

Sistem Alat Ukur Waktu Otomatis dengan Sensor *Line Tracking* pada Media Pembelajaran Pesawat Atwood

Aulia Hanifa Budiman^{1*}, Ahmad Aminudin¹, Maman Budiman²

¹ Universitas Pendidikan Indonesia, Prodi Fisika, FPMIPA

² Institut Teknologi Bandung, Laboratorium Fisika Instrumen

*e-mail: auliabudiman17@gmail.com

ABSTRAK

Perancangan dan pembuatan sistem alat ukur waktu otomatis menggunakan sensor RPR-220 (*Reflective Photosensor*) pada pesawat Atwood telah dilakukan. Sistem alat ukur waktu yang telah dibangun berfungsi sebagai pengukur waktu tempuh beban jatuh dan hasil nilainya langsung ditampilkan pada LCD *Shield* Arduino. Penelitian dilakukan untuk menentukan percepatan dan momen inersia katrol pada sistem pesawat Atwood. Metode yang digunakan untuk menentukan percepatan pada sistem pesawat Atwood adalah dengan melakukan eksperimen mengukur waktu dari beberapa jarak tempuh beban jatuh yang berbeda. Eksperimen juga menggunakan beban tambahan yang berbeda agar bisa mengetahui pengaruh massa terhadap percepatan jatuh benda. Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan, percepatan berbanding lurus dengan massa beban tambahannya. Setelah mendapatkan percepatan, selanjutnya adalah menentukan momen inersia katrol. Momen inersia katrol yang didapatkan dari hasil pengolahan data eksperimen-eksperimen yang telah dilakukan adalah $7,81 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$; $5,97 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$; $6,42 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$; dan $5,79 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$.

Kata kunci: Hukum Newton, Momen Inersia, Percepatan, Sensor RPR-220

PENDAHULUAN

Penyampaian materi tidak cukup dijelaskan dengan ucapan saja, namun diperlukan pula alat peraga atau media pembelajaran agar pelajar dapat memahami materi tersebut lebih jauh dan tujuan kegiatan pembelajaran dapat tercapai dengan baik (Azar, 2011). Terutama dalam menyampaikan materi Fisika. Dalam memahami gejala-gejala fisika secara penuh, untuk mengkaji teori-teori yang ada, tidak bisa disampaikan sebatas dari penjelasan ucapan saja. Eksperimen perlu dilakukan untuk dapat memahami gejala-gejala alam tersebut (Astro dkk, 2018).

Dalam dunia Fisika terdapat banyak media pembelajaran untuk memahami teori-teori Fisika yang ada. Salah satu media pembelajaran Fisika adalah pesawat Atwood. Pesawat Atwood adalah seperangkat alat yang biasa digunakan untuk mendemonstrasikan hukum kedua Newton. Alat ini diciptakan oleh George Atwood, seorang ahli matematika dari Inggris, pada tahun

1784 (Monteiro dkk, 2015). Pesawat Atwood merupakan alat eksperimental yang digunakan untuk memahami konsep kinematika dan dinamika rotasi benda tegar (Wahid & Rahmadhani, 2019). Pesawat Atwood pada dasarnya terdiri dari kawat atau tali yang setiap ujungnya terpasang beban dengan massa yang berbeda dan disambungkan ke katrol (Physics Department CUNY, 2011).

Prinsip dari pesawat Atwood sendiri yaitu beban dengan massa yang paling besar (M_1+m) mulanya diposisikan lebih tinggi dibandingkan dengan beban yang massanya rendah (M_2). Tinggi dari M_1+m akan diukur terlebih dahulu. Dengan begitu saat M_1+m dijatuhkan ke bawah, M_2 akan tertarik ke atas akibat efek percepatan gravitasi dari M_1+m karena keduanya terhubung oleh kawat pada katrol (Saraswati & Putri, 2018). Waktu yang dibutuhkan untuk M_1+m saat kecepatan awalnya sama dengan nol hingga M_1+m berhenti bergerak akan diukur secara manual dengan *stopwatch*. Sehingga pengguna

pesawat Atwood dapat mengukur kecepatan dan percepatan pada benda yang diamati.

