

Validasi Teknik Video Tracking Pada Praktikum Bandul Matematis Untuk Mengukur Percepatan Gravitasi Bumi

Yeni Tirtasari^{1,a)}, Fourier Dzar Eljabbar Latief^{2,b)}, Abd. Haji Amahoru^{1,c)} dan Nadia Azizah^{1,d)}

¹Laboratorium Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

²Laboratorium Fisika Bumi,
Kelompok Keilmuan Fisika Bumi dan Sistem Kompleks,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

a) yn.tirtasari@gmail.com (corresponding author)

b) fourier@fi.itb.ac.id

c) aji14amahoru@gmail.com

d) nadia.kh.18@gmail.com

Abstrak

Praktikum atau percobaan adalah kegiatan pembelajaran yang bertujuan agar mahasiswa mendapat kesempatan untuk menguji, mengaplikasikan teori dan melakukan pembuktian ilmiah pada bidang ilmu tertentu. Pada ilmu fisika, salah satu sub topik yang banyak memanfaatkan pendekatan praktikum adalah kinematika. Hal ini akan membantu memudahkan pemahaman pada berbagai konsep kinematika. Berbagai peralatan praktikum telah banyak tersedia mulai dari yang menggunakan alat sederhana hingga menggunakan alat-alat canggih. Saat ini pemanfaatan teknologi sensor pada praktikum fisika dianggap sangat penting karena pengamatan dengan mata saja belum tentu mendapatkan hasil yang akurat dan presisi. Dengan berkembangnya teknologi saat ini, berbagai alternatif perangkat praktikum dapat dengan mudah dikembangkan dan dibuat lebih menarik. Salah satu teknologi yang dapat dimanfaatkan adalah video tracking dengan menggunakan aplikasi Tracker. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan validasi teknik video tracking yang digunakan untuk mengukur percepatan gravitasi bumi menggunakan perangkat bandul matematis. Percobaan dilakukan dengan bervariasi panjang tali ($L_1=20$ cm, $L_2=40$ cm, $L_3=60$ cm dan $L_4=80$ cm), massa bandul ($m_1=265,3$ g dan $m_2=14,9$ g), dan sudut simpangan awal ($\theta_1=5^\circ$ dan $\theta_2=10^\circ$). Pada praktikum ini periode ayunan bandul diukur menggunakan kamera dengan mode kecepatan $K_1=25$ fps dan $K_2=120$ fps. Selain itu periode juga diukur dengan menggunakan sensor sebagai data pembanding. Hasil percobaan menunjukkan bahwa nilai percepatan gravitasi yang dihitung dari data sensor dan video tracking memiliki kemiripan. Hasil percepatan gravitasi rata-rata dengan sensor adalah $(9,6227 \pm 0,0052)$ m/s², video 25 fps $(9,6424 \pm 0,0052)$ m/s² dan video 120 fps $(9,6188 \pm 0,0052)$ m/s² dan tetapan percepatan gravitasi referensi adalah $(9,7800 \pm 0,0051)$ m/s². Diperoleh juga nilai percepatan gravitasi dengan nilai rata-rata error terkecil adalah dari video tracking dengan 25 fps $(1,406 \pm 0,032)$, dengan massa benda 265,3 g dan sudut simpangan 5° . Berdasarkan analisis yang sudah dilakukan maka teknik video tracking dapat dikatakan valid.

Kata-kata kunci: Kinematika, bandul matematis, video tracking, percepatan gravitasi bumi

PENDAHULUAN

Pembelajaran sains pada fisika sangat erat kaitannya dengan pengamatan yang dapat dilakukan dalam suatu percobaan atau praktikum. Praktikum merupakan kegiatan pembelajaran yang bertujuan agar mahasiswa mendapat kesempatan untuk menguji, mengaplikasikan teori dan pembuktian ilmiah pada matakuliah atau bagian matakuliah tertentu [1].

Pada pembelajaran fisika dasar, khususnya teori kinematika, telah banyak dirancang praktikum untuk memudahkan pemahaman pada teori tersebut, mulai dari praktikum yang menggunakan alat sederhana hingga praktikum yang menggunakan alat-alat canggih. Perekaman praktikum berupa video dapat dianggap sangat menarik dan masih jarang dilakukan. Salah satu teknik yang dapat digunakan untuk menganalisis perekaman video pada suatu praktikum adalah teknik *video tacking*. Teknik *video tacking* dapat dilakukan dengan bantuan aplikasi Tracker. Tracker adalah perangkat analisis video dan pemodelan gratis yang dibangun dalam kerangka *Open Source Physics* (OSP) Java [2]. Perekaman praktikum berupa video diharapkan dapat membantu dalam menganalisis praktikum secara berulang-ulang dan berkelanjutan. Sebagai tahap pengembangan, penelitian ini bertujuan melakukan validasi pada teknik *video tracking* yang diterapkan dalam pengukuran percepatan gravitasi bumi menggunakan bandul matematis.

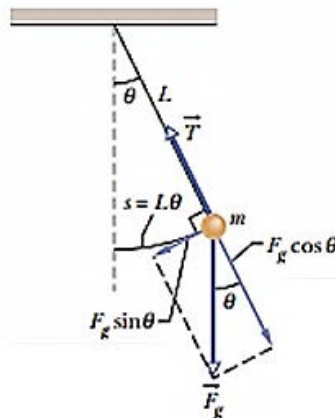
OSILASI HARMONIK SEDERHANA DAN BANDUL MATEMATIS

Osilasi Harmonik Sederhana (OHS)

Gerak yang terjadi secara berulang dalam selang waktu yang sama disebut gerak periodik. Apabila suatu partikel melakukan gerak periodik pada lintasan yang sama maka geraknya disebut gerak osilasi atau getaran. Bentuk yang sederhana dari gerak periodik adalah benda yang berosilasi pada ujung pegas. Pergerakan partikel yang berosilasi selalu dapat dinyatakan dalam fungsi sinus dan cosinus. Karena pernyataan yang memuat fungsi ini diberi istilah harmonik, maka gerak periodik sering disebut sebagai gerak harmonik [3].

Bandul Matematis

Bandul matematis merupakan sistem dinamika yang tersusun atas sebuah beban yang dianggap benda titik yang tergantung pada seutas tali yang massanya dapat diabaikan dan tidak mulur. Beban pada bandul ini bergerak bolak balik pada lintasan busur lingkaran terhadap suatu titik kesetimbangan tertentu. Gambar 1 menunjukkan gaya-gaya yang bekerja pada beban dalam komponen tangensial dan radial.



Gambar 1. Arah gaya-gaya yang bekerja pada bandul matematis [3].

Gaya pemulih F adalah komponen tangensial dari gaya berat yang bekerja pada beban, yang dinyatakan sebagai

$$F = -mg \sin \theta \quad (1)$$

dengan m adalah massa benda (kg) dan g merupakan percepatan gravitasi bumi (m/s^2)

Gaya pemulih F adalah komponen radial dari gaya berat yang bekerja pada beban, yang dinyatakan sebagai

$$F = mg \cos \theta \quad (2)$$

Gaya pemulih F yang diberikan oleh gaya gravitasi pada beban membuat beban bergerak dalam lintasan berupa panjang busur lingkaran s , L adalah panjang tali (m) dan θ (rad) sudut yang terbentuk sehingga

$$s = L\theta \quad (3)$$

Persamaan (1) menunjukkan bahwa gaya pemulih berbanding lurus dengan $\sin \theta$ [4]. Untuk sudut yang cukup kecil, seperti ditunjukkan pada Gambar 1, maka berlaku

$$F = -mg \sin \theta \approx -mg \frac{s}{L} \quad (4)$$

Dengan θ merupakan besar dari panjang busur lingkaran dibagi dengan panjang tali. Selanjutnya, dengan menganalisis Hukum II Newton dan gaya pemulih pada Persamaan (4), maka diperoleh hubungan antara periode T (s) dengan percepatan gravitasi bumi g yaitu

