

---

## PENGEMBANGAN INSTRUMENTASI PENENTUAN KECEPATAN GERAK SILINDER PEJAL PADA BIDANG MIRING DENGAN MENGGUNAKAN ARDUINO

Wahyu Saputra<sup>1\*</sup>, Yudhiakto Pramudya<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Magister Pendidikan Fisika Pascasarjana Universitas Ahmad Dahlan, Jalan Pramuka 42 Sidikan Umbulharjo Yogyakarta Indonesia

\*wahyusptr6@gmail.com

Received: 27 September 2019 Accepted: 4 November 2019 Published: 31 Desember 2019

### Abstrak

Pada penelitian ini dibuat suatu eksperimen yang secara otomatis dapat mengukur kecepatan benda menggelinding pada bidang miring berbasis *mikrokontroler* dengan sensor *photogate* serta dibandingkan dengan hasil dari analisis video *Tracker*. Pembuatan sensor *photogate* didasarkan pada LED inframerah dan *Light Dependent Resistor* (LDR) yang dipasangkan di lintasan bidang miring sebagai pendeteksi silinder pejal tepat saat menggelinding. Hasil perhitungan nilai ralat kecepatan rata-rata ( $s_{\bar{v}}$ ) dan percepatan rata-rata ( $s_{\bar{a}}$ ) pada sudut  $5^\circ$  dan sudut  $10^\circ$  menggunakan sensor *photogate* lebih kecil daripada analisis video *Tracker*, hal ini menunjukkan pengukuran pada sensor *photogate* lebih teliti dari analisis video *Tracker*. Kesalahan relatif kecepatan rata-rata ( $\bar{v}$ ) pada sudut  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ , dan  $15^\circ$  bila dibandingkan dengan *Tracker* adalah 6,03%, 9% dan 73,62%.

Kata kunci: gerak silinder, bidang miring, Arduino, photogate, tracker

### Abstract

*In this study, the experiment was conducted to measure the speed of an object rolling on inclined plane automatically. The system based on microcontroller with the photogate sensor. The measurement was compared with the analysis of video Tracker. The photogate sensor based on infrared LEDs and Light Dependent Resistor (LDR). They are mounted as a pair. The results of the error of average velocity ( $s_{\bar{v}}$ ) and the average acceleration ( $s_{\bar{a}}$ ) at an angle of  $5^\circ$  and  $10^\circ$  using the photogate sensors smaller than the Tracker video analysis. It means, the measurement of photogate more accurate than video Tracker. The reference error of average speed ( $\bar{v}$ ) at an angle of  $5^\circ$ ,  $10^\circ$  and  $15^\circ$  in comparison with the Tracker are 6.03%, 9% and 73.62%, respectively.*

Keywords: cylinder motion, incline plane, Arduino, photogate, tracker

© 2019 LPPM IKIP PGRI Pontianak, Indonesia

## PENDAHULUAN

Berdasarkan Hukum II Newton percepatan yang dialami oleh suatu obyek besarnya berbanding lurus dengan resultan gaya yang bekerja pada obyek itu dan berbanding terbalik dengan massa kelembamannya. Penjabaran dari rumus Hukum II Newton salah satunya pada gerak rotasi. Dalam gerak rotasi, momen kelembaman benda tegar mempunyai peran penting dalam dinamika (Ariefka & Pramudya, 2019). Salah satu contoh dinamika benda tegar adalah gerak silinder menuruni bidang miring. Gerak silinder tersebut mengalami gerak rotasi dan gerak translasi pada saat menuruni bidang miring (Giancoli, 2014). Untuk mempermudah pemahaman dalam gerak

silinder menggelinding pada bidang miring perlu dilakukan eksperimen di laboratorium fisika. Salah satu masalah di laboratorium fisika adalah metode perekaman data lambat dan proses pengumpulan data (Sari, 2019). Penggunaan mikrokomputer merupakan salah satu solusi untuk memecahkan masalah di laboratorium fisika dalam keakuratan proses pengumpulan data (Liu, Wu, Wong, Lien, & Chao, 2017).

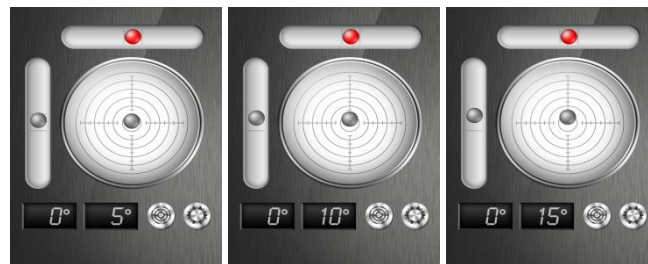
Kecepatan dan percepatan dapat dilakukan dengan bantuan sensor *photogate*. Dua sirkuit elektronik *photogate* didasarkan pada sensor laser dan *Light Dependent Resistor* (LDR) selanjutnya akan memberikan sinyal kepada mikrokontroler. Dalam pengumpulan data digunakan mikrokontroler Arduino Uno (Galeriu, 2013). Data yang diterima mikrokontroler dari *photogate* terjadi ketika suatu obyek berada tepat menghalangi sinar cahaya antara sumber dan detektor. Obyek tersebut bergerak ketika lintasan gelindingnya membentuk sebuah sudut kemiringan tertentu. Sebagai pembanding dalam penentuan kecepatan benda dalam menggelinding pada bidang miring maka digunakan analisis video *Tracker*. *Video Tracker* adalah proses memperkirakan dari waktu ke waktu lokasi satu atau lebih obyek dengan menggunakan kamera.

Beberapa penelitian eksperimen terkait gerak pada bidang miring telah dilakukan dengan menggunakan berbagai jenis sensor dan perangkat lunak. Contohnya, perancangan alat penentuan momen kelembaman silinder berongga dari pengamatan gerak menggelinding pada bidang miring berbantuan perangkat lunak *logger pro* (Ariefka & Pramudya, 2019), dan pengaruh luas permukaan benda terhadap koefisien gesek statis dan kinetis pada bidang miring dengan menggunakan video *Tracker* (Phommarach, Wattanakasiwich, & Johnston, 2012). Penelitian sebelumnya belum menggunakan otomatisasi dalam pengukuran. Sehingga, penelitian ini mengembangkan sistem pengukuran gerak silinder pejal pada bidang miring yang terotomatisasi dengan menggunakan sensor *photogate* berbantuan mikrokontroler Arduino yang dibandingkan dengan pengukuran dengan menggunakan video *Tracker*.

## **METODE**

Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Pengambilan data dilakukan di laboratorium *Wave, Vibration & Fluid* Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta dengan rentang waktu dari bulan April hingga Juli 2019. Penelitian ini menggunakan alat-alat seperti *acrylic*, *light dependent resistor* (LDR), *light emitting diode* (LED) inframerah, *Arduino uno*, *power supply* 9 volt 1 ampere, laptop windows 10 pro 64 bit ram 4gb, kamera, aplikasi *software tracker video and modeling tool* (ver 4.11.10).

Pengukuran sudut kemiringan pada bidang miring dengan sudut  $5^\circ$ ,  $10^\circ$  dan  $15^\circ$  digunakan *software watepas pro* di *smartphone*. Hasil pengukuran sudut kemiringan dapat dilihat pada Gambar 1.



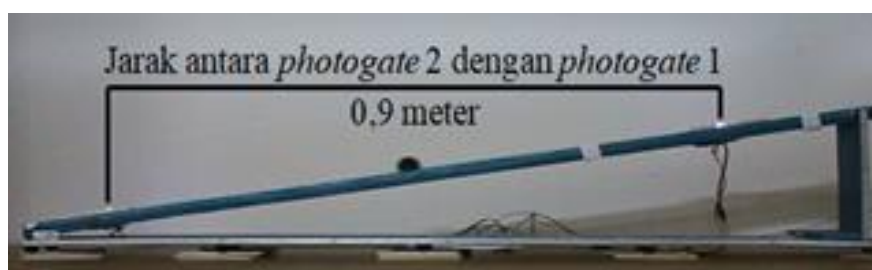
Gambar 1. Pengukuran sudut kemiringan pada bidang miring dengan sudut  $5^\circ$ ,  $10^\circ$  dan  $15^\circ$

Pada bidang miring lintasannya dipasang *acrylic* supaya lintasannya menjadi licin. Hal ini bertujuan untuk menghindari gaya gesek yang terjadi antara silinder pejal dengan bidang miring saat benda tepat mengguling. Pada masing-masing ujung bidang miring dipasang rangkaian sensor *photogate* yang menggunakan LED Inframerah sebagai pemancar dan *Light Dependent Resistor* (LDR) sebagai penerima. Semua sensor dipasang pada tepi lintasan bidang miring. Setiap rangkaian sensor dihubungkan ke mikrokontroler Arduino Uno sebagai pengendali seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian sensor *photogate* 1 dan *photogate* 2 yang menggunakan LED inframerah sebagai pemancar dan *light dependent resistor* (LDR) sebagai penerima

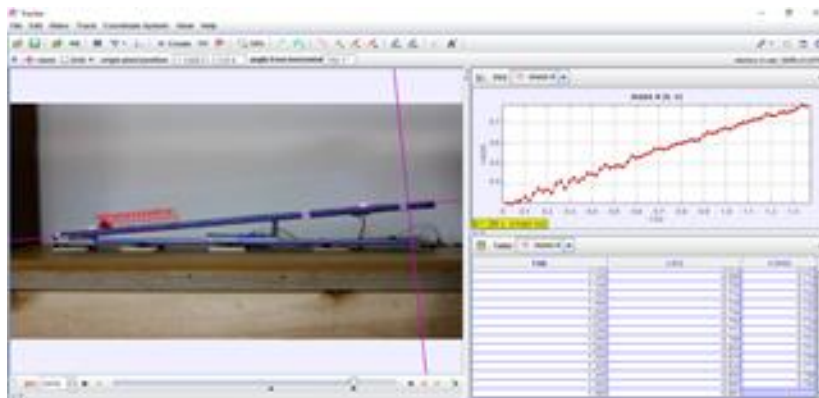
Jarak dari sensor *photogate* 1 ke sensor *photogate* 2 adalah 0,9 meter (Gambar 3).



Gambar 3. Jarak antara sensor *photogate* 1 ke sensor *photogate* 2

Program pengendali dan pengolahan data mikrokontroler Arduino Uno dibuat dengan menggunakan aplikasi Arduino IDE. Program akan mencatat waktu ketika sensor terhalang oleh silinder pejal yang menggelinding tepat saat berada diantara *Light Dependent Resistor* (LDR) dan LED Inframerah. Kecepatan sesaat dari silinder pejal dapat ditentukan dari jarak antara dua pasang sensor *photogate* dibagi dengan selisih waktu yang tercatat antara kedua rangkaian sensor *photogate*. Percepatan dapat ditentukan dengan menggunakan data sudut  $\theta$  ( $\theta$ ).

Sebagai pembanding pengukuran gerak silinder pejal pada bidang miring, maka digunakan analisis video menggunakan *software Tracker* dengan jarak tetap dan sudut  $\theta$  divariasi. Variasi sudut dengan analisis video menggunakan *software Tracker* (Gambar 4).

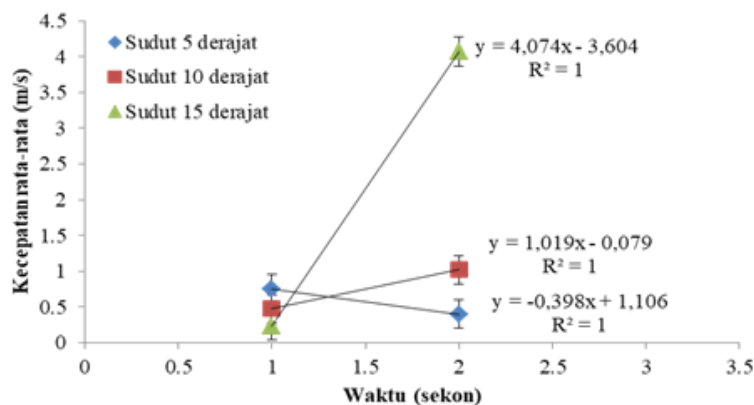


Gambar 4. Analisis video menggunakan *software tracker*

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengambilan Data Menggunakan Sensor *Photogate* pada Jarak Tetap dengan Sudut $\theta$ divariasi.

Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data sebanyak 5 kali di setiap sudut kemiringan bidang miring dengan sudut  $5^\circ$ ,  $10^\circ$  dan  $15^\circ$ .



Gambar 5. Grafik hubungan  $\bar{v}$  terhadap  $t$  pada pengukuran menggunakan sensor *photogate* dengan sudut  $5^\circ$ ,  $10^\circ$  dan  $15^\circ$

Grafik pada Gambar 5 menunjukkan adanya hubungan yang linier antara kecepatan rata-rata terhadap waktu pada sudut 5° nilai  $y=0,398x+1,106$  dan  $R^2=1$ . Pada sudut 10° nilai  $y=1,019x-0,079$  dan  $R^2=1$ . Pada sudut 15° nilai  $y=4,074x-3,604$  dan  $R^2=1$ . Selanjutnya hasil penentuan kecepatan rata-rata dan percepatan rata-rata dilinder pejal terhadap waktu menggunakan sensor *photogate* dengan sudut 5°, 10° dan 15° disajikan pada Tabel 1.

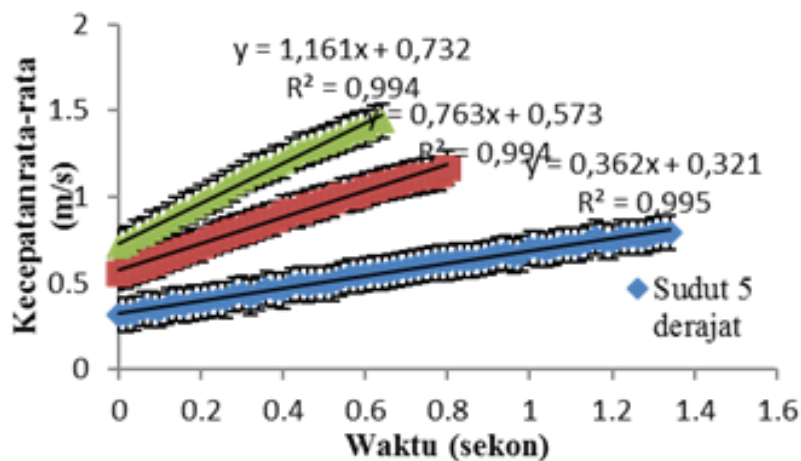
Tabel 1. Hasil penentuan kecepatan rata-rata ( $\bar{v}$ ) dan percepatan rata-rata ( $\bar{a}$ ) silinder pejal terhadap waktu ( $t$ ) menggunakan sensor *photogate* dengan sudut 5°, 10° dan 15°

Sudut	$\Delta \bar{t}$ (s)	$s$ (m)	$\bar{v}$ (m/s)	$s_{\bar{v}}$ (m/s)	$\bar{a}$ (m/s <sup>2</sup> )	$s_{\bar{a}}$ (m/s <sup>2</sup> )
5°	0,752	0,9	0,598	0,026	0,398	0,006
10°	0,470	0,9	0,957	0,065	1,019	0,019
15°	0,235	0,9	1,915	0,247	4,074	0,101

Tabel 1 menunjukkan data posisi *photogate* 1 dan *photogate* 2 pada sudut 5° yaitu  $\Delta \bar{t} = 0,752$  sekon,  $\bar{v} = 0,598$  m/s,  $s_{\bar{v}} = 0,026$  m/s,  $\bar{a} = 0,398$  m/s<sup>2</sup>,  $s_{\bar{a}} = 0,006$  m/s<sup>2</sup>. Pada sudut 10° yaitu  $\Delta \bar{t} = 0,470$  sekon,  $\bar{v} = 0,957$  m/s,  $s_{\bar{v}} = 0,065$  m/s,  $\bar{a} = 1,019$  m/s<sup>2</sup>,  $s_{\bar{a}} = 0,019$  m/s<sup>2</sup>. Pada sudut 15° yaitu  $\Delta \bar{t} = 0,235$  sekon,  $\bar{v} = 1,915$  m/s,  $s_{\bar{v}} = 0,247$  m/s,  $\bar{a} = 4,074$  m/s<sup>2</sup>,  $s_{\bar{a}} = 0,101$  m/s<sup>2</sup>.

**Pengambilan Data Menggunakan Analisis Video Tracker pada Jarak Tetap dengan Sudut  $\theta$  Divariansi**

Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data sebanyak 5 kali di setiap sudut kemiringan bidang miring dengan sudut 5°, 10° dan 15°. Grafik hubungan kecepatan terhadap waktu disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik hubungan  $\bar{v}$  terhadap  $t$  pada pengukuran menggunakan dengan sudut 5°, 10° dan 15°

Grafik pada Gambar 6 menunjukkan adanya hubungan yang linier antara kecepatan rata-rata terhadap waktu sesuai dengan persamaan **Error! Reference source not found.** pada sudut 5° nilai  $y=0,362x+0,321$  dan  $R^2=0,995$ . Pada sudut 10° nilai  $y=0,763x+0,573$  dan  $R^2=0,994$ . Pada sudut 15° nilai  $y=1,161x+0,732$  dan  $R^2=0,994$ . Selanjutnya hasil penentuan kecepatan rata-rata dan percepatan rata-rata dilinder pejal terhadap waktu menggunakan sensor *photogate* dengan sudut 5°, 10° dan 15° disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil penentuan kecepatan rata-rata ( $\bar{v}$ ) dan percepatan rata-rata ( $\bar{a}$ ) silinder pejal terhadap waktu (t) menggunakan analisis video Tracker dengan sudut 5°, 10° dan 15°

Sudut	$\Delta \bar{t}$ (s)	s (m)	$\bar{v}$ (m/s)	$s_{\bar{v}}$ (m/s)	$\bar{a}$ (m/s <sup>2</sup> )	$s_{\bar{a}}$ (m/s <sup>2</sup> )
5°	0,690	0,9	0,564	0,144	0,362	0,018
10°	0,420	0,9	0,878	0,184	0,763	0,029
15°	0,340	0,9	1,103	0,225	1,161	0,039

Tabel 2 menunjukkan data analisis video *Tracker* pada sudut 5° yaitu  $\Delta \bar{t} = 0,69$  sekon,  $\bar{v} = 0,564$  m/s,  $s_{\bar{v}} = 0,144$  m/s,  $\bar{a} = 0,362$  m/s<sup>2</sup>,  $s_{\bar{a}} = 0,018$  m/s<sup>2</sup>. Pada sudut 10° yaitu  $\Delta \bar{t} = 0,42$  sekon,  $\bar{v} = 0,878$  m/s,  $s_{\bar{v}} = 0,184$  m/s,  $\bar{a} = 0,763$  m/s<sup>2</sup>,  $s_{\bar{a}} = 0,029$  m/s<sup>2</sup>. Pada sudut 15° yaitu  $\Delta \bar{t} = 0,34$  sekon,  $\bar{v} = 1,103$  m/s,  $s_{\bar{v}} = 0,225$  m/s,  $\bar{a} = 1,161$  m/s<sup>2</sup>,  $s_{\bar{a}} = 0,039$  m/s<sup>2</sup>.

### Kesalahan Relatif Penentuan Kecepatan Gerak Silinder Pejal Pada Bidang Miring Dengan Pengukuran Menggunakan Sensor *Photogate* Dan Analisis Video *Tracker*

Tabel 3 menunjukkan persentase kesalahan relatif pengukuran dengan menggunakan sensor *photogate* dan analisis video Tracker dengan sudut 5° sebesar 6,03%, 10° sebesar 9% dan 15° sebesar 73,62%.

Tabel 3. Kesalahan relatif penentuan kecepatan rata-rata ( $\bar{v}$ ) silinder pejal terhadap waktu (t) menggunakan sensor *photogate* dan analisis video Tracker dengan sudut 5°, 10° dan 15°

Sudut	Sensor <i>photogate</i>	Analisis video <i>Tracker</i>	%
	$\bar{v}_p$ (m/s)	$\bar{v}_t$ (m/s)	
5°	0,598	0,564	6,03
10°	0,957	0,878	9,00
15°	1,915	1,103	73,62

**Kesalahan Relatif Penentuan Percepatan Gerak Silinder Pejal Pada Bidang Miring Dengan Pengukuran Menggunakan Sensor *Photogate* Dan Analisis Video *Tracker***

Tabel 4 menunjukkan persentase kesalahan relatif pengukuran dengan menggunakan sensor photogate dan analisis video Tracker dengan sudut 5° sebesar 9,94%, 10° sebesar 33,55% dan 15° sebesar 250,56%.

Tabel 4. Kesalahan relatif penentuan percepatan rata-rata ( $\bar{a}$ ) silinder pejal terhadap waktu (t) menggunakan sensor photogate dan analisis video Tracker dengan sudut 5°, 10° dan 15°

Sudut	Sensor <i>photogate</i>	Analisis video <i>Tracker</i>	%
	$\bar{a}_p$ (m/s <sup>2</sup> )	$\bar{a}_t$ (m/s <sup>2</sup> )	
5°	0,398	0,362	9,94
10°	1,019	0,763	33,55
15°	4,070	1,161	250,56

**SIMPULAN**

Telah dilakukan penelitian pengukuran gerak silinder pejal pada bidang miring berbasis mikrokontroler dengan bantuan sensor *photogate* serta dibandingkan dengan hasil dari analisis video *Tracker*. Tahap penelitian ini dimulai dari pembuatan sensor *photogate* didasarkan pada LED inframerah dan *Light Dependent Resistor* (LDR) yang dipasangkan di lintasan bidang miring sebagai pedeteksi silinder pejal tepat saat menggelinding. Selanjutnya tahap pembuatan program Arduino, data yang diterima mikrokontroler dari *photogate* terjadi ketika silinder pejal berada tepat menghalangi sinar cahaya antara sumber dan detektor. Pada tahap akhir dilakukan pengujian alat dan pengambilan data menggunakan sensor *photogate* dan analisis video *Tracker*. Hasil perhitungan dari sensor *photogate* dan hasil perhitungan dari analisis video *Tracker* menunjukkan adanya hubungan yang linier antara kecepatan rata-rata terhadap waktu. Berdasarkan hasil perhitungan diketahui bahwa semakin besar sudut bidang miring maka semakin besar nilai percepatan.

Berdasarkan hasil perhitungan nilai ralat kecepatan rata-rata ( $s_{\bar{v}}$ ) dan percepatan rata-rata ( $s_{\bar{a}}$ ) pada sudut 5° dan sudut 10° menggunakan sensor *photogate* lebih kecil dari analisis video *Tracker*, hal ini menunjukkan pengukuran pada sensor *photogate* lebih teliti dari analisis video *Tracker*. Kesalahan relatif kecepatan rata-rata ( $\bar{v}$ ) dengan sudut 5° sebesar 6,03%, sudut 10° sebesar 9%. Kesalahan relatif percepatan rata-rata ( $\bar{a}$ ) dengan sudut 5° sebesar 9,94%, sudut 10° sebesar 33,55%. Tetapi pada sudut 15° pengukuran nilai ralat kecepatan rata-rata ( $s_{\bar{v}}$ ) dan percepatan rata-