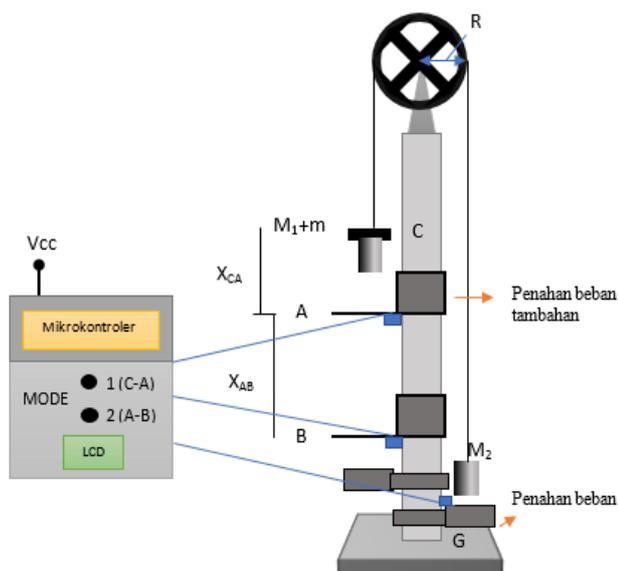
Namun pengukuran waktu secara manual tersebut belum bisa menghasilkan hasil yang akurat. Ini disebabkan eksperimen manual masih mengandalkan pengamatan semata, seperti pengaktifan dan penonaktifan *stopwatch*

Sensor RPR-220 adalah sensor reflektif yang terdiri dari pemancar inframerah dan fototransistor. Sensor ini sesuai untuk mendeteksi suatu objek jarak dekat. (ROHM Semiconductor, 2019). Pada umumnya prinsip kerja sensor RPR-220 sama dengan sensor inframerah lainnya. Sinar dari pemancar akan terpantul dan pantulannya diteruskan ke penerima atau dalam hal ini fototransistor (Fraden, 2003).

Penelitian ini bertujuan untuk dapat merancang dan membuat sistem alat ukur waktu otomatis pesawat Atwood menggunakan sensor *Line Tracking*, menentukan nilai percepatan dan kecepatan menggunakan sistem alat yang telah dibangun, dan menentukan momen inersia katrol dengan eksperimen. Harapannya, sensor pada sistem alat otomatis ini dapat mendeteksi pergerakan beban dan mengukur waktu beban pada pesawat Atwood dengan lebih akurat dan presisi.

METODE

Alat-alat penting yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sensor RPR-220, mikrokontroler Arduino, modul LCD *Shield*, dan tentunya pesawat Atwood. Rancangan sistem alat ukur waktu otomatis dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rancangan Sistem Alat

yang tidak bertepatan dengan beban mulai bergerak dan beban berhenti bergerak.

Maka dalam penelitian ini, sensor *Line Tracking* jenis RPR-220 (*Reflective Photosensor*) digunakan untuk sistem alat ukur waktu otomatis pada pesawat Atwood.

Mulanya M_1 dan M_2 mempunyai massa yang relatif sama. Pada mode 1 (C-A), pengukuran waktu dimulai saat sensor 1 mendeteksi tidak adanya beban M_2 dan berhenti saat beban M_1+m sampai di sensor titik A (sensor 2). Sedangkan pada mode 2 (A-B), pengukuran waktu dimulai saat beban M_1 terdeteksi di sensor A dan berhenti saat beban tersebut sampai di sensor B (sensor 3). Pada mode 2, beban tambahan m yang awalnya diberikan pada beban M_1 akan ditahan oleh penahan beban di titik A.

Tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan adalah:

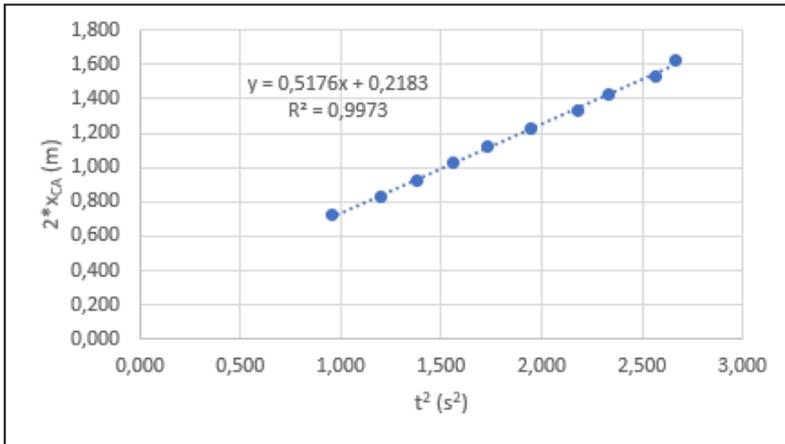
- 1) Perancangan sistem alat secara keseluruhan.
- 2) Pembuatan sistem sensor RPR-220 berbasis mikrokontroler Arduino.
- 3) Pemrograman dan pengujian respon sistem sensor RPR-220.
- 4) Pembuatan sistem alat ukur waktu untuk pesawat Atwood. Dalam hal ini penggabungan sistem sensor RPR-220 dengan pesawat Atwood.
- 5) Pemrograman dan pengujian sistem alat ukur waktu yang telah dibuat.
- 6) Pengambilan data eksperimen dan pengolahan data
- 7) Analisis data eksperimen
- 8) Mengambil kesimpulan

Eksperimen dilakukan dengan mengubah beberapa variabel seperti massa beban tambahan m dan jarak tempuh (X_{CA} dan X_{AB}) sebelum beban m terlepas (GLBB) dan setelah beban m terlepas (GLB).

Eksperimen yang dilakukan adalah:

- 1) Eksperimen 1 adalah pengukuran waktu beban jatuh pada mode 1 (GLBB, titik tempuh beban dari C ke A) dan mode 2 (GLB, titik tempuh beban dari A ke B). Tujuan dari eksperimen ini adalah untuk mengamati percepatan dan momen inersia katrol yang dihasilkan di mode 1 dan kecepatan di mode 2.
- 2) Eksperimen 2 sama seperti eksperimen pertama. Namun perbedaannya adalah beban tambahannya ditambah. Tujuan dari eksperimen ini adalah untuk membandingkan hasil percepatan dan momen inersia katrol pada eksperimen pertama dan kedua.

- 3) Eksperimen 3 meliputi pengukuran waktu beban jatuh dengan sistem alat dan pengukuran waktu dengan *stopwatch* secara manual. Eksperimen ini hanya



Gambar 2. Grafik hubungan jarak terhadap waktu, Eks.1 mode 1

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perumusan momen inersia katrol dapat ditemukan pada rumus momen inersia silinder pejal homogen:

$$I = \frac{1}{2} m_k R^2$$

Dengan I adalah momen inersia katrol, m_k adalah massa katrol, dan R adalah jari-jari katrol (Abdullah, 2016). Namun perumusan tersebut berlaku pada katrol yang bentuknya silinder pejal homogen saja. Sedangkan pada penelitian kali ini, katrol yang digunakan berongga, tidak pejal. Maka untuk menentukan nilai momen inersia pada katrol pesawat Atwood yang ditinjau hanya dapat mengandalkan rumus berikut ini:

$$a = \frac{(m + M_1 - M_2)}{(m + M_1 + M_2 + \frac{I}{R^2})} g$$

Dengan a adalah percepatan, m adalah beban tambahan, M_1 adalah beban 1, M_2 adalah beban 2, I adalah momen inersia katrol, R adalah jari-jari katrol, dan g adalah percepatan gravitasi.

Hasil analisis data eksperimen 1 untuk mode 1 (C ke A) dengan metode grafik ada pada Gambar 2. Nilai percepatan sistem beban pada pesawat Atwood dapat dicari dengan menggunakan gradien dari persamaan linear grafik. Hal tersebut didasari dari percepatan adalah dua kali lipat jarak tempuh dibagi oleh kuadrat dari waktu tempuhnya ($a=2x/t^2$) (Yahdi, 1996).

menggunakan mode 1 (C ke A) saja. Tujuan dari eksperimen ini adalah untuk membandingkan pengukuran otomatis dan manual yang menggunakan *stopwatch*.

Tabel 1. Data perhitungan percepatan untuk eksperimen 1 mode 2

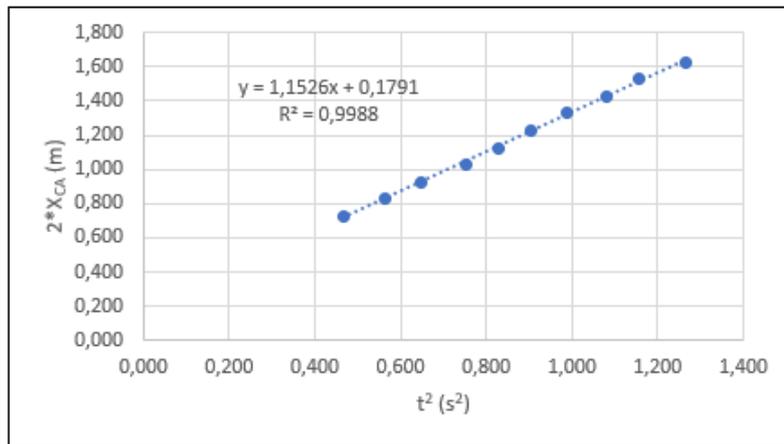
x_{AB} (m)	t (s)	$a = \frac{2x_{AB}-2v_0t}{t^2}$ (m/s ²)
0,289	0,545	$5,82 \times 10^{-1}$
0,339	0,650	$4,61 \times 10^{-1}$
0,389	0,770	$3,47 \times 10^{-1}$
0,439	0,886	$2,79 \times 10^{-1}$
0,489	1,011	$2,21 \times 10^{-1}$
0,539	1,149	$1,69 \times 10^{-1}$
0,589	1,320	$1,13 \times 10^{-1}$
0,639	1,474	$8,36 \times 10^{-2}$
0,689	1,758	$2,28 \times 10^{-2}$
0,739	2,021	$-6,18 \times 10^{-3}$

Pada Gambar 2, grafik yang dibuat menghasilkan persamaan linear $y = mx + c$. Karena m adalah gradien dari persamaan tersebut, maka nilai percepatan sama dengan $0,5176 \text{ m/s}^2$ atau $0,52 \text{ m/s}^2$. Momen inersia katrol yang didapatkan dari persamaan sebelumnya adalah $I = 7,81 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$.

Selanjutnya adalah eksperimen 1 mode 2 (A ke B). Pada mode ini, jarak tempuh beban M_1+m dari titik C ke A dijaga tetap. Awalnya mode 2 digunakan untuk mengamati peristiwa GLB dan menentukan kecepatan konstannya. Namun pada eksperimen 1 mode 2 terjadi gerak lurus berubah beraturan (GLBB) yang diperlambat. Faktor utama dari peristiwa tersebut adalah adanya gaya gesekan antara sumbu putar katrol yang tidak bisa diabaikan. Sehingga gaya gesekan mempengaruhi gerak jatuh beban tersebut.

Karena gerak pada mode 2 bukan GLB, maka nilai percepatan dicari untuk membuktikan gerak beban yang terjadi adalah GLBB diperlambat. Dalam mencari percepatan dalam mode 2, kecepatan awal ada nilainya sehingga harus dimasukkan dalam perhitungan. Kecepatan awal didapat dengan menghitung rata-rata dari 30 data nilai kecepatan akhir pada jarak tempuh mode 1 (C ke A) yang di jaga tetap. Kecepatan rata-rata yang didapatkan adalah $0,37 \text{ m/s}$.

Tabel hasil analisis data eksperimen 1 mode 2 dapat dilihat pada Tabel 1. Dengan melihat data dalam tabel, nilai percepatan dari jarak terdekat hingga terjauh terus menurun. Nilai percepatan pada setiap jarak yang berbeda juga tidak relatif sama, maka data dalam tabel tersebut tidak bisa digunakan untuk mencari momen inersia katrol.



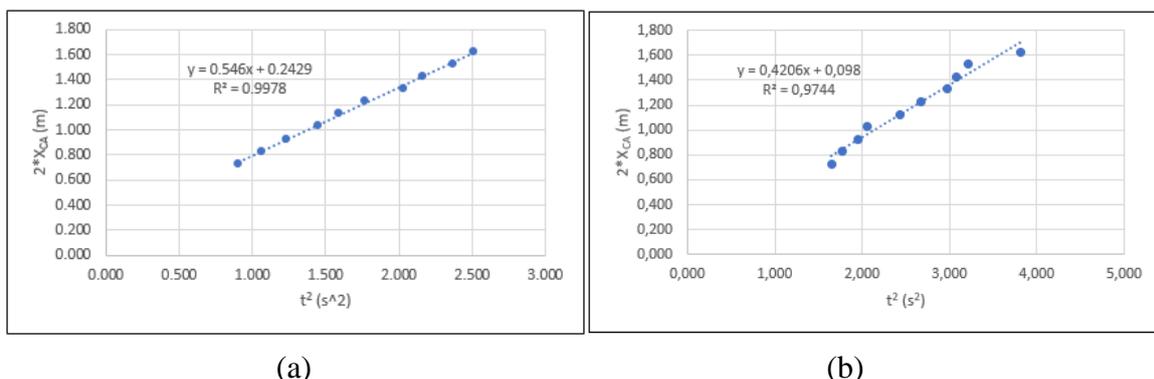
Gambar 3. Grafik hubungan jarak terhadap waktu, Eks.2 mode 1

Setelah melakukan eksperimen 1, selanjutnya melakukan eksperimen 2. Berikut grafik hasil data waktu tempuh eksperimen 2 mode 1 (C ke A) yang ditampilkan pada Gambar 3.

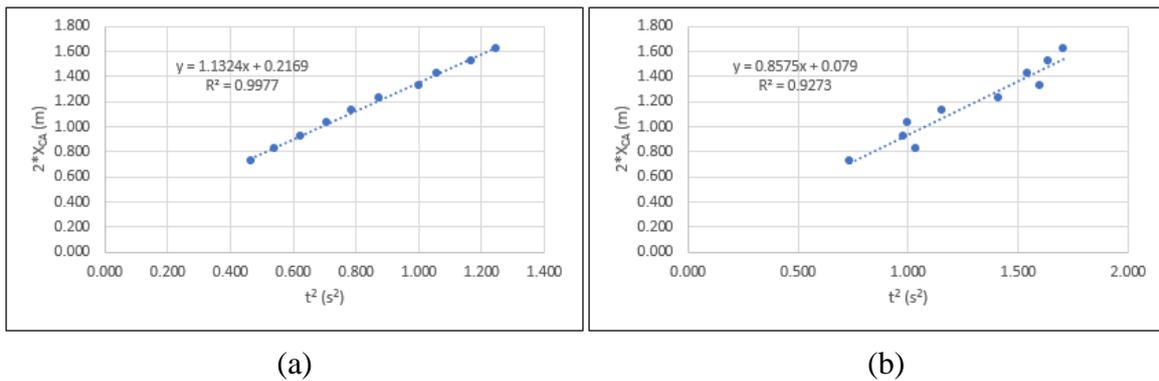
Percepatan yang dihasilkan dari persamaan grafik pada Gambar 3 adalah $1,1526 \text{ m/s}^2$ atau kalau dibulatkan akan menjadi $1,15 \text{ m/s}^2$. Momen inersia katrol untuk eksperimen 2 mode 1 adalah $I = 5,97 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$. Hasil data percepatan pada eksperimen 2 ini, nilainya lebih besar dibandingkan dengan percepatan pada eksperimen 1. Hal ini terjadi karena gaya berat yang bekerja pada beban M_1+2m di eksperimen 2 lebih besar dibandingkan dengan eksperimen 1, beban M_1+m . Sehingga

hubungan antara percepatan dengan massa beban jatuh berbanding lurus. Momen inersia katrol nilainya tidak akan berubah. Dengan membandingkan nilai momen inersia katrol pada eksperimen 1 dan 2, nilainya cukup berbeda dengan selisih antara keduanya sebesar $1,84 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$. Pada eksperimen 2 mode 2 (A ke B), hasil data percepatannya semakin menurun setiap jarak tempuhnya yang semakin besar, sama seperti eksperimen 1 mode 2.

Terakhir adalah eksperimen 3. Berikut hasil analisis data eksperimen 3 dengan metode grafik yang ditampilkan pada Gambar 4 dan 5. Untuk 1 beban tambahan dengan menggunakan sistem alat pada Gambar 4(a), percepatannya didapat $0,55 \text{ m/s}^2$. Sedangkan dengan



Gambar 4. Grafik hubungan jarak terhadap waktu pada 1 beban tambahan (a) sistem alat dan (b) manual



Gambar 5. Grafik hubungan jarak terhadap waktu pada 2 beban tambahan (a) sistem alat dan (b) manual

stopwatch manual pada Gambar 4(b), percepatannya didapat $0,42 \text{ m/s}^2$. Maka momen inersia katrol dengan data sistem alat adalah $I = 6,42 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$ sedangkan dengan data *stopwatch* manual adalah $I = 9,84 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$. Jika mengamati Gambar 4, grafik data yang dihasilkan dari pengukuran manual masih fluktuatif, berbeda dengan grafik pengukuran otomatis yang teratur dan rapi. Sehingga pengukuran secara otomatis lebih baik dibandingkan dengan pengukuran secara manual.

Hal yang serupa terjadi pada pengukuran waktu tempuh pada 2 beban tambahan dengan mengamati Gambar 5. Percepatan dengan sistem alat pengolahan metode grafik adalah $1,13 \text{ m/s}^2$, sedangkan dengan *stopwatch* manual adalah $0,86 \text{ m/s}^2$. Momen inersia katrol dengan data sistem alat adalah $I = 5,79 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$, sedangkan dengan data *stopwatch* manual adalah $I = 9,48 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$.

Selanjutnya adalah membandingkan nilai momen inersia katrol untuk beban tambahan yang berbeda. Pertama, nilai momen inersia katrol dengan pengukuran otomatis untuk 1 beban tambahan adalah $I = 6,42 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$, sedangkan untuk 2 beban tambahan adalah $I = 5,79 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$. Kedua, nilai momen inersia katrol dengan pengukuran manual untuk 1 beban tambahan adalah $I = 9,84 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$, sedangkan untuk 2 beban tambahan adalah $I = 9,48 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$. Selisih nilai momen inersia katrol manual lebih kecil dibandingkan dengan selisih untuk pengukuran otomatis. Namun dalam menentukan nilai momen inersia yang terbaik dan terjamin adalah nilai yang dihasilkan dari pengukuran otomatis karena pengukuran manual masih terdapat data waktu yang fluktuatif.

PENUTUP

Perancangan dan pembuatan sistem alat ukur waktu otomatis pada pesawat Atwood telah dilaksanakan. Sistem alat ukur telah berhasil diuji dalam mengukur waktu tempuh beban jatuh dan layak digunakan untuk eksperimen pesawat Atwood.

Percepatan GLBB dapat ditemukan dengan pengolahan grafik data pengukuran waktu pada mode 1. Pada mode 2, beban M_1 mengalami GLBB diperlambat akibat adanya gaya gesekan antara sumbu putar katrol dengan tiang. Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan, percepatan berbanding lurus dengan massa beban tambahannya.

Momen inersia katrol pada pesawat Atwood dapat ditentukan dari pengukuran waktu pada GLBB dipercepat saja. Momen inersia katrol yang didapatkan dari hasil pengolahan data eksperimen-eksperimen yang telah dilakukan adalah $7,81 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$; $5,97 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$; $6,42 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$; dan $5,79 \times 10^{-3} \text{ kg m}^2$.

Dalam mendemonstrasikan GLB pada mode 2, diagram gaya bebas pada masing-masing beban pada pesawat Atwood harus bernilai nol. Sehingga diperlukan massa beban M_2 (massa beban sebelah massa beban jatuh yang ditinjau, M_1) dibuat sedemikian rupa untuk bisa menghasilkan diagram gaya bebas yang nol. Untuk penggunaan pesawat Atwood selanjutnya, gaya gesekan antara sumbu putar katrol dengan tiang harus dibuat sekecil mungkin karena gaya tersebut berpengaruh pada gerakannya beban.

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, M. (2016). *Fisika Dasar I*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

- Astro, R. B., Ratnaningsih, F., Asmarani, R., Aimon, A. H., & Kurniasih, N. (2018). "Penentuan Momen Inersia Katrol pada Pesawat Atwood dengan Metode Video Tracking." *Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains*, (pp. 32-39). Bandung.
- Azar, A. (2011). *Media Pembelajaran. Evaluasi Pembelajaran, dsb.* Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Fraden, J. (2003). *Handbook of Modern Sensors : Physics, Designs, and Applications 3rd Edition*. New York: Springer-Verlag, Inc.
- Monteiro, M., Stari, C., Cabeza, C., & Marti, A. C. (2015). "The Atwood machine revisited using smartphones". *The Physics Teacher* 53, 373-374.
- Physics Department CUNY. (2011). *Introductory Physics Laboratory Manual*. New York: The City University of New York.
- ROHM Semiconductor. (2019). *Reflective photosensor (photoreflector)*. Diakses dari www.rohm.com
- Saraswati, D. L., & Putri, D. A. (2018). "Architecture of Atwood Machine Props with Sensor-based Passive Infrared". *Indonesian Review of Physics Volume I Number I*, 15-18.
- Wahid, M. A., & Rahmadhani, F. (2019, 2). "Eksperimen Menghitung Momen Inersia dalam Pesawat Atwood Menggunakan Katrol dengan Penambahan Massa Beban". *Jurnal Phi: Jurnal Pendidikan Fisika dan Fisika Terapan*, 1-7.
- Yahdi, U. (1996). *Pengantar Fisika Mekanika*. Depok: Gunadarma.