



Jenis Artikel: *orginal research*

Implementasi Video Based Laboratory Menggunakan *Software Tracker* dalam Menentukan Percepatan Gravitasi Bumi di Berbagai Kota di Pulau Sulawesi Indonesia dan Turki

Muhammad Zahran ¹, Natania Carmenita Medellu ¹, Ika Mustika Sari ¹, Muhammad Rizqi ², Muhammad Banda Selamat ³

¹Pendidikan Fisika, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung

²Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

³Ilmu Kelautan, Universitas Hasanuddin, Makassar

Corresponding e-mail: zahranr54@upi.edu

KATA KUNCI: Gerak jatuh bebas, *tracker*, *video based laboratory*

Diterima: 23 June 2023

Direvisi: 30 June 2024

Diterbitkan: 01 July 2024

Terbitan daring: 01 July 2024

ABSTRAK. Percobaan gerak jatuh bebas telah dilakukan di berbagai kota di pulau sulawesi dan satu kota di turki dengan tujuan untuk menentukan percepatan gravitasi. Percepatan gravitasi ditentukan dengan mengimplementasikan Video-based laboratory. Data yang diperoleh berupa data video gerak jatuh bebas yang dianalisis dengan menggunakan software tracker. Dari analisis yang dilakukan, didapatkan harga percepatan gravitasi bumi berturut-turut di Kota Jeneponto, Makassar, Minahasa, dan Istanbul sebesar: $9,793 \text{ m/s}^2$, $9,778 \text{ m/s}^2$, $9,72 \text{ m/s}^2$, dan $9,76 \text{ m/s}^2$. Dengan *Root Mean Square Deviation* (RMSD) berdasarkan aplikasi berturut-turut diperoleh sebesar: $3,849 \cdot 10^{-2}$ (Jeneponto), $6,598 \cdot 10^{-3}$ (Makassar), $2,4 \cdot 10^{-4}$ (Minahasa) dan $2,67 \cdot 10^{-2}$ (Istanbul). Error hasil pengukuran berada pada orde 10^{-2} sehingga dapat diterima keabsahannya. Percepatan gravitasi yang diperoleh mendekati nilai literatur yaitu, $9,8 \text{ m/s}^2$. Oleh karena itu, implementasi metode analisis *Video-based Laboratory* (VBL) menggunakan *software tracker* dalam menentukan percepatan gravitasi di berbagai belahan bumi, efisien dan efektif dilakukan.

1. Pendahuluan

Teoretis atau berdasarkan dalil dan faktual atau berdasarkan fakta, dibutuhkan untuk menyatakan suatu kebenaran ilmiah. Kebenaran ilmiah dalam pembelajaran Fisika yang jarang divalidasi melalui dalil dan fakta salah satunya adalah nilai percepatan gravitasi bumi. Nilai percepatan gravitasi disajikan dalam buku-buku sebagai nilai baku atau tetapan sehingga sebagian besar siswa beranggapan nilai tersebut merupakan nilai konstanta (Subhan dkk, 2022). Nilai percepatan gravitasi di permukaan bumi menurut Tipler (2008) adalah $9,81 \text{ m/s}^2$. Menurut Torres-Payoma dkk (2022) bumi tidak berbentuk bulat sempurna maupun berbentuk elipsoid, bumi berotasi dan mempunyai pergerakan lempeng yang menyebabkan perubahan bentuk permukaannya sehingga percepatan gravitasi berbeda-beda di setiap tempat.

Penentuan nilai percepatan gravitasi bumi sebagai suatu kebenaran ilmiah dapat ditentukan melalui eksperimen. Eksperimen yang mungkin dilakukan di level pendidikan menengah di antaranya adalah eksperimen bandul sederhana, kereta dinamika, gerak parabola, dan gerak jatuh bebas (Elot dkk, 2022). Eksperimen yang paling sederhana adalah eksperimen gerak jatuh bebas sebab media yang dibutuhkan lebih sedikit dibandingkan eksperimen lainnya. Selain itu, eksperimen gerak jatuh bebas dapat dilakukan di luar laboratorium sehingga tidak terlalu bergantung dengan tempat eksperimen dilakukan.