rata ( $s_{\bar{a}}$ ) menggunakan sensor *photogate* jauh lebih besar dibandingkan dengan analisis video *Tracker*. Kesalahan relatif kecepatan rata-rata ( $\bar{v}$ ) sebesar 73,62%, percepatan rata-rata ( $\bar{a}$ ) sebesar 250,56%. Hal ini menunjukkan keterbatasan pengukuran dalam menentukan kecepatan dan percepatan gerak silinder pejal pada bidang miring dengan menggunakan sensor *photogate*. Ketelitian dari pengukuran menggunakan sensor *photogate* dapat dilakukan dengan kemiringan sudut bidang miring antara  $1^\circ$  sampai  $10^\circ$ . Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan lebih banyak sensor *photogate* yang dipasangkan di bidang miring agar mendapatkan hasil pengukuran kecepatan gerak silinder pejal yang lebih akurat. Penentuan sudut kemiringan bidang miring disarankan untuk menggunakan sistem otomatisasi menggunakan sistem motor sebagai penggerak gerakan turun dan naik pada bidang miring dalam menentukan sudut kemiringan bidang miring. Sehingga untuk mempermudah dalam penentuan jumlah sudut yang banyak.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Sebagai penghormatan dan etika akademik, penulis menyampaikan terimakasih kepada pihak *The Open Source Physics Project*, pengembangan *hardware* maupun *software Arduino*, penyediaan *Tracker video analysis free software*.

### DAFTAR PUSTAKA

- Ariefka, R., & Pramudya, Y. (2019). The Study of Hollow Cylinder on Inclined Plane To Determine The Cylinder Moment Of Inertia. *Journal of Physics*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1170/1/012081>
- Fitri, M., Hufri, & Yohandri. (2014). Pembuatan Sistem Penentuan Koefisien Gesek Statis Benda Pada Bidang Miring Secara Digital Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Sainstek*, VI(2), 135–147.
- Galeriu, C. (2013). An Arduino-Controlled Photogate. *The Physics Teacher*, 51(3), 156–158.
- Giancoli, D. C. (2014). *Fisika Prinsip dan Aplikasinya* (7 Jilid 1; A. M. Drajat, ed.). Jakarta: Erlangga.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2010). *Fisika Dasar* (7 Jilid 1; W. Hardani, A. M. Drajat, A. Safitri, & L. Simarmata, eds.). Jakarta: Erlangga.
- Liu, C.-Y., Wu, C.-J., Wong, W.-K., Lien, Y.-W., & Chao, T.-K. (2017). Scientific modeling with mobile devices in high school physics labs. *Computers and Education*, 105, 44–56. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.11.004>.
- Maggio, E., & Cavallaro, A. (2011). *Video Tracking Theory and Practice* (first). United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd.



- Phommarach, S., Wattanakasiwich, P., & Johnston, I. (2012). Video Analysis of Rolling Cylinders. *Physics Education*, 47(2), 189–196. <https://doi.org/10.1088/0031-9120/47/2/189>
- Risal, A. (2017). *Mikrokontroler dan Interface*. Makassar.
- Santoso, H. (2015). *Panduan Praktis Arduino untuk Pemula*. Retrieved from [www.elangsakti.com](http://www.elangsakti.com)
- Sari, U. (2019). Using the Arduino for the experimental determination of a friction coefficient by movement on an inclined plane. *Physics Education*, 54.
- Sarjani, F., Yohandri, & Kamus, Z. (2017). Pembuatan Set Eksperimen Gerak Parabola Digital Berbasis Mikrokontroler ATMEGA328 untuk Mengukur Parameter Gerak. *Pillar of Physics*, 10, 23–30.
- Sesa, E., Ulum, M. S., Farhamsa, D., & Samsul. (2018). Penentu Kecepatan Dan Percepatan Benda Berbasis Mikrokontroler Arduino Pada Percobaan Benda Menggelinding Pada Bidang Miring. *Journal of Science and Technology*, 7(2), 166–175.