

Penentuan Momen Inersia Katrol pada Pesawat Atwood dengan Metode *Video Tracking*

Richardo Barry Astro^{1,a)}, Faridah Ratnaningsih^{1,b)}, Rina Asmarani^{1,c)}, Akfiny Hasdi Aimon^{2,d)}, dan Neny Kurniasih^{3,e)}

¹Program Studi Magister Pengajaran Fisika,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

²Kelompok Keilmuan Fisika Material Elektronik,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

³Kelompok Keilmuan Fisika Bumi dan Sistem Kompleks,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

^{a)}richardobarryastro@gmail.com

^{b)}fayfaridahratnaningsih@gmail.com

^{c)}rina.asmarani16@gmail.com

^{d)}akfiny@fi.itb.ac.id

^{e)}neny@fi.itb.ac.id

Abstrak

Pengukuran parameter gerak benda pada eksperimen pesawat Atwood umumnya dilakukan secara manual, seperti pengukuran jarak tempuh dapat menggunakan mistar atau meteran, dan pengukuran waktu tempuh benda dapat menggunakan stopwatch. Kedua proses pengukuran tersebut sangat rentan akan kesalahan, baik kesalahan dari faktor sensitivitas alat ukur ataupun kesalahan pada waktu pengambilan data. Salah satu solusi untuk mengurangi kesalahan pengukuran adalah dengan menggunakan aplikasi "Tracker". Aplikasi "Tracker" merupakan perangkat lunak untuk menganalisis gerak benda melalui video. Selanjutnya dengan aplikasi "Tracker", video dipecah menjadi kumpulan "frame" sehingga dihasilkan parameter pengukuran yang lebih akurat. Data yang diperoleh dari eksperimen pesawat Atwood ini kemudian digunakan untuk menentukan momen inersia katrol yang digunakan. Momen inersia katrol yang diperoleh dari eksperimen pesawat Atwood dengan metode video tracking ini memberikan hasil sebesar $(10,76 \pm 0,818) \times 10^{-5} \text{ kg.m}^2$.

Kata-kata kunci: Pesawat Atwood, "Video Tracking", Momen inersia katrol

PENDAHULUAN

Fisika adalah ilmu pengetahuan yang mempelajari tentang gejala alam dan interaksi antarbenda yang ada di alam semesta. Untuk memahami gejala-gejala fisika secara penuh, tidak bisa hanya sebatas aktivitas pembelajaran dalam kelas untuk mengkaji teori-teori yang ada. Eksperimen sangat diperlukan untuk dapat memahami gejala-gejala alam tersebut. Kegiatan eksperimen fisika dapat melibatkan peserta didik seperti pada proses pengidentifikasian masalah, merancang prosedur penyelesaian masalah, dan memberikan analisa serta kesimpulan perihal fenomena fisika yang terjadi. Dengan melakukan eksperimen maka dapat membantu peserta didik dalam memahami lebih baik konsep-konsep dan prinsip-prinsip fisika.

Pesawat Atwood merupakan salah satu eksperimen fisika yang sering digunakan dalam memahami konsep mekanika gerak, yakni gerak lurus beraturan (GLB) dan gerak lurus berubah beraturan (GLBB). Pada eksperimen pesawat Atwood, peserta didik dapat mengamati langsung prinsip hukum I Newton dan hukum II Newton. Dalam pelaksanaan eksperimen pesawat Atwood, umumnya pengukuran parameter gerak benda dilakukan secara manual. Pengukuran jarak tempuh menggunakan mistar atau meteran sedangkan pengukuran waktu tempuh benda dengan menggunakan *stopwatch*. Kedua proses pengukuran ini sangat rentan akan kesalahan, baik kesalahan dari faktor sensitivitas alat ukur ataupun kesalahan pada waktu pembacaan data. Salah satu solusi untuk mengurangi kesalahan pengukuran adalah dengan menggunakan aplikasi *Tracker*. *Tracker* merupakan perangkat lunak untuk menganalisis gerak benda melalui video. Selanjutnya dengan aplikasi *Tracker*, video dipecah menjadi kumpulan frame sehingga dihasilkan parameter pengukuran yang lebih akurat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengamati peristiwa GLB dan GLBB untuk menghitung momen inersia katrol. Perhitungan momen inersia katrol dilakukan dengan membandingkan hasil eksperimen dengan perhitungan teoritis. Adapun tahapan yang dilakukan antara lain: mengamati peristiwa GLB dan GLBB melalui eksperimen pesawat Atwood dengan memanfaatkan aplikasi *Tracker*, menyajikan data dalam bentuk grafik posisi terhadap waktu dan kecepatan terhadap waktu, dan menentukan momen inersia katrol.

