9,58	0,075
2	9,95	0,100
3	9,89	0,100
4	9,78	0,020
Seri pegas 1 dan 2	4,88	0,044
Paralel pegas 1 dan 2	19,50	0,180
Gabungan seri dan paralel (seri: pegas 2-3; pegas 1-4 dan paralel dari 2 susunan seri ini)	9,80	0,067

Dengan data konstanta pegas dan pengukuran massa, secara tidak langsung periode osilasi pegas akan dapat ditentukan. Metode ini mirip dengan penentuan percepatan gravitasi secara tidak langsung pada peristiwa osilasi bandul matematis. Data periode yang diperoleh secara tidak langsung beserta penentuan ketidakpastiannya ditunjukkan pada Tabel 2. Ketidakpastian periode selanjutnya disebut sebagai ketidakpastian statik.

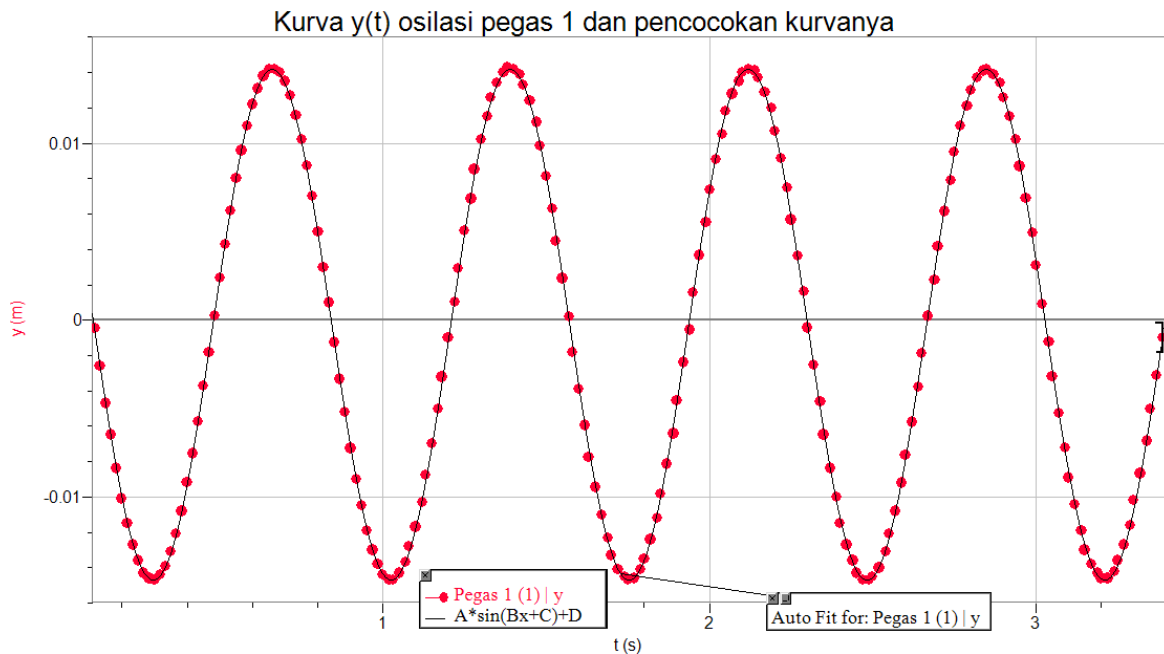
Tabel 2. Data periode hasil pengukuran tidak langsung sebagai fungsi  $m/k$

Percobaan	Massa beban (kg)	Periode (s)	Ketidakpastian massa (kg)	Ketidakpastian periode (s)
Pegas 1	0,1203	0,704	0,00005	0,0029
Seri pegas 1 dan 2	0,2001	1,272	0,00005	0,0058
Paralel pegas 1 dan 2	0,2299	0,682	0,00005	0,0032
Gabungan seri dan paralel	0,2299	0,963	0,00005	0,0034

Pada praktikum Fisika, khususnya di tingkat sekolah menengah, seringkali data ini digunakan sebagai acuan nilai benar pengukuran periode pegas. Konsekuensinya, praktikan kemudian diminta menentukan kesalahan relatif dari data hasil pengukuran periode yang diperolehnya. Menimbang hasil pengukuran konstanta pegas

yang ternyata harus memperhitungkan massa efektif pegas (fraksi massa pegas yang berkontribusi memberikan gaya tegang tambahan), maka periode hasil pengukuran tidak langsung ini tidak dapat dijadikan acuan nilai benar karena perumusannya juga tidak mengakomodasi massa efektif pegas. Pada praktikum pengukuran periode, kesalahan relatif tidak perlu ditentukan karena pada dasarnya periode sangat bergantung dengan gerak harmonis yang terjadi. Manakala gerak osilasi pegas sudah memenuhi kriteria gerak harmonis sederhana (amplitudo relatif tetap dan hanya bergerak bolak-balik pada 1 garis lurus), maka hasil pengukurannya akurat.

Yang menjadi penentu kualitas pengukuran kemudian adalah sensitifitas alat ukur yang digunakan. Bila praktikan menggunakan *stopwatch*, maka ketidakpastian relatifnya bernilai lebih dari 5-10%. Sebaliknya, bila digunakan metode atau instrumen lain seperti sensor gerak atau video digital untuk menentukan periodenya, maka ketidakpastian yang diperoleh bernilai kecil. Sementara itu, pada percobaan dinamik, periode diukur berdasarkan rekaman digital gerak harmonik benda yang kurva posisinya ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Contoh kurva posisi partikel yang berosilasi bersama pegas, dicocokkan dengan perangkat Logger Pro.

Untuk melakukan pencocokkan, dipilih fungsi sinusoidal seperti pada Persamaan (19) sebagai acuan. Dari data frekuensi sudut yang diperoleh dari konstanta  $B$  kurva pencocokan ini, periode osilasi pegas ditentukan dan ditampilkan pada Tabel 3. Selain itu, dicoba pula penentuan periode osilasi pegas dari selang waktu puncak ke puncak kurva sinusoidal yang dihasilkan. Dari 3 kali perulangan, periode ini kemudian dicari reratanya. Ketidaktastiannya ditentukan dari nilai standar deviasi atau ukuran penyebaran 3 data dari nilai reratanya. Ketidaktastian metode dinamik ini ditunjukkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Periode gerak osilasi sederhana ditentukan dari kurva pencocokan data simpangan vs waktu

Percobaan	Perhitungan $k$ efektif (N/m)	DINAMIK			
		Pencocokan Kurva		Selang waktu puncak puncak	
		Periode (s)	Ketidaktastian (s)	Periode (s)	Ketidaktastian (s)
Pegas 1	9,58	0,729	0,0002	0,728	0,0100
Seri pegas 1 dan 2	4,88	1,200	0,2000	1,200	0,2000
Paralel pegas 1 dan 2	19,50	0,709	0,0006	0,710	0,0009
Gabungan seri dan paralel	9,80	1,030	0,0003	1,040	0,0400

Berdasarkan tabel di atas, secara umum ketidakpastian hasil pengukuran metode dinamik yang diperoleh dengan metode analisis kurva pencocokan data ini lebih baik daripada metode pengukuran tidak langsung statik maupun metode puncak-puncak. Bahkan, metode puncak-puncak memiliki ketidakpastian yang hampir sama. Ketidaktastian hasil pengukuran tidak langsung lebih besar karena efek propagasi ketidakpastian hasil



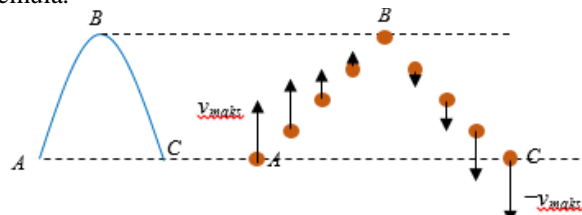
pengukuran konstanta pegas, dan massa beban yang digunakan. Sementara itu, ketidakpastian hasil pengukuran dinamik merupakan standar deviasi dari tiga data yang nilainya berdekatan satu sama lain.

Ketidakpastian penentuan periode dengan pencocokan kurva juga lebih kecil jika dibandingkan dengan pengukuran periode dengan menggunakan selang waktu puncak ke puncak, kecuali untuk data periode percobaan seri pegas 1 dan 2. Nilai yang lebih kecil ini disebabkan oleh titik data yang digunakan (analog dengan banyaknya jumlah percobaan yang dilakukan) pada pencocokan kurva jauh lebih banyak daripada 4 titik data selang waktu puncak-puncak yang digunakan.

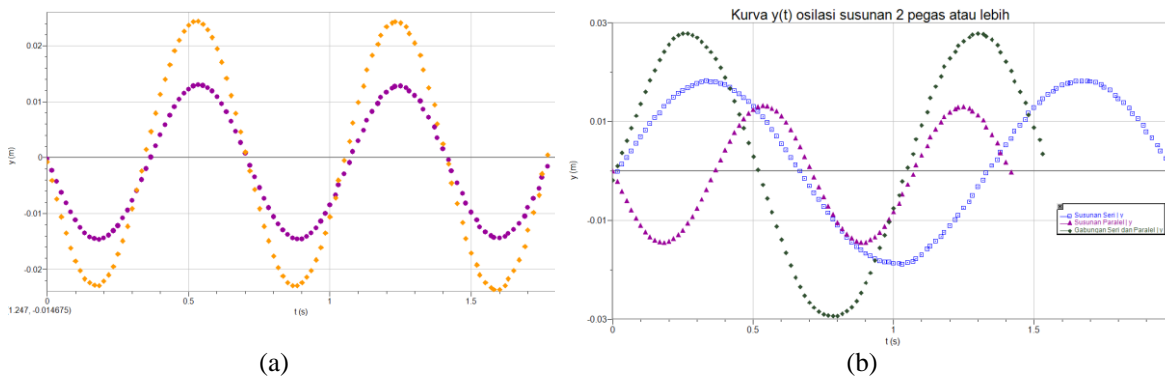
Kasus percobaan seri pegas 1 dan 2 menunjukkan bahwa di antara 3 perulangan yang dilakukan terdapat 1 atau lebih percobaan yang ternyata kurang sesuai dengan kriteria gerak harmonis sederhana. Data ini tetap ditampilkan dalam rangka memberikan contoh pengaruh kesesuaian gerak pegas dengan kriteria teoritis yang dikehendaki sangat berpengaruh pada ketidakpastian pengukurannya.

Selain menunjukkan periode getaran pegas, video digital beserta kurva simpangannya berguna untuk menunjukkan beberapa konsep dasar yang penting dalam pembahasan osilasi pegas yang sederhana, yakni:

4. Dengan membandingkan kurva simpangan dengan video osilasi, guru dapat menunjukkan bahwa periode ialah selang waktu yang dibutuhkan oleh benda untuk kembali ke titik dan fase yang sama dengan posisinya semula.



Gambar 4. Skema partikel yang berada pada 2 titik yang sama dimungkinkan memiliki fase yang berbeda



Gambar 5. (a) Periode osilasi susunan paralel pegas 1 dan 2 untuk 2 amplitudo yang berbeda berharga sama; (b) perbedaan periode osilasi susunan pegas dengan konstanta efektif pegas yang berbeda-beda.

5. Periode osilasi sederhana independen dari amplitudo getaran sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 5. (a). Meskipun amplitudonya berbeda ternyata diperoleh periode yang sama karena keduanya merupakan periode osilasi untuk 2 susunan pegas yang sama.
6. Periode osilasi sederhana berbanding terbalik dengan akar kuadrat konstanta pegas efektifnya. Dari susunan pegas yang digunakan urutan konstanta efektif pegas dari kecil ke besar (Tabel 3) ialah susunan seri pegas 1 dan 2, gabungan susunan seri dan paralel, dan susunan paralel pegas 1 dan 2. Karena periode berbanding terbalik secara kuadratik dengan konstanta efektif pegas, maka periode osilasi susunan paralel bernilai paling kecil. Sementara itu, periode susunan seri pegas 1 dan 2 bernilai paling besar.

## RINGKASAN DAN SARAN

### Ringkasan

Dari hasil penelitian dan analisis yang diberikan, dapat diamati bahwa penentuan periode osilasi dengan pendekatan dinamik tidak perlu dibandingkan dengan penentuan periode yang dihasilkan dari pendekatan statik untuk analisis akurasi. Selain persamaan periode yang digunakan pada pengukuran secara tidak langsung tidak

dapat mengakomodasi massa efektif pegas, ketidakpastian pengukurannya pun lebih besar daripada hasil pengukuran dinamik. Telah disampaikan pula beberapa hal yang perlu ditunjukkan oleh guru pada saat membimbing eksperimen topik ini pada tingkat sekolah menengah atas.

### Saran

Beberapa hal berikut perlu dipertimbangkan dalam pengembangan kualitas percobaan pengukuran periode osilasi sederhana untuk sistem pegas-beban.

7. Memastikan agar gerak osilasi yang terjadi sesuai dengan karakteristik gerak osilasi sederhana.
8. Bila menggunakan video digital untuk menentukan periode, lebih baik perekaman video dimulai pada saat geraknya stabil agar ukuran *video* yang diperoleh tidak terlalu besar.
9. Mencoba menggunakan teknik pengolahan citra lainnya untuk menentukan data periode, seperti teknik *burst-shot*.
10. Untuk praktikum pada tingkat Fisika dasar perguruan tinggi sebaiknya fraksi massa pegas yang berkontribusi memberikan gaya tegang pada pegas mulai disertakan dalam analisis. Dapat pula menggunakan pegas yang digunakan pada kehidupan sehari-hari, seperti pegas motor untuk percobaannya.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih untuk tim pengajar dan asisten Praktikum Fisika serta pengelola Laboratorium Fisika Lantai II BSC-A yang memberi kesempatan pada kami untuk melakukan eksplorasi lebih dalam pada topik ini. Terima kasih pula atas masukan kritis yang diberikan oleh Dr. Novitrian dan Dr. Herman.

### REFERENSI

1. Fatmati C, Prabowo. Pengembangan Alat Praktikum Susunan Pegas dalam Pembelajaran Fisika pada Materi Elastisitas. *J Inov Pendidik Fis*. 2016;05(01):115–9.
2. Alkautsar A, Suprijadi S. Studi Pengukuran Konstanta Pegas dengan Pengolahan Citra. *J Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*. 2014;4(2):65.
3. Tirtasari Y, Latief DFE, Amahoru AH. Penggunaan Teknik Video Tracking Untuk Mengamati Fenomena Osilasi Terredam Pada Pegas. *Pros SNIPS 2016*. 2016;785–94.
4. Tirtasari Y, Latief FDE, Amahoru AH, Azizah N. Validasi Teknik Video Tracking Pada Praktikum Bandul Matematis Untuk Mengukur Percepatan Gravitasi Bumi. *Pros Semin Kontribusi Fis*. 2015;399–406.
5. Arifin P, Kurniasih N, Waris A, Darma Y, Sutini E, Khotimah SN, et al. Modul Praktikum Fisika. Semester I. Bandung: Pengajaran Fisika ITB;
6. Brown D. Tracker Video Analysis and Modeling Tool [Internet]. Tersedia pada: <https://physlets.org/tracker/>