

## EKSPERIMEN GERAK HARMONIK DUA BATANG TERKUNCI SEBAGIAN

Sigit Ristianto<sup>\*1,2</sup> dan Gede Bayu Suparta<sup>\*3</sup>

<sup>1</sup> Program S2 Khusus Departemen Agama Jurusan Fisika FMIPA UGM Yogyakarta

<sup>2</sup> MA Wahid Hasyim Jl. Wahid Hasyim Gatun CC Depok Sleman Yogyakarta

<sup>3</sup> Jurusan Fisika FMIPA UGM Sekip Utara Yogyakarta 55281

\*Email: [gbsuparta@ugm.ac.id](mailto:gbsuparta@ugm.ac.id), [sigit.ristianto@gmail.com](mailto:sigit.ristianto@gmail.com)

### ABSTRAK

Telah dilakukan eksperimen gerak harmonik dua batang terkunci sebagian dengan bantuan teknik perekaman timelapsed. Dua batang pejal masing-masing panjangnya 30 cm disusun sebagai suatu sistem bandul. Pangkal batang pertama dapat bergerak bebas, tetapi pangkal batang kedua terkunci oleh ujung batang pertama. Pengamatan dan pengukuran untuk setiap batang secara bersamaan sulit dilakukan. Untuk itu, pengamatan dilakukan menggunakan teknik perekaman citra secara *timelapsed* dengan interval perekaman antar-citra 50 ms. Dengan teknik image subtraction, posisi titik-titik pengamatan dari waktu ke waktu sebagaimana tampak pada dua citra berturutan yang diperoleh dapat diamati dan diukur. Dengan teknik timelapsed, pola osilasi gerak, simpangan (amplitude), periode, dan frekuensi untuk setiap batang pejal dan sistem batang keseluruhan dapat diamati dan diukur. Dari hasil eksperimen dapat diketahui bahwa periode kedua batang sama yaitu 0,6 s, frekuensi osilasi 1,64 Hz, dan kedua osilasi batang mengalami redaman. Amplitudo positif maksimum kedua batang selalu sama, sebaliknya amplitudo negatif maksimum batang kedua lebih besar daripada amplitudo batang pertama. Amplitudo negatif batang pertama lebih kecil daripada amplitudo positifnya. Sebaliknya, amplitudo negatif batang kedua lebih besar daripada amplitudo positifnya. Eksperimen dengan bantuan teknik perekaman timelapsed memudahkan pemahaman terhadap sistem kompleks seperti dua bandul terkunci sebagian.

**Kata kunci:** gerak harmonik, osilasi, perekaman timelapsed, dua batang terkunci.

### PENDAHULUAN

Gerak osilasi merupakan salah satu topik bahasan dalam pembelajaran Mekanika Klasik. Suatu benda akan mengalami gerak osilasi apabila terdapat gaya pemulih yang mengembalikannya ke posisi keseimbangan saat benda itu diberi gangguan dari luar. Dalam kehidupan sehari-hari contoh gerak osilasi banyak dijumpai seperti nyiur yang melambai-lambai di saat tertiup angin, anak yang bermain ayunan, orang utan yang bergelantungan di pohon, atau langkah kaki dan tangan manusia saat berjalan.

Tiga contoh pertama adalah gerak osilasi yang dilakukan oleh satu massa yaitu nyiur, anak, dan orang utan, sedangkan contoh terakhir adalah gerak osilasi dua massa yaitu lengan dan tangan. Dari pendekatan teoritis pola gerak osilasi satu massa dapat dicari dengan Hukum Newton<sup>[1]</sup>, sedangkan pola gerak dua massa dapat dicari dengan Persamaan Lagrange<sup>[2]</sup>. Namun demikian upaya pembuktian secara eksperimen terhadap hasil teoritis tersebut cenderung memiliki kesulitan tersendiri. Pertama, penentuan posisi sudut dari waktu ke waktu tidak dapat dilakukan dengan pengamatan manual. Yang dapat dilakukan adalah mengukur amplitudo awal dan periode osilasinya. Amplitudo dapat diukur langsung pada saat  $t=0$ . Periode dapat diukur secara pendekatan dengan *stopwatch*<sup>[3]</sup> dengan cara menghitung waktu yang diperlukan untuk satu kali ayunan. Akan tetapi posisi sudut dari waktu ke waktu ketika benda berayun tidak dapat diukur. Kedua, jika gerak osilasi dilakukan oleh dua benda yang dirangkai menjadi satu, perhitungan periode kedua benda itu menjadi sulit dilakukan. Hal ini dikarenakan gerak dua benda harus diamati dalam waktu bersamaan.

Sebagai contoh adalah gerak osilasi yang dilakukan oleh sistem dua batang terkunci sebagian. Pada sistem ini batang atas bebas berayun ke kanan maupun ke kiri, sedangkan batang bawah hanya dapat bergerak bebas jika posisi sudutnya kurang dari atau sama dengan posisi sudut batang atas ( $\theta_{\text{bawah}} \leq \theta_{\text{atas}}$ ). Untuk memperoleh pola gerak osilasi kedua batang ini sulit dilakukan secara manual. Di sisi lain secara teoritis penyelesaian gerak osilasi sistem ini melibatkan fungsi diskontinu akibat adanya pembatas. Adanya diskontinuitas fungsi ini mengakibatkan pola gerak osilasi batang atas dan bawah akan saling mempengaruhi.

Berdasarkan kesulitan-kesulitan yang dijumpai dalam eksperimen pengamatan gerak osilasi tersebut peneliti bermaksud mengembangkan metode eksperimen pengamatan gerak osilasi berbasis citra *timelapsed*<sup>41</sup>. Dengan perangkat perekaman citra *timelapsed* diharapkan dapat diperoleh posisi dari waktu ke waktu sehingga semua besaran-besaran gerak osilasi dapat diketahui.

Makalah ini memaparkan hasil kajian awal pola gerak osilasi dua batang terkunci sebagian dan informasi fisis yang dapat diperoleh dari pola gerak itu, seperti simpangan dan periode, berdasarkan informasi yang diperoleh dari runtun citra hasil rekaman *timelapsed*. Untuk tujuan penyederhanaan analisis, pada penelitian ini diasumsikan bahwa gaya gravitasi dianggap konstan, sedangkan parameter seperti gesekan pada poros, lebar batang, ketebalan batang, dan gesekan udara diabaikan.

### METODE PENELITIAN

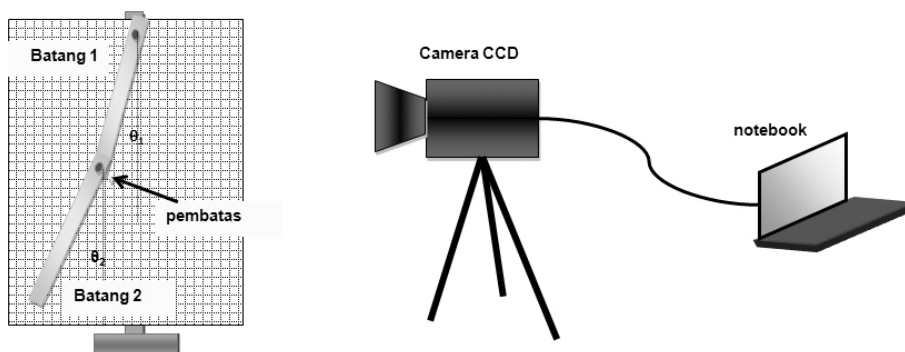
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat kamera CCD, video capturer *EasyCaps*<sup>TM</sup> yang mampu menangkap citra video color/greylevel dengan resolusi 640 x 480, notebook yang sudah diinstalasi software perekaman *timelapsed*, dua buah batang besi masing-masing berukuran 30 cm, statif, gabus dan kertas millimeter.

Tata cara pengambilan data hingga analisis disusun seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Tata cara penelitian

Rancangan alat dan bahan ditunjukkan seperti pada Gambar 2.



Gambar 2 Set-up alat dan bahan

Set-up bahan ditunjukkan pada gambar 2a yaitu berupa sistem gerak osilasi dua batang pejal terkunci sebagian. Batang 1 memiliki panjang  $l_1$  dan massa  $m_1$  sedangkan batang 2 memiliki

panjang  $l_2$  dan massa  $m_2$ . Pada batang 1 terdapat pembatas pada sisi kanan bagian bawah sehingga gerak batang 2 terbatas. Dengan demikian pada saat kedua batang berayun ke kiri, batang 2 dapat berayun bebas. Sedangkan pada saat kedua batang berayun ke kanan, batang 2 hanya dapat membentuk sudut maksimum sama dengan sudut batang pertama ( $\theta_{2\text{maks}} = \theta_1$ ).

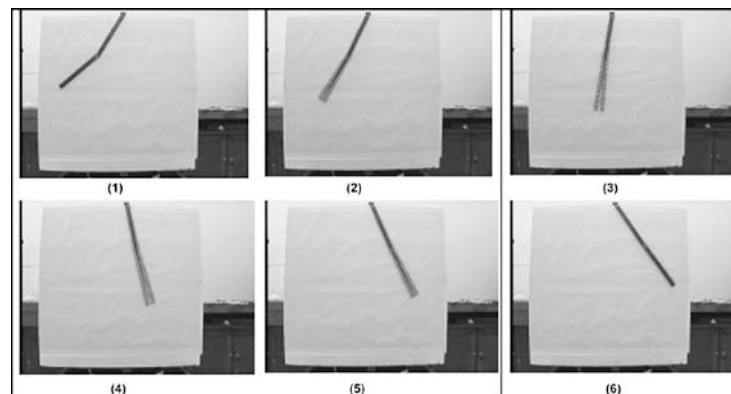
Adapun set-up alat berupa kamera yang dihubungkan dengan notebook yang telah diinstalasi ditunjukkan pada gambar 2b. Kamera diatur sedemikian rupa sehingga diperoleh citra yang fokus pada kedua batang.

Setelah alat dan bahan siap, pengamatan dan perekaman data dengan imelapsed dilakukan. Dalam proses perekaman ini dilakukan dua penyetelan yaitu menentukan selang waktu pemotretan dan jumlah citra yang direkam. Dalam penelitian ini dipilih selang waktu pemotretan 50 ms dan jumlah citra yang diambil sebanyak 50 citra. Citra-citra hasil rekaman disimpan sebagai citra RGB (24 bit) dalam format bitmap .BMP dengan resolusi 640 x 480.

Setelah semua citra yang diperoleh disimpan, proses analisis semua citra yang telah dihasilkan dilakukan. Image analysis ini dilakukan dengan cara mengukur posisi sudut batang 1 dan batang 2 pada semua citra yang dihasilkan dengan memanfaatkan *tools measurement* pada *software* GIMP. Berdasarkan data yang diperoleh, dilakukan plotting posisi sudut batang 1 dan batang 2 sebagai fungsi waktu sehingga diperoleh pola osilasinya. Berdasarkan pola osilasi itu, periode dan amplitude dapat ditentukan.

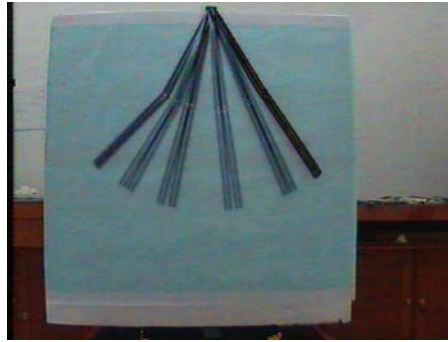
### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada Gambar 3 ditunjukkan 6 cuplikan citra dari 50 citra yang diperoleh. Citra-citra yang diambil sebagai sampel itu adalah citra ke-37, ke-39, ke-41, ke-43 dan ke-45. Secara teori, kedua citra itu berselang 100 ms.



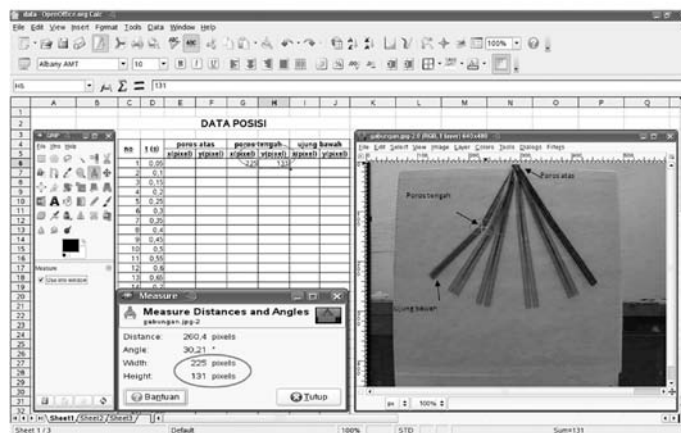
Gambar 3 Hasil citra timelapsed

Selanjutnya untuk memperoleh citra yang menggambarkan perubahan posisi dari waktu ke waktu dari ke-enam citra tersebut dilakukan operasi *difference* dengan *software* GIMP. Operasi ini akan menggabungkan ke enam gambar tersebut sehingga diperoleh gabungan citra seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 Gabungan citra saat kedua batang berayun 0,5 T

Dari citra ini kemudian ditentukan posisi pixel poros atas, poros tengah, dan ujung bawah dengan memanfaatkan *tools measurment* pada *software GIMP*. Data posisi ketiga titik tersebut kemudian dicatat dalam *software OpenOffice.org calc* seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



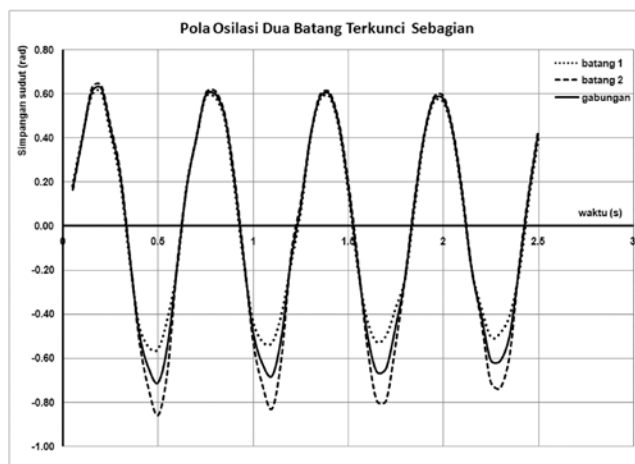
Gambar 5. Tampilan proses image analysis

Setelah posisi pixel poros atas( $x_a, y_a$ ), poros tengah( $x_t, y_t$ ), dan ujung bawah( $x_b, y_b$ ) diketahui maka posisi sudut batang atas dan batang bawah dapat diketahui dengan rumus

$$\theta_1 = \tan^{-1}((x_t - x_a) / (y_t - y_a))$$

$$\theta_2 = \tan^{-1}((x_b - x_t) / (y_b - y_t)).$$

Langkah terakhir yaitu menyajikan semua data yang diperoleh dalam bentuk grafik posisi sudut terhadap waktu. Data posisi sudut batang 1 dan batang 2 yang didapatkan dari 50 citra yang diperoleh jika ditampilkan dalam bentuk grafik akan tampak seperti Gambar 6.



Gambar 6 Grafik posisi sudut batang 1 dan batang 2

Berdasarkan Gambar 6, periode, frekuensi dan amplitude setiap batang dan gabungannya dapat dihitung. Terlihat bahwa batang satu dan batang dua berimpit pada saat di titik-titik setimbang yaitu pada saat simpangan sudut nol. Selama waktu 2,5 s diperoleh 4.1 osilasi sehingga periode rata-rata osilasi semua batang adalah 0.6 s dan frekuensinya dapat dihitung sebesar 1.64 Hz.

Tampak juga bahwa pada saat simpangan positif, amplitudo batang 1 dan 2 selalu sama. Dengan demikian saat simpangan sudut positif batang 2 selalu maksimum yaitu ( $\theta_{2\text{mak}} = \theta_1$ ). Jika tidak ada penghalang maka posisi sudut batang 2 dapat menyimpang lebih besar dari posisi sudut batang 1. Sedangkan pada saat simpangan negatif tampak bahwa amplitudo batang 2 lebih negatif dibanding batang 1.

Pola gerak yang diperoleh juga menunjukkan bahwa amplitudo kedua batang berangsur-angsur mengecil. Penyusutan amplitudo ini disebut faktor peredaman. Peredaman dapat terjadi akibat gaya gravitasi, gesekan udara maupun gesekan antar poros. Dengan demikian untuk kasus osilasi dua batang terkunci ini tidak berlaku hukum konservasi gaya.

Berdasarkan pengalaman dalam penelitian ini tampak bahwa teknik perekaman timelapsed dapat digunakan untuk membantu meningkatkan pemahaman terhadap teori tentang gejala fisika yang kompleks, memahami aspek Fisika Terapan secara umum dan Fisika Pendidikan khususnya. Secara khusus, teknik perekaman timelapsed dapat digunakan untuk mendukung eksperimen gerak osilasi dua batang terkunci sebagian. Kumpulan citra digital yang dapat disimpan sebagai fungsi waktu dapat dilihat dan dianalisis sewaktu-waktu, sehingga memudahkan peserta didik memahami gerak harmonik khususnya dua bandul terkunci sebagian.

## KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan yang dilakukan, dengan bantuan teknik perekaman timelapsed, yang diikuti dengan analisis pola gerak osilasi yang diperoleh, periode dan frekuensi osilasi gerak dapat diukur. Untuk kasus ini, kedua batang memiliki periode dan frekuensi sama, secara yaiberturutan 0.6 s dan 1,64 Hz. Pada saat ampitudo positif, amplitudo maksimum batang 1 dan 2 selalu sama, sedangkan ketika ampitudo negatif, amplitudo batang 2 lebih kecil dari batang 1. Efek peredaman pada sistem dua batang terkunci sebagian juga teramati.

Teknik perekaman citra timelapsed dapat digunakan sebagai salah satu media penunjang eksperimen gejala fisika sebagai fungsi waktu yang kompleks, seperti gerak osilasi lebih dari satu benda. Untuk menyempurnakan proses eksperimen lanjut, faktor pencahayaan dan resolusi citra perlu dipertimbangkan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Program S2 Fisika Departemen Agama, sehingga penulis pertama mendapat kesempatan meningkatkan pengetahuan di Jurusan Fisika FMIPA UGM. Terima kasih juga disampaikan kepada Sdr. Sri Lestari, S.Si. dan Sdr. Wayan Sutrisna, S.T. dari Grup Riset Fisika Citra FMIPA UGM atas bantuan teknisnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Budiantoro N, 2004. "Pembuatan Hardware Software Untuk Menampilkan dan Mengolah Data Simpangan Bandul Fisis Guna Menentukan Besaran Gravitasi", *Skripsi-S1*, FMIPA Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- [2]. Goldstein H, 1981. *Classical Mechanics*, 2<sup>nd</sup>-ed, Addison-Wesley Pub. Co, London.
- [3]. Purwadi B, Sulistya E, Wagini, Sunarta, Partini Y, Murdoko B, 1997. *Panduan Praktikum Fisika Dasar di Universitas Gadjah Mada*, FMIPA, UGM, Yogyakarta
- [4]. Suparta G B, Perwitasari S dan Nugroho W, 2008. "Pemanfaatan teknik perekaman *timelapsed* pada pencitraan mikroskop digital", *Paper*, Simposium Fisika Nasional XXII - Gorontalo, 14-16 Oktober 2008.