DASAR TEORI

Gerak Lurus Beraturan

Suatu benda dikatakan melakukan gerak lurus beraturan jika memiliki kecepatan yang konstan. Kecepatan konstan mengandung arti bahwa besar dan arah kecepatannya tetap atau kecepatan awal sama dengan kecepatan akhir. Karena besar kecepatan selalu konstan maka bisa dikatakan benda bergerak pada lintasan lurus. Pada gerak lurus beraturan (GLB) kelajuan dan kecepatan hampir sulit dibedakan karena lintasan yang lurus menyebabkan jarak dan perpindahan yang ditempuh besarnya sama. Padahal secara konsep fisika, kelajuan dan kecepatan adalah hal yang berbeda. Kecepatan adalah perbandingan antara perpindahan dengan lama waktu melakukan perpindahan. Sedangkan kelajuan adalah perbandingan antara jarak yang ditempuh dengan waktu tempuh. Secara sederhana, peristiwa GLB terjadi jika resultan gaya yang bekerja pada benda sama dengan nol. Persamaan GLB secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut [1]:

$$y(t) = y_0 + vt \quad (1)$$

Dengan y_0 adalah posisi awal (m), v adalah kecepatan konstan benda (m/s) dan t adalah waktu tempuh (s).

Gerak Lurus Berubah Beraturan

Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) adalah gerak benda yang lintasannya berupa garis lurus dan kecepatannya berubah secara konstan terhadap waktu sehingga menimbulkan adanya perubahan kecepatan (percepatan atau perlambatan) yang konstan. Percepatan konstan menghasilkan kemiringan kurva v terhadap t adalah konstan. Peristiwa GLBB terjadi ketika resultan gaya yang bekerja pada sistem bernilai tetap dan tidak sama dengan nol. Persamaan GLBB secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$v_y = v_{0y} + a_y t \quad (2)$$

$$y = y_0 + v_{0y} t + \frac{1}{2} a_y t^2 \quad (3)$$

$$v_y^2 = v_{0y}^2 + 2a_y \Delta y \quad (4)$$

Dengan y_0 adalah posisi awal (m), v_{0y} adalah kecepatan awal (m/s), v_y adalah kecepatan akhir (m/s), a_y adalah percepatan benda (m/s²) dan t adalah waktu tempuh (s) [2].

Momen Gaya

Momen gaya atau torsi adalah besaran yang menyebabkan benda bergerak melingkar. Besarnya torsi (τ) dipengaruhi oleh besarnya gaya (F) dan panjang lengan (r). Satuan dari momen gaya atau torsi ini adalah Nm (Newton meter). Pada umumnya disepakati momen gaya yang menyebabkan putaran benda berlawanan putaran jarum jam disebut momen gaya positif yang arahnya sesuai “aturan tangan kanan”. Sedangkan momen gaya yang menyebabkan putaran benda searah dengan putaran jarum jam disebut momen gaya negatif [3]. Persamaan momen gaya secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\vec{\tau} = \vec{r} \times \vec{F} \tag{5}$$

Momen Inersia

Momen inersia adalah ukuran resistansi atau kelembaman sebuah benda terhadap perubahan dalam gerak rotasi. Momen inersia bergantung pada distribusi massa benda relatif terhadap sumbu rotasi benda. Untuk sistem yang terdiri dari N partikel diskret, kita dapat menghitung momen inersia terhadap sumbu putar acuannya dengan persamaan:

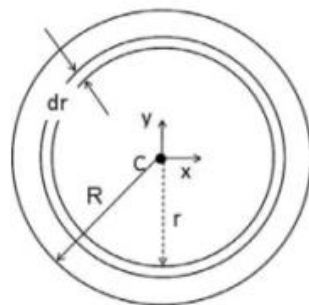
$$I = \sum_{i=1}^N m_i r_i^2 \quad ; i = 1, 2, \dots, N \tag{6}$$