Walaupun fenomena gerak jatuh bebas dapat diamati dengan mudah, pada kenyataannya tidak banyak informasi yang bisa diperoleh. Fatimah dkk (2020) menyatakan bahwa peserta didik kesulitan dalam menentukan kecepatan awal, kecepatan akhir, kecepatan pada waktu tertentu, dan percepatan benda ketika mengamati fenomena gerak jatuh bebas. Besaran-besaran dalam gerak jatuh bebas untuk menentukan percepatan gravitasi dapat menggunakan persamaan berikut:

$$y = \frac{1}{2}gt^2 \quad (1)$$

$$v = gt \quad (2)$$

Besaran-besaran tersebut tentu sulit diperoleh apabila dilakukan pengamatan langsung menggunakan alat-alat konvensional seperti meteran atau penggaris dan stopwatch. Dibutuhkan alat tambahan untuk dapat menganalisis nilai dari besaran-besaran tersebut tidak secara manual.

Di era teknologi dewasa ini, analisis gerak jatuh bebas dapat lebih mudah dilakukan dengan metode *Video Based Laboratory* (VBL). Sebagai mana yang dikemukakan oleh Rodriguez dkk (2000) bahwa *Video Based Laboratory* (VBL) adalah laboratorium komputer yang penerapannya berbasis analisis komputer dari sebuah fenomena fisika dari video yang juga dapat berupa foto atau foto stroboskopik. Pengukuran besaran fisis yang terekam dalam video dilakukan dari piksel ke piksel sehingga dimungkinkan untuk menentukan besaran-besaran fisika yang sulit ditentukan. Dengan kata lain, dapat mengamati gerakan yang terjadi sangat cepat yang tidak dapat diamati dengan mata manusia.

Penelitian ini menggunakan aplikasi *Tracker* sebagai perangkat lunak yang berbasis VBL. *Tracker* adalah aplikasi analisis video gratis dan alat pemodelan yang di desain khusus untuk digunakan dalam pembelajaran fisika. Telah banyak dilakukan penelitian yang menggunakan *Tracker* untuk menganalisis besaran-besaran fisis yang sulit diamati secara langsung. Penelitian oleh Rismaningsih dkk (2022) menganalisis gerak menggelinding untuk mengetahui momen inersia dari sebuah objek gabungan menggunakan *tracker*. Kemudian, ada penelitian oleh Handayani dkk (2022) yang meneliti terkait efektivitas analisis video *Tracker* dalam praktikum Fisika untuk menentukan percepatan gravitasi. Lalu, penelitian oleh Zaidi (2022) yang meneliti konsep fisika pada permainan lempar bola berbantuan *Tracker*.

Beberapa penelitian tersebut meyakinkan penulis untuk dapat mengimplementasikan perangkat lunak *Tracker* dalam menentukan percepatan gravitasi di berbagai belahan bumi melalui analisis eksperimen gerak jatuh bebas. Penelitian ini mengambil data di beberapa Kota di Pulau Sulawesi Indonesia dan satu Kota di Turki. Dari uraian tersebut di atas maka perumusan masalah yang akan dikaji adalah: apakah implementasi *Video*

Based Laboratory menggunakan software tracker untuk menentukan percepatan gravitasi di berbagai belahan bumi efisien dan efektif dilakukan?

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian adalah menentukan percepatan gravitasi di beberapa Kota di Pulau Sulawesi Indonesia dan satu Kota di Turki dengan mengimplementasikan metode analisis *Video Based Laboratory* menggunakan perangkat lunak *Tracker*.

2. Metode

2.1 Desain Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen gerak jatuh bebas yang dianalisis menggunakan *Tracker* sebagai perangkat lunak berbasis *Video Based Laboratory*.

2.2 Sampel Penelitian

Data yang diperoleh adalah data video gerak jatuh bebas. Data video gerak jatuh bebas direkam di 3 Kota di Pulau Sulawesi, yaitu Kota Jeneponto, Makassar, dan Minahasa, serta 1 Kota di Turki yaitu Kota Istanbul. Dalam pengambilan data video, peneliti tidak ikut serta dalam perekaman video. Peneliti hanya mendelegasikan kepada perwakilan dan rekan peneliti untuk melakukan gerak jatuh bebas dan direkam menggunakan prosedur yang ada. Tidak ada perlakuan yang berbeda terkait prosedur yang dilakukan di titik-titik pengambilan data.

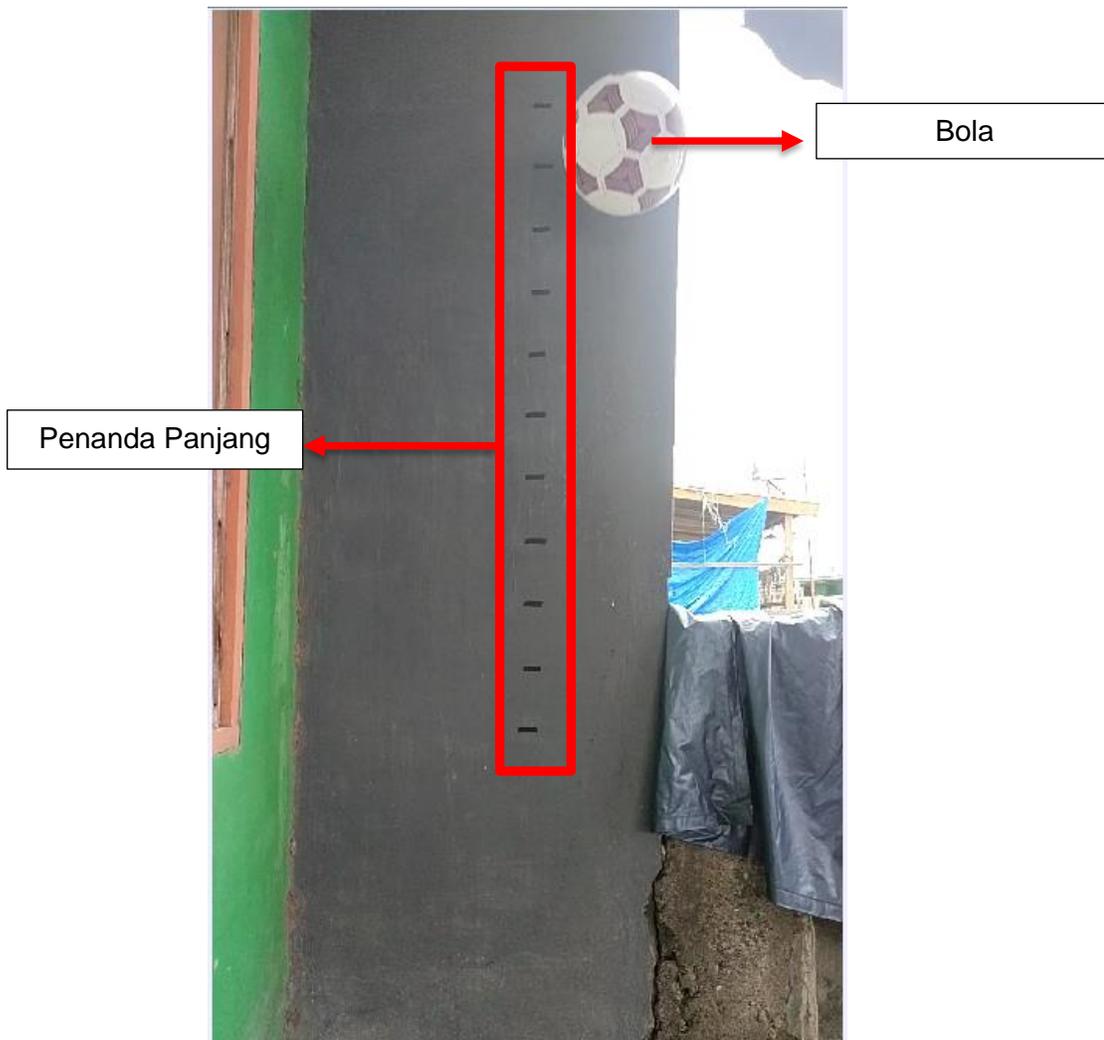
2.3 Teknik Penelitian

Penelitian menggunakan set alat eksperimen gerak jatuh bebas yang terdiri dari bola (bola karet, bola kasti, dan bola pingpong), penanda panjang, tripod, dan kamera smartphone. Berikut adalah tabel penggunaan bola dan penanda panjang dalam video yang diambil di tiap kota.

Tabel 1. Penggunaan bola dan penanda panjang

Kota	Penanda panjang	Jenis Bola
Jeneponto	Garis pada tembok	Bola Karet, Bola Kasti
Makassar	Garis pada tembok	Bola Kasti
Minahasa	Meteran	Bola Basket
Istanbul	Penggaris	Bola pingpong

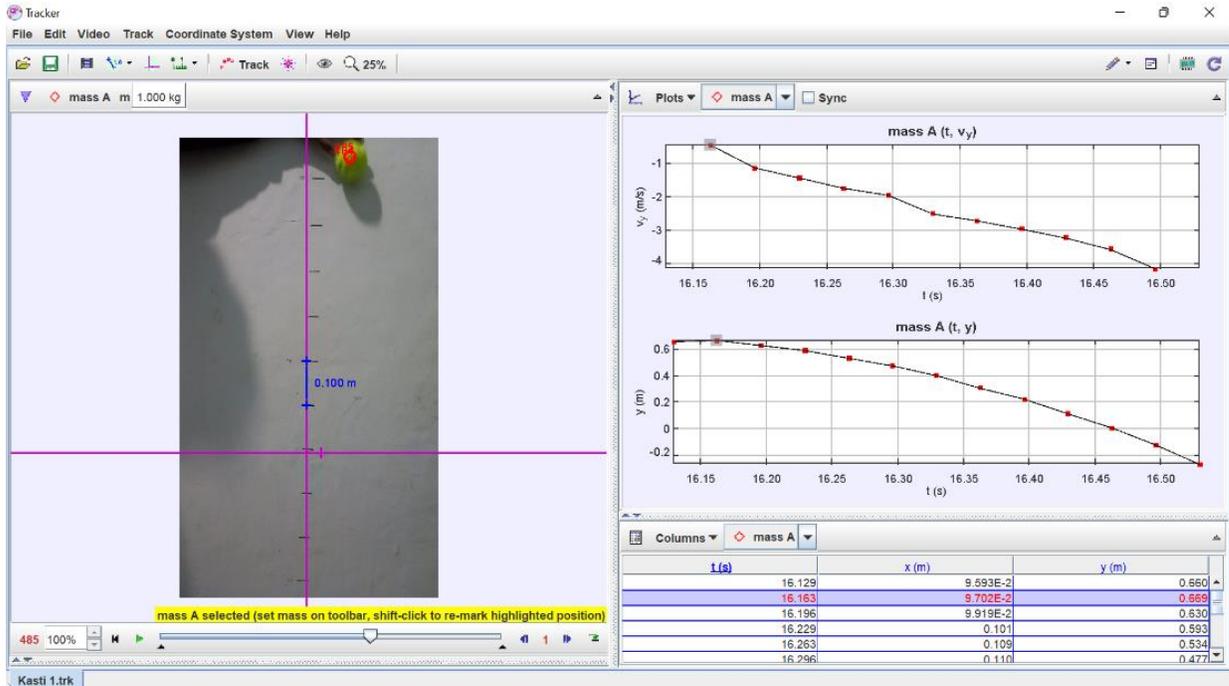
Bola digunakan sebagai objek yang akan dianalisis karakteristik gerakannya. Dari pergerakan bola, nilai percepatan gravitasi dapat diperoleh melalui analisis *Tracker*. Penanda panjang digunakan untuk kalibrasi panjang piksel terhadap panjang sebenarnya pada saat perekaman video. Berikut adalah set alat yang digunakan di Kota Jeneponto sebagai gambaran pengaturan alat untuk memperoleh data di tiap-tiap kota.



Gambar 1. Set alat eksperimen gerak jatuh bebas.

Teknik perekaman atau pengambilan data atau prosedur di setiap kota sebagai berikut: memastikan *background* video berwarna kontras dengan bola. Lalu, mengatur penanda panjang (menggunakan penggaris atau meteran atau garis pada tembok seperti gambar 1). Kemudian, menjatuhkan bola dari ketinggian tertentu. Selama proses bola dijatuhkan, video direkam menggunakan *smartphone* yang telah dipasangkan dengan tripod. Data video kemudian dianalisis menggunakan *Tracker* melalui laptop.

Pada *Tracker*, video gerak jatuh bebas dianalisis menggunakan fitur *track*. Sebelum menggunakan fitur *track*, terdapat beberapa hal yang perlu dilakukan. Pertama, pengaturan koordinat. Pengaturan koordinat dilakukan untuk mengetahui letak bola setiap *frame*-nya. Kedua, *calibration stick*. *Calibration stick* diatur mengikuti penanda panjang. Ketiga, atur *frame* awal dan *frame* akhir untuk mempermudah analisis geraknya. Setelah ketiga hal tersebut dilakukan, fitur *track* dapat digunakan. Setelah menggunakan fitur *track* data akan muncul, berupa tabel dan grafik seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2. Analisis Video menggunakan Tracker.

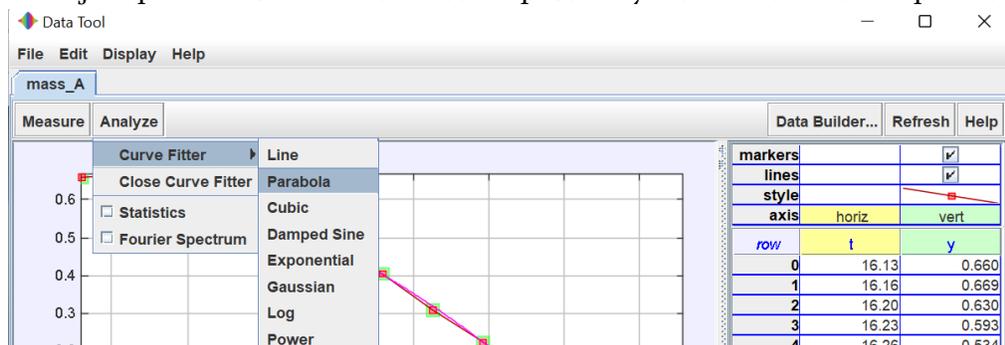
Setelah muncul data dan grafik, untuk memperoleh nilai percepatan gravitasi digunakan fitur *analyze*. Pada fitur tersebut akan ditampilkan gambar perbesaran grafik yang berisi tabulasi data setiap *frame* dalam tab *data tool*. Setelah muncul tab *data tool* pilih *analyze curve fitter* parabola untuk grafik *y* terhadap *t* dan linear untuk grafik v_y terhadap *t* seperti pada gambar (3). Gambar dibawah ini adalah gambar grafik *y* terhadap *t* dengan analisis *curve fitter* parabola. Terlihat bahwa persamaan yang digunakan untuk melakukan perintah *curve fitter* adalah $y = At^2 + Bt + C$. Persamaan ini sama dengan persamaan (1) pada pendahuluan yaitu $y = \frac{1}{2}gt^2$. Untuk menentukan nilai percepatan gravitasinya persamaan *curve fitter* disamakan dengan persamaan gerak jatuh bebas (gjb).

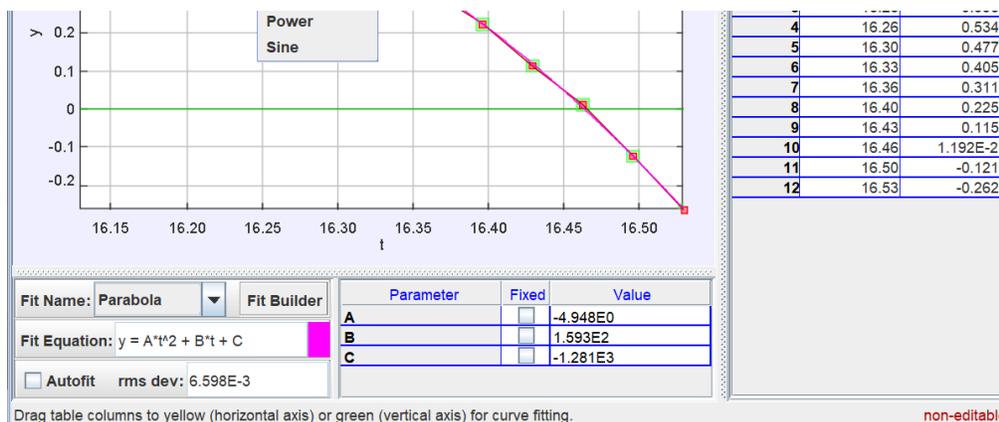
$$Y_{fit} = Y_{gjb} \quad (3)$$

$$At^2 + Bt + C = \frac{1}{2}gt^2 \quad (4)$$

$$A = \frac{1}{2}g \rightarrow g = 2A \quad (5)$$

Kemudian, terdapat nilai *rms dev* atau yang dikenal dengan Error atau ketidakpastiannya. Nilai *rms dev* dikatakan wajar apabila kesalahan atau ketidakpastiannya itu 1% atau berada pada orde 10^{-2} .





Gambar 3. Tab Data Tool berisi hasil fitur track

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis Tracker diperoleh data percepatan gravitasi di Kota Jeneponto, Makassar, Minahasa, dan Istanbul sebagai berikut:

Kota	Derajat Lintang	Derajat Busur	Muka laut (m)	$g(m/s^2)$	RMSD
Jeneponto	-5,618077	119,527194	18	9.79	3,85E-02
Makassar	-5,091222	119,581486	19	9.778	6,60E-03
Istanbul	41.08	29.005	123	9.76	2,20E-04
Minahasa	1,156701	124,818	769	9.74	2.67E-02

Tabel 2. Hasil analisis gerak jatuh bebas

Berdasarkan tabel 2, dari analisis yang dilakukan, didapatkan harga percepatan gravitasi bumi berturut-turut di Kota Jeneponto, Makassar, Minahasa, dan Istanbul sebesar: $9,793 m/s^2$, $9,778 m/s^2$, $9,72 m/s^2$, dan $9,76 m/s^2$. Dengan *Root Mean Square Deviation* (RMSD) berdasarkan aplikasi berturut-turut diperoleh sebesar: $3,849 \cdot 10^{-2}$ (Jeneponto), $6,598 \cdot 10^{-3}$ (Makassar), $2,4 \cdot 10^{-4}$ (Minahasa) dan $2,67 \cdot 10^{-2}$ (Istanbul). Error hasil pengukuran berada pada orde 10^{-2} sehingga dapat diterima keabsahannya. Error yang terjadi pada Tracker dapat disebabkan oleh kesalahan paralaks kalibrasi panjang. Kesalahan ini terjadi pada saat perekaman video, di mana kamera membentuk sudut $\neq 90^\circ$ terhadap sumbu horizontal dan membentuk sudut $\neq 0^\circ$ terhadap sumbu vertikal. Selain itu, kesalahan dapat terjadi saat proses penggunaan fitur track. Kesalahan dapat terjadi apabila penentuan titik pusat massa benda yang ditinjau tidak konsisten (*manual track*) dan kegagalan Tracker dalam menentukan template warna yang sesuai dengan warna benda pada setiap perpindahan Frame (*autotrack*).

Terlihat bahwa percepatan gravitasi di Kota-kota pengambilan data mendekati nilai literatur. Terlihat juga bahwa nilai percepatan gravitasi turun signifikan mengikuti ketinggian tempat pengambilan data dari permukaan laut. Tracker merupakan sebuah software atau equipment yang dapat mengukur dengan tingkat presisi tinggi. Namun, metode analisis VBL menggunakan perangkat lunak Tracker adalah metode alternatif dalam menentukan percepatan gravitasi. Walaupun data-data yang didapatkan selaras dengan teori di mana percepatan gravitasi berbanding terbalik dengan kuadrat jarak dari pusat massa bumi dan benda, nilai-nilai ini harus ditinjau kembali sebab nilai percepatan gravitasi di suatu tempat tidak hanya dipengaruhi oleh jaraknya dari pusat massa bumi. Banyak hal yang mempengaruhi nilai percepatan gravitasi tersebut, di antaranya adalah elevasi muka laut rata-rata, geoid (permukaan ekuipotensial di mana gaya gravitasi di setiap tempat tegak lurus (Payoma dkk (2022)), komponen geologi (litologi) daerah pengambilan data, dan percepatan sentrifugal bumi. Tentu beberapa hal ini tidak menjadi fokus bahasan penelitian ini. Penelitian

ini hanya berfokus seberapa efisien dan efektif implementasi *Video Based Laboratory* menggunakan perangkat lunak *Tracker* untuk menentukan percepatan gravitasi di berbagai belahan bumi. Dengan melihat hasil analisis nilai percepatan gravitasi yang didapatkan mendekati nilai literatur, dapat diindikasikan bahwa penerapan *Video Based Laboratory* menggunakan perangkat lunak *tracker* efisien dan efektif dilakukan. Efektif karena dapat memberikan kesan memperoleh nilai percepatan gravitasi yang mendekati nilai pada literatur. Efisien selain karena peralatan yang digunakan sangat sederhana, peneliti tanpa harus mengambil data secara langsung ke lokasi pengambilan data dapat menentukan percepatan gravitasi di lokasi pengambilan data. Didukung dengan banyaknya penelitian yang telah dilakukan menggunakan *Tracker*, metode analisis ini dapat memberikan pengalaman belajar kepada para pebelajar terkhusus dalam memvalidasi nilai percepatan gravitasi. Sari dkk (2019) menyatakan bahwa menciptakan pembelajaran fisika yang menarik dan canggih di level sekolah menengah adalah misi penting yang harus diselesaikan oleh para guru fisika. Efektivitas dan efisiensi implementasi metode *Tracker* ini pada eksperimen gerak jatuh bebas untuk menentukan harga percepatan gravitasi dapat menjadi salah satu unsur yang dapat membantu menyelesaikan misi tersebut.

4. Simpulan

Tracker dapat menganalisis gerak yang sulit diamati secara langsung oleh mata, menggunakan biaya yang murah, dan proses analisis yang tergolong mudah. Walaupun *Tracker* adalah metode alternatif, harga percepatan gravitasi bumi yang diperoleh mendekati nilai literatur, yaitu berturut-turut di Kota Jeneponto, Makassar, Minahasa, dan Istanbul sebesar: $9,793 \text{ m/s}^2$, $9,778 \text{ m/s}^2$, $9,72 \text{ m/s}^2$, dan $9,76 \text{ m/s}^2$. Dengan *Root Mean Square Deviation* (RMSD) berdasarkan aplikasi berturut-turut diperoleh sebesar: $3,849 \cdot 10^{-2}$ (Jeneponto), $6,598 \cdot 10^{-3}$ (Makassar), $2,4 \cdot 10^{-4}$ (Minahasa) dan $2,67 \cdot 10^{-2}$ (Istanbul). Error hasil pengukuran berada pada orde 10^{-2} sehingga dapat diterima keabsahannya. Oleh karena itu, implementasi metode analisis *Video-based Laboratory* (VBL) menggunakan *software tracker* dalam menentukan percepatan gravitasi di berbagai belahan bumi, efisien dan efektif dilakukan.

Saran untuk penelitian selanjutnya, gunakan kamera dengan resolusi tinggi dan tangkapan 60 *Frame* per detik untuk mendapatkan data yang lebih akurat. Kegagalan *Tracker* ketika *autotracking* disebabkan oleh kualitas video yang kurang memadai.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu peneliti ini: rekan-rekan peneliti Makassar, Minahasa, dan Istanbul yang telah merekam video gerak jatuh bebas di kota masing-masing. Kemudian rekan-rekan UPI Bandung yang telah memberikan ide, saran, dan masukan.

Keterlibatan Penulis

MZ menganalisis data dan menulis manuskrip original, NCM membantu analisis data dan mengontak rekan-rekan peneliti, IMS memberi gagasan pokok ide penelitian, membantu penulisan manuskrip, dan mengontak rekan-rekan peneliti, MR merancang alat percobaan dan merekam video, MBS memberikan pandangan keilmuan.

Daftar Pustaka

- Afifah, D. N., Yulianti, D., Agustina, N., Sri Lestari, R. D., & Nugraha, M. G. (2015). Metode Sederhana Menentukan Percepatan Gravitasi Bumi Menggunakan Aplikasi Tracker Pada Gerak Parabola Sebagai Media dalam Pembelajaran Fisika. *Prosiding Simposium Nasional Dan Pembelajaran Sains, 2015*(Snips), 304–305.
- Handayani, I. D., & Ahmad, F. (2022). EFEKTIVITAS TRACKER VIDEO ANALYSIS DALAM PRAKTIKUM FISIKA UNTUK MENENTUKAN PERCEPATAN GRAVITASI. 8(November), 328–332.
- Kaleka, Y. U. (2021). Membandingkan Nilai Percepatan Gravitasi Bumi di Beberapa Tempat dengan Menggunakan Bandul Sederhana di Kabupaten Sumba Barat Daya. *Jurnal Edukasi Sumba (JES)*, 5(1), 10–15. <https://doi.org/10.53395/jes.v5i1.275>
- Murniaty Elot, Y., Angol, Y., Alus, G., Barry Astro, R., Nasar Universitas Flores, A., & Sam Ratulangi Ende NTT, J. (2022). Analisis Percepatan Gravitasi Berbasis Video Tracking Pada Ayunan Bandul. *Jurnal Kumparan Fisika*, 5(2), 69–76. https://ejournal.unib.ac.id/index.php/kumparan_fisika
- Fatiman, Putri, A. H., Liliawati, W., Purwana, U., Sari, I. M., Iryanti, M., Putra, S. M. P., Lembang, S., & Barat, K. B. (2020). Analisis Gerak Lurus Dalam Fluida dengan Menggunakan Aplikasi Tracker. *Prosiding Seminar Nasional Fisika 6.0*, 0, 281–285.
- Zahrn, M., Medellu, NC., Sari, IM., Rizqi M., Selamar MB. 2024. Implementasi Video Based Laboratory Vol 10 (2), 2024  zahrnr54@upi.edu 16

- Ristiawan, A. (2018). Analisis Gerak Jatuh Bebas Dengan Metode Video Based Laboratory (Vbl) Menggunakan Software Tracker. *Journal of Teaching and Learning Physics*, 3(2), 26–30. <https://doi.org/10.15575/jotalp.v3i2.6556>
- Rismaningsih, F., Widiyatun, F., & ... (2022). Analysis of Rolling Motion to Obtain Moments of Inertia in a Compound Objects with Video-based Laboratory (VBL). *Techno: Jurnal ...*, 11(01), 20–27. <http://ejournal.unkhair.ac.id/index.php/Techno/article/view/3412>
- Sari, I. M., Malik, A., Saepuzaman, D., Rusdiana, D., & Ramalis, T. R. (2019). Pre-service physics teachers' mental models of heat conduction: A case study of the process-analogy of heat conduction. *Journal of Physics: Conference Series*, 1157(3), 0–6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1157/3/032073>
- Subhan, M., Rahmawati, E., Suswati, L., Yus'iran, Y., & Fatimah, F. (2022). Variasi Ketinggian MDPL Terhadap Nilai percepatan gravitasi Bumi Pada KONSEP gerak Jatuh Bebas (GJB) Untuk Pendekatan Pembelajaran. *JURNAL PENDIDIKAN MIPA*, 12(3), 831–837. <https://doi.org/10.37630/jpm.v12i3.660>
- Tipler, P. A. (2008). *Physics For Scientist and Engineers* (6th Edition). W.H. Freeman and Company: New York, USA.
- Torres-Payoma, F., Herrera, D., Triana, K., Neira-Quintero, L., & Castaño-Yepes, J. D. (2022). *Computing the gravitational acceleration withing the World Pendulum Alliance: an application of the remote laboratory methodology implemented by UNAD*. 1–11. <http://arxiv.org/abs/2205.01330>
- Zaidi, M. B. (2022). *JURNAL PENDIDIKAN DAN PEMBELAJARAN SAINS INDONESIA Eksplorasi Konsep Fisika Pada Permainan Lempar Bola Secara Vertikal dengan Bantuan Aplikasi Tracker*. 5(April), 60–67.