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (5)$$

Dari Persamaan (5) dapat diperoleh perumusan percepatan gravitasi bumi sebagai berikut:

$$g = 4\pi^2 \frac{L}{T^2} \quad (6)$$

Bandul matematis telah lama digunakan untuk menghitung nilai percepatan gravitasi mutlak disuatu titik dipermukaan bumi. Pengukuran ini didasarkan pada pengukuran periode ayunan bandul matematis sebagai fungsi panjang tali. Pengukuran gravitasi mutlak dengan bandul matematis dapat dilakukan dengan teliti jika pengukuran waktu juga sangat teliti [5].

METODE PENELITIAN

Pengambilan data mulai dilaksanakan pada bulan September 2015 sampai Oktober 2015. Tempat pengambilan data berada di lantai dua Laboratorium Fisika Dasar (lihat Gambar 2), FMIPA, Gedung Comlabs, Institut Teknologi Bandung (ITB).



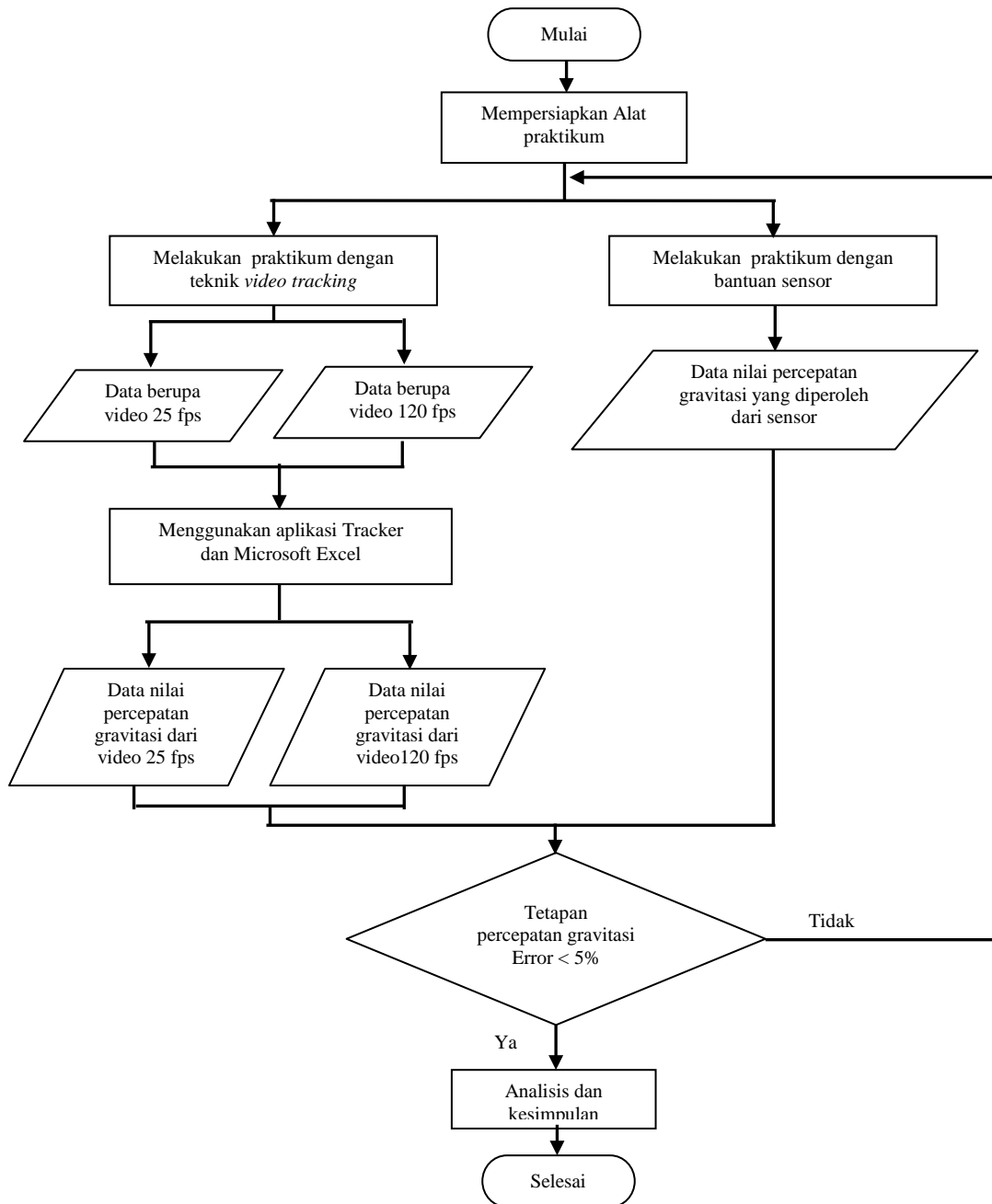
Gambar 2. Rangkaian alat praktikum bandul matematis yang terdiri atas statif, set bandul, sensor dan PC, serta dua buah kamera video.

Metode yang digunakan pada praktikum ini yaitu *video tracking* dengan memanfaatkan aplikasi Tracker. Tracker merupakan aplikasi yang dapat digunakan untuk menganalisis gambar dan video [2]. Fitur utama yang dimiliki oleh Tracker terkait analisis kinematika adalah pelacakan posisi terhadap waktu, perhitungan dan representasi grafis untuk kecepatan, percepatan, dan besaran kinematika lainnya. Tracker dilengkapi juga dengan filter efek khusus, fitur untuk menetapkan kerangka acuan dan titik kalibrasi. Tracker mampu menyajikan gejala fisika secara nyata beserta representasinya baik berupa data kuantitatif maupun grafiknya secara simultan. Dalam penggunaannya Tracker memerlukan beberapa aplikasi pendukung yaitu Java (untuk dapat menampilkan grafik yang dihasilkan dari gerak benda), *Quick Time* (untuk menghitung waktu tiap frame), *video converter* (untuk mengkonversi video sebelum diimport ke dalam program Tracker), *Video for Windows* (untuk menampilkan video). Gerak benda yang telah direkam dengan video kemudian diimport ke dalam program Tracker untuk dianalisis lebih lanjut. Hasil pelacakan yang diperoleh dari analisis yang dilakukan adalah data dua dimensi objek dalam video yaitu posisi dan waktu [6].

Sebagai data pembanding, dalam praktikum ini juga digunakan alat bantu berupa sensor dengan aplikasi pendukung *Logger Pro* [7]. Sensor berfungsi mendeteksi ayunan bandul yang berkorelasi dengan periode

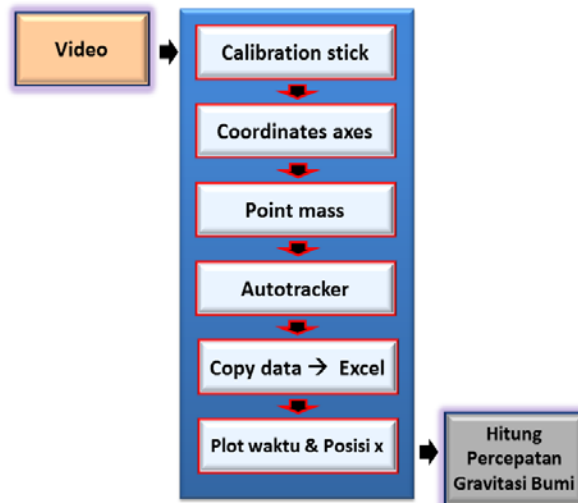
gerak harmonik yang dialami sistem bandul. Perhitungan data-data yang tercatat dilakukan dengan cara manual menggunakan bantuan perangkat lunak *spreadsheet* Microsoft Excel.

Adapun langkah kerja pada praktikum ini dapat dilihat dalam bentuk diagram alir secara sederhana dan singkat, yaitu sebagai berikut:



Gambar 3. Diagram alir praktikum.

Praktikum ini memanfaatkan mode *frame rate* dinyatakan dalam frame per detik (*frame per second*, fps) perekaman video yang berbeda. *Frame rate* diterjemahkan sebagai bingkai frekuensi, yaitu frekuensi (tingkat) dimana perangkat pencitraan menampilkan gambar berturut-turut disebut *frame* [8]. Gambar 4 merupakan langkah kerja pengolahan pada teknik *video tracking* yang diterapkan pada setiap mode *frame rate* yang digunakan. Kamera digital yang digunakan yaitu Casio Exilim EX-ZR200 yang memiliki mode perekaman 120 fps dan Canon Poweshot sx170 IS yang memiliki mode perekaman 25 fps. Adapun variasi variabel yang digunakan pada praktikum ini dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.



Gambar 4. Diagram blok cara kerja pengolahan dengan teknik *video tracking*.

Tabel 1. Variasi panjang tali yang digunakan menggantung beban.

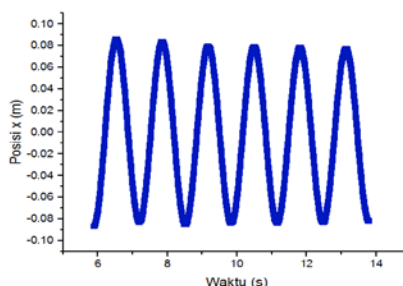
No.	Panjang tali	
1	20 cm	0.2 m
2	40 cm	0.4 m
3	60 cm	0.6 m
4	80 cm	0.8 m

Tabel 2. Variasi massa beban.

No.	Massa benda
1	265.3 gram
2	14.9 gram

HASIL PENELITIAN DAN ANALISIS

Dari hasil analisis rekaman video menggunakan Tracker, diperoleh data berupa posisi dan waktu yang kemudian dapat diplot dalam bentuk grafik (lihat contoh pada Gambar 5). Dari grafik pada Gambar 5, maka periode gerak osilasi harmonik dari sistem bandul matematis tersebut dapat diperoleh. Periode diperoleh dengan menghitung waktu antara dua puncak berurutan atau dua lembah berurutan ataupun dua buah titik dengan beda fasa sebesar 2π (satu gelombang penuh). Persamaan (6) kemudian digunakan untuk memperoleh nilai percepatan gravitasi. Untuk pencatatan menggunakan sensor sebagai data pembanding, digunakan perangkat *Logger Pro* akan menghitung percepatan gravitasi yang bersesuaian dengan periode yang tercatat [7].

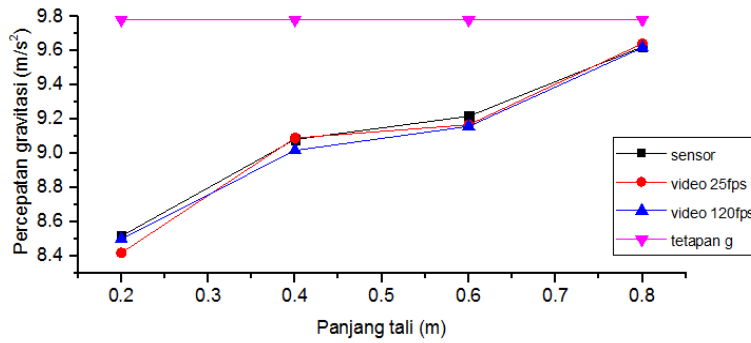


Gambar 5. Contoh grafik simpangan terhadap waktu.

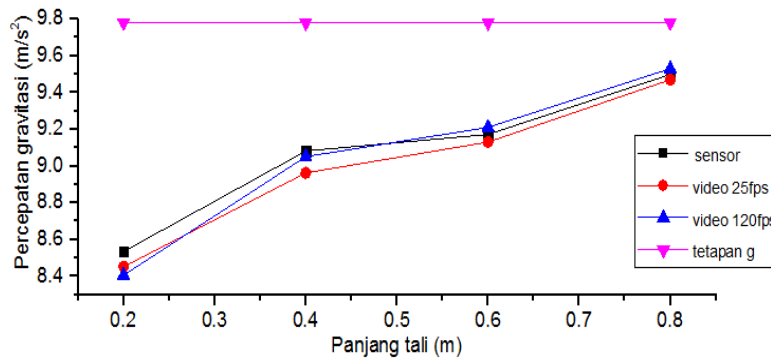
Pada praktikum ini, gerak bandul merupakan gerak bolak-balik dalam satu bidang 2 dimensi. Perekaman video dilakukan dari arah yang sejajar yaitu pada bagian depan statif dan bandul. Untuk memastikan pergerakan bandul tetap pada satu bidang 2 dimensi dilakukan perekaman video dari arah yang tegak lurus posisi bandul yaitu bagian atas atau bawah, dan dari arah samping yang sejajar statif dan posisi bandul. Perekaman dari bagian atas atau bawah dan juga bagian samping menunjukkan gerak yang jika dianalisis

tidak sepenuhnya 2 dimensi (adanya simpangan pada arah dimensi ke 3). Namun demikian, simpangan pada arah dimensi ke 3 ini cukup kecil sehingga dapat diabaikan. Sehingga praktikum ini hanya melakukan perekaman video dari bagian depan statif dan bandul.

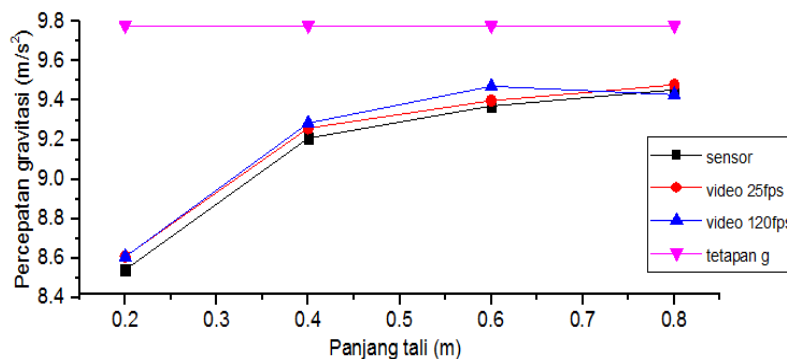
Hasil perhitungan percepatan gravitasi bumi dengan menggunakan sensor dan teknik *video tracking* dengan variasi parameter yang digunakan pada Tabel 1 dan Tabel 2 ditunjukkan pada Gambar 6-9 berikut. Gambar 6-9 menunjukkan hasil perhitungan rata-rata percepatan gravitasi (dihitung dari masing-masing 3 percobaan) terhadap perubahan panjang tali untuk beban bermassa m_1 dan m_2 , sudut awal simpangan sebesar θ_1 dan θ_2 .



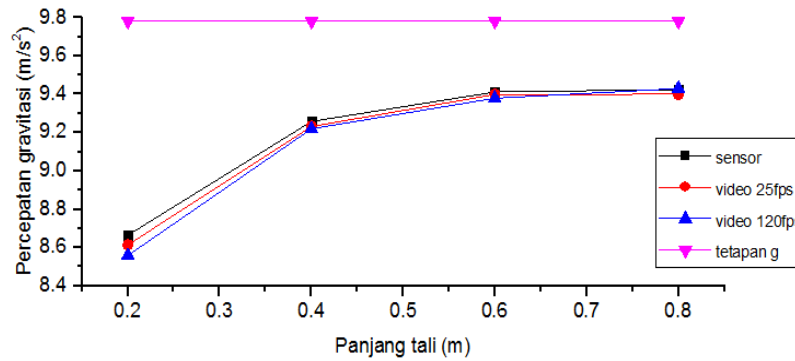
Gambar 6. Grafik rata-rata percepatan gravitasi terhadap perubahan panjang tali ($m_1 = 265,3$ gram, $\theta_1 = 5^\circ$).



Gambar 7. Grafik rata-rata percepatan gravitasi terhadap perubahan panjang tali ($m_1 = 265,3$ gram, $\theta_2 = 10^\circ$).



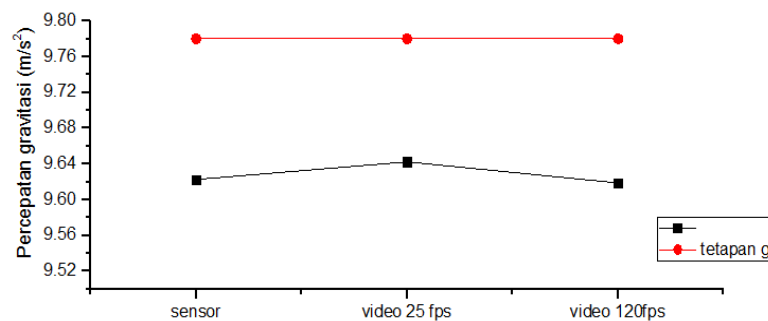
Gambar 8. Grafik rata-rata percepatan gravitasi terhadap perubahan panjang tali ($m_2 = 14,9$ gram, $\theta_1 = 5^\circ$).



Gambar 9. Grafik rata-rata percepatan gravitasi terhadap perubahan panjang tali ($m_2 = 14,9$ gram, $\theta_2 = 10^\circ$).

Dari grafik pada Gambar 6, Gambar 7, Gambar 8, dan Gambar 9 dapat dilihat bahwa nilai rata-rata percepatan gravitasi yang dihasilkan oleh sensor dengan *frame rate* video 25 fps dan 120 fps memperlihatkan kemiripan untuk perbedaan panjang tali yang digunakan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa semakin besar ukuran panjang tali, nilai percepatan gravitasi yang terhitung mendekati nilai tetapan percepatan gravitasi acuan di Laboratorium Fisika Dasar ITB yaitu $9,78 \text{ m/s}^2$ [7]. Namun, pada praktikum ini tidak dapat menggunakan panjang tali melebihi 0.8 m dikarenakan keterbatasan gerak bandul. Jika semakin besar panjang busur yang terbentuk maka gerak bolak-balik bandul akan bersentukan dengan sensor, sehingga mempengaruhi periodenya. Analisis pada data hasil penggunaan massa yang berbeda dan sudut simpangan awal yang berbeda juga menunjukkan bahwa massa yang besar dan sudut simpangan kecil akan menghasilkan perhitungan nilai percepatan gravitasi yang mendekati tetapan acuan.

Nilai error diperoleh dengan menggunakan cara statik yaitu perhitungan persentase selisih dari nilai acuan dan nilai terukur dibagi dengan nilai acuan. Dari analisis seluruh data perhitungan percepatan gravitasi yang dilakukan, nilai error terkecil diperoleh pada penggunaan massa 265,3 gram, sudut simpangan 5° dan panjang tali 0,8 m. Data ini digunakan sebagai acuan penentuan validasi pada praktikum ini. Perbedaan hasil dari penggunaan sensor dan teknik *video tracking* dapat dilihat pada grafik dalam Gambar 10.



Gambar 10. Grafik rata-rata percepatan gravitasi yang dihasilkan sensor dan teknik *video tracking*.

Gambar 10 menunjukkan hasil nilai rata-rata percepatan gravitasi dengan teknik *video tracking* menggunakan video 25 fps yang memberikan nilai yang lebih mendekati tetapan percepatan gravitasi. Sedangkan penggunaan video 120 fps memberikan hasil yang tidak berbeda jauh dengan hasil dari penggunaan sensor. Hal tersebut berkaitan dengan kamera *high speed* yang digunakan. Untuk analisis pada penggunaan *frame rate*, semestinya *frame rate* yang tinggi akan menghasilkan *frame* yang banyak pula, ini menandakan bahwa pergerakan benda tiap satu detiknya akan terlacak dengan lebih akurat dan pergerakan benda semakin jelas terlihat. Namun kendala yang terjadi pada praktikum ini yaitu adanya *missing frames* pada penggunaan perekaman video 120 fps sehingga tidak semua data yang diperoleh memenuhi syarat kualitas data yang baik. Hal tersebut menghasilkan data yang tidak dapat dianalisis dan harus melakukan pengulangan pengambilan data berikutnya. Selain itu, pada tahapan *autotrack* oleh perangkat Tracker, pelacakan pada objek yang telah ditentukan sering menghasilkan pergeseran akibat kualitas citra objek terlacak yang tidak konstan.

KESIMPULAN

Hasil praktikum menunjukkan bahwa nilai percepatan gravitasi yang dihitung berdasarkan data sensor ($9,6227 \pm 0,0052$) m/s^2 , video 25 fps ($9,6424 \pm 0,0052$) m/s^2 dan video 120 fps ($9,6188 \pm 0,0052$) m/s^2 dan tetapan percepatan gravitasi referensi adalah ($9,7800 \pm 0,0051$) m/s^2 . Diperoleh juga nilai percepatan gravitasi dengan nilai rata-rata error terkecil pada penggunaan video 25 fps ($1,406 \pm 0,032$) %, dengan massa benda 265,3 g, sudut simpangan 5° . Maka dapat disimpulkan, berdasarkan analisis yang sudah dilakukan maka teknik *video tracking* menggunakan aplikasi Tracker untuk mengukur percepatan gravitasi bumi pada praktikum bandul matematis dapat dikatakan valid dan video dengan 25 fps cukup baik untuk digunakan pada teknik *video tracking*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan fasilitas alat dan tempat dari Laboratorium Fisika Dasar ITB pada pelaksanaan praktikum ini.

REFERENSI

1. Eureka Pendidikan. (2015, Oktober 2). Retrieved Desember 1, 2015, from Metoda Pembelajaran Praktikum: <http://www.eurekapedidikan.com/2015/10/metode-pembelajaran-praktikum.html>
2. Douglas, B. (2015). "Computer program". Retrieved November 8, 2015, from OSP (Open Source Physics): <http://www.opensourcephysics.org/items/detail.cfm?ID=7365>
3. Halliday, R. In P. S. Sucripto. Fisika (p. 442). Jakarta: Penerbit Erlangga. (2007).
4. H. D. Young, R. A. Fisika Universitas. Jakarta: Penerbit Erlangga. (2002).
5. Bakti, S. *Desain Instrumen Elektronik Untuk Mengukur Gravitasi Mutlak Dengan Prinsip Bandul Matematis*. Mataram: Gravity. (2007).
6. Riswanto. (2013, July 4). *TIK Dalam Pembelajaran*. Retrieved Desember 6, 2015, from Blogspot.com: http://riswantouad.blogspot.co.id/2013/07/tik-dalam-pembelajaran_5199.html
7. Hendro & dkk. *Modul Eksperimen Fisika dasar I*. Bandung: ITB. (2014).
8. *Wikipedia*. Retrieved Desember 3, 2015, from Wikipedia (2014) : https://en.wikipedia.org/wiki/Frame_rate