Dengan I adalah momen inersia (kgm²), m adalah massa benda (kg), dan r adalah jari-jari benda (m). Untuk benda dengan massa terdistribusi kontinu, momen inersia didefinisikan sebagai

$$I = \int r^2 dm \tag{7}$$

Untuk menyelesaikan persamaan (7), r dan m harus dinyatakan dalam variabel integral yang sama. Pada objek tiga dimensi, biasanya umumnya dm dinyatakan dalam bentuk elemen volume dV dan densitas ρ , sehingga persamaan momen inersia dapat dituliskan menjadi [4]:

$$I = \rho \int r^2 dV \tag{8}$$



Gambar 1. Silinder pejal [5]

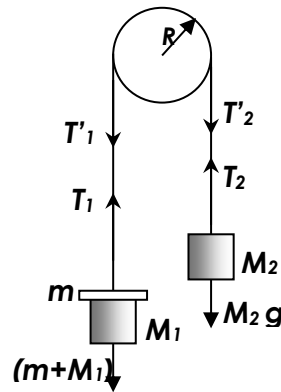
Untuk menghitung besar moment inersia silinder pejal yang homogen (gambar 1), digunakan persamaan [5]:

$$I = \frac{1}{2} mR^2 \tag{9}$$

Momen inersia juga dinyatakan sebagai hasil kali satuan massa dan kuadrat satuan jarak. Definisi lain dari momen inersia adalah perbandingan gaya resultan (momen) terhadap percepatan sudut yang dapat dirumuskan [6]:

$$\vec{\tau} = I \left(\frac{d\vec{\omega}}{dt} \right) = I \vec{\alpha} \tag{10}$$

Pesawat Atwood



Gambar 2. Pesawat Atwood [7]

Pesawat Atwood digunakan untuk memahami konsep gaya. Besar percepatan dan kecepatan tergantung dari massa benda yang digunakan. Jika ingin mendapatkan gerakan yang lambat maka massa benda harus memiliki selisih yang sangat kecil. Jadi dengan mengatur selisih massa maka kita dapat mengatur cepat atau lambat gerakan beban. Bila benda digantung pada tali seperti gambar berikut maka besar percepatan adalah:

$$a = \frac{(M_1 + m - M_2)}{M_1 + m + M_2 + \frac{I}{R^2}} g \tag{11}$$

Tampak dari Persamaan (11), percepatan benda semakin kecil jika selisih massa dua benda atau beban semakin kecil. Dengan demikian, kita dapat menghasilkan percepatan yang diinginkan dengan memilih massa dua benda yang sesuai [6].

Video Analisis Tracker

Tracker merupakan perangkat lunak yang dapat digunakan untuk menganalisis video. *Tracker* dikembangkan oleh *Open Source Physics* (OSP) dengan menggunakan kerangka kerja *Java*. Aplikasi *Tracker* banyak digunakan untuk menganalisis berbagai besaran-besaran fisika antara lain: menentukan kecepatan benda bergerak, menentukan percepatan gravitasi, menentukan besaran momentum dan lain-lain. Aplikasi ini mampu memberikan informasi kedudukan objek yang bergerak dalam video. Melalui aktivitas perekaman suatu fenomena gerak yang nyata dengan menggunakan perekam video maka rekaman tersebut dapat diolah pada aplikasi *Tracker* [8].

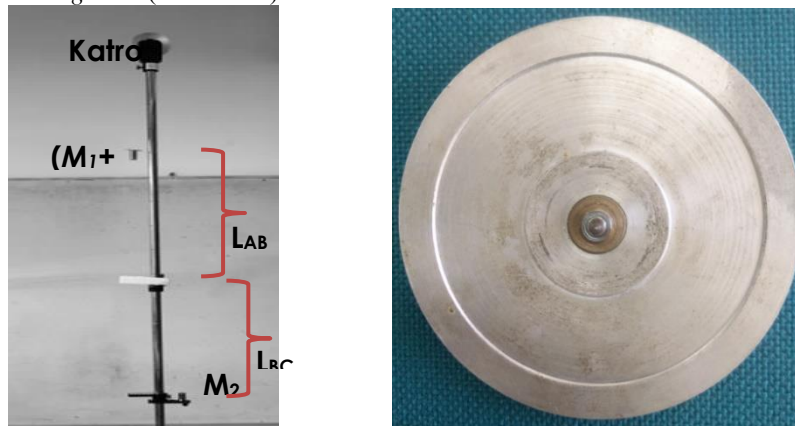
Fitur yang dimiliki oleh *Tracker* antara lain pelacakan objek dengan *overlay* posisi, kecepatan, percepatan, grafik, beberapa kerangka acuan, titik kalibrasi dan profil garis untuk analisis spektrum dan pola interpelasi. Hasil dari analisis video dengan menggunakan *tracker* berupa sekumpulan data dalam bentuk tabel dan grafik. Untuk kinematika, data dalam tabel yang ditampilkan berupa posisi awal, posisi tiap *frame*, kecepatan dan percepatan dan juga persamaan gerak [9].

METODOLOGI EKSPERIMEN

Alat dan Bahan

Sistem utama yang digunakan dalam eksperimen ini meliputi pesawat Atwood dengan benda M_1 , M_2 , dan beban tambahan m . M_1 merupakan benda yang diberi beban tambahan sementara M_2 tidak diberi beban tambahan. Massa $M_1 = M_2 = (86,03 \pm 0,005) \times 10^{-3} kg$. Tiga buah beban tambahan yang digunakan adalah $m_1 = (3,90 \pm 0,005) \times 10^{-3} kg$, $m_2 = (5,86 \pm 0,005) \times 10^{-3} kg$, dan $m_3 = (8,12 \pm 0,005) \times 10^{-3} kg$. Massa katrol yang digunakan $M_{katrol} = (70,26 \pm 0,005) \times 10^{-3} kg$, diameter luar $D_{luar} = (10,500 \pm 0,0025) \times 10^{-2} m$, dan diameter dalam $D_{dalam} = (8,625 \pm 0,0025) \times 10^{-2} m$. Panjang titik AC ($L_{AB} + L_{BC}$) = $(1,00 \pm 0,0025) m$. Eksperimen ini direkam menggunakan kamera *DSLR Canon EOS*

1300D dengan framerate video 50 fps. Aplikasi tracking video yang digunakan adalah *Tracker Video Analysis and Modeling Tool* (Ver 4.11.0).



Gambar 3. Rangkaian dan katrol yang digunakan dalam eksperimen penentuan momen inersia

Prosedur Penelitian

Secara umum eksperimen ini memiliki dua variabel bebas, yakni massa beban tambahan (m) dan panjang L_{AB} serta L_{BC} . Terdapat masing-masing tiga variasi massa dan panjang yang digunakan sehingga diperoleh sembilan variasi data eksperimen. Skema variasi eksperimen disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 1. Skema variasi eksperimen

Eksperimen ke-	M_1 $\times 10^{-3}(\text{kg})$	M_2 $\times 10^{-3}(\text{kg})$	m $\times 10^{-3}(\text{kg})$	L_{AB} (m)	L_{BC} (m)
1	$86,03 \pm 0,005$	$86,03 \pm 0,005$	$3,90 \pm 0,005$	$0,400 \pm 0,0025$	$0,600 \pm 0,0025$
2	$86,03 \pm 0,005$	$86,03 \pm 0,005$	$5,86 \pm 0,005$	$0,400 \pm 0,0025$	$0,600 \pm 0,0025$
3	$86,03 \pm 0,005$	$86,03 \pm 0,005$	$8,12 \pm 0,005$	$0,400 \pm 0,0025$	$0,600 \pm 0,0025$
4	$86,03 \pm 0,005$	$86,03 \pm 0,005$	$3,90 \pm 0,005$	$0,500 \pm 0,0025$	$0,500 \pm 0,0025$
5	$86,03 \pm 0,005$	$86,03 \pm 0,005$	$5,86 \pm 0,005$	$0,500 \pm 0,0025$	$0,500 \pm 0,0025$
6	$86,03 \pm 0,005$	$86,03 \pm 0,005$	$8,12 \pm 0,005$	$0,500 \pm 0,0025$	$0,500 \pm 0,0025$
7	$86,03 \pm 0,005$	$86,03 \pm 0,005$	$3,90 \pm 0,005$	$0,600 \pm 0,0025$	$0,400 \pm 0,0025$
8	$86,03 \pm 0,005$	$86,03 \pm 0,005$	$5,86 \pm 0,005$	$0,600 \pm 0,0025$	$0,400 \pm 0,0025$
9	$86,03 \pm 0,005$	$86,03 \pm 0,005$	$8,12 \pm 0,005$	$0,600 \pm 0,0025$	$0,400 \pm 0,0025$

Semua variasi eksperimen direkam dalam format video menggunakan kamera. Selanjutnya dilakukan analisis video menggunakan aplikasi *Tracker* untuk memperoleh data posisi dan kecepatan tiap satuan waktu. Proses *tracking* dilakukan pada kedua benda pada pesawat Atwood untuk memperoleh data yang lebih akurat. Secara umum proses *tracking* video menggunakan aplikasi *Tracker* adalah sebagai berikut: video hasil eksperimen dipotong sehingga hanya menampilkan peristiwa ketika benda M_1 tepat bergerak dari posisi awal (titik A) hingga mencapai posisi akhir (titik C). Selanjutnya dilakukan pengaturan sumbu koordinat dan kalibrasi jarak pada video. Kalibrasi ini berpatokan pada jarak antara titik A dan titik C (L_{AC}) yang telah dilakukan pengukuran secara manual. Tahap berikutnya adalah menetapkan titik lacak pergerakan benda M_1 dan M_2 yang kemudian dilakukan *tracking* secara otomatis. Hasilnya berupa data dan grafik posisi serta kecepatan benda M_1 dan M_2 tiap satuan waktu. Data yang diperoleh dari analisis video selanjutnya dipisah berdasarkan peristiwa gerak yang dialami (GLB dan GLBB).

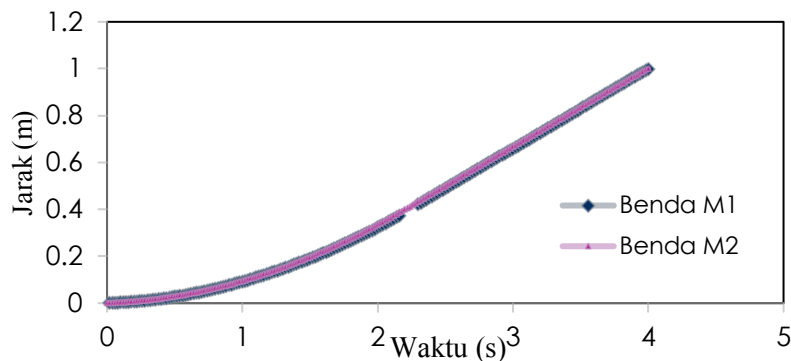
Berdasarkan persamaan (2), nilai percepatan dapat diperoleh melalui regresi linear grafik $v-t$ ketika benda mengalami GLBB, dimana percepatan merupakan gradien grafik tersebut. Untuk menentukan momen inersia katrol digunakan persamaan (11). Hasil perhitungan tersebut kemudian dibandingkan dengan

perhitungan teoritis momen inersia (persamaan 9) sehingga diperoleh galat (*error*) menggunakan persamaan berikut:

$$error = \left| \frac{I_{eksperimen} - I_{teori}}{I_{teori}} \right| \times 100 \% \tag{12}$$

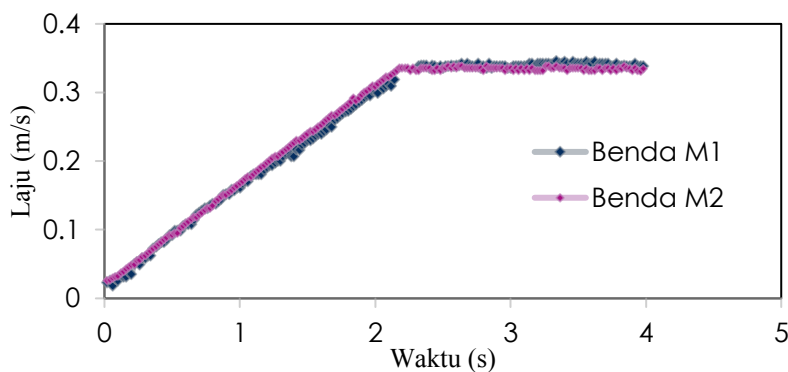
HASIL EKSPERIMEN PESAWAT ATWOOD

Eksperimen dilakukan dengan mengubah beberapa variabel yaitu massa beban tambahan *m* dan jarak tempuh (*L_{AB}* dan *L_{BC}*) sebelum beban *m* terlepas (GLBB) dan setelah beban *m* terlepas (GLB). Salah satu hasil eksperimen yang diperoleh dan dianalisis dengan metode *video tracking* terlihat pada grafik jarak terhadap waktu seperti ditunjukkan pada gambar 4. Berdasarkan grafik pada gambar 4, terlihat bahwa lintasan yang ditempuh benda *M₁* berimpit dengan benda *M₂*, yang artinya benda *M₁* dan *M₂* bergerak dengan kelajuan yang sama. Pergerakan yang terjadi pada benda dapat dipisahkan menjadi dua, yaitu ketika bentuk lintasannya parabolik sepanjang lintasan pertama (*L_{AB}*) dan ketika bentuk lintasannya linear pada lintasan kedua (*L_{BC}*). Bentuk lintasan parabolik terjadi ketika beban tambahan masih terpasang di benda *M₁*. Sehingga total berat benda yang turun tidak sama dengan total berat benda yang naik. Karena *netto* gaya tidak sama dengan nol, maka ada percepatan pada benda. Dengan kata lain sistem katrol mengalami GLBB.



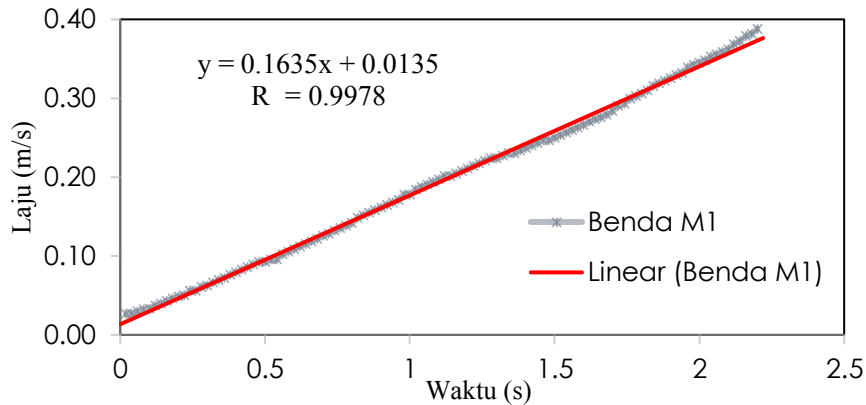
Gambar 4. Grafik jarak terhadap waktu dengan *L_{AB}* = (0,400 ± 0,0025) m, *L_{BC}* = (0,600 ± 0,0025) m, dan beban *m₁*

Bentuk lintasan linear terjadi ketika beban tambahan sudah terlepas dari benda *M₁* sehingga resultan gaya yang bekerja menjadi nol. Dalam kondisi ini sistem katrol tidak mengalami perubahan kecepatan dan mengalami GLB. Dengan demikian benda yang sudah memiliki kecepatan awal, akan terus bergerak dengan kecepatan tetap. Pada grafik (gambar 5) terlihat bahwa dari nol sampai dengan 2 sekon, grafiknya naik secara linear. Berarti pada selang waktu tersebut benda bergerak dipercepat dengan nilai konstan. Setelah 2 sekon, grafik berbentuk horizontal yang berarti pada selang waktu tersebut percepatan benda nol dengan kecepatan konstan. Eksperimen pesawat Atwood dengan metode *video tracking* memberikan gambaran data yang cukup baik dibandingkan dengan metode mengukur waktu tempuh benda secara manual. Melalui metode ini kita dapat menentukan beberapa besaran fisika sekaligus, seperti kecepatan dan percepatan kedua benda serta pergerakan benda secara umum.



Gambar 5. Grafik kelajuan terhadap waktu dengan *L_{AB}* = (0,400 ± 0,0025) m, *L_{BC}* = (0,600 ± 0,0025) m, dan beban *m₁*

Percepatan benda dapat ditentukan ketika benda mengalami gerak lurus berubah beraturan. Sehingga untuk memperoleh nilai percepatan sistem katrol, dilakukan regresi linear grafik $v-t$ pada daerah ketika sistem mengalami gerak lurus berubah beraturan dimana nilai percepatan merupakan gradien garis pada grafik tersebut. Untuk benda M_1 , hasil regresi linear grafik $v-t$ terlihat pada gambar 6 ketika benda mengalami GLBB.



Gambar 6. Regresi linear grafik $v-t$ dengan $L_{AB} = (0,400 \pm 0,0025)$ m, $L_{BC} = (0,600 \pm 0,0025)$ m, dan beban m_1

Berdasarkan hasil regresi pada gambar 6, diperoleh nilai percepatan sistem pesawat Atwood dengan $L_{AB} = (0,400 \pm 0,0025)$ m dan $L_{BC} = (0,600 \pm 0,0025)$ m dan beban $m_1 = (16,35 \pm 0,25) \times 10^{-3}$ m/s². Dengan cara yang sama, percepatan sistem untuk semua variasi eksperimen dapat ditentukan. Selanjutnya dengan menggunakan persamaan (11) maka diperoleh besar momen inersia katrol yang digunakan pada pesawat Atwood yang kemudian dibandingkan dengan perhitungan teori sebagaimana disajikan dalam tabel 2. Berdasarkan tabel 2, momen inersia katrol hasil eksperimen dengan metode *tracking* memberikan nilai yang relatif sama pada semua variasi percobaan dengan rata-rata sebesar $(10,76 \pm 0,818) \times 10^{-5}$ kg.m². Hal ini menunjukkan bahwa analisis *video tracking* mampu memberikan hasil yang cukup akurat terutama dalam menentukan percepatan benda. Namun demikian, momen inersia hasil eksperimen dengan metode *tracking* ini tidak sama dengan perhitungan teoritis dengan tingkat kesalahan rata-rata 11%.

Tabel 2. Hasil penentuan momen inersia pesawat Atwood

Eksperimen ke-	a $\times 10^{-3}$ (m/s ²)	I _{eksperimen} $\times 10^{-5}$ (kg.m ²)	I _{teori} $\times 10^{-5}$ (kg.m ²)	% Kesalahan
1	(163,5 ± 0,248)	10,57 ± 0,873	9,683 ± 0,010	9%
2	(242,7 ± 0,393)	10,74 ± 0,873	9,683 ± 0,010	11%
3	(334,1 ± 0,586)	10,61 ± 0,906	9,683 ± 0,010	10%
4	(161,2 ± 0,222)	11,19 ± 0,824	9,683 ± 0,010	16%
5	(243,3 ± 0,365)	10,63 ± 0,818	9,683 ± 0,010	10%
6	(333,0 ± 0,562)	10,75 ± 0,879	9,683 ± 0,010	11%
7	(163,1 ± 0,180)	10,68 ± 0,695	9,683 ± 0,010	10%
8	(242,6 ± 0,329)	10,76 ± 0,757	9,683 ± 0,010	11%
9	(331,5 ± 0,462)	10,95 ± 0,752	9,683 ± 0,010	13%
rata-rata		10,76 ± 0,818	9,683 ± 0,010	11%

Perbedaan nilai momen inersia hasil eksperimen dengan hasil perhitungan teori dikarenakan jenis katrol yang digunakan dalam eksperimen pesawat Atwood. Dimensi katrol pada eksperimen ini bukan silinder pejal ideal seperti yang terlihat pada gambar 3. Sedangkan pada perhitungan teori, katrol diasumsikan sebagai silinder pejal homogen. Hal lainnya yang turut berpengaruh ialah gesekan antara poros katrol dengan tiang penyangga, hambatan udara yang diabaikan, serta kesalahan pada proses *tracking*.

KESIMPULAN

Metode *video tracking* dapat digunakan dalam eksperimen pesawat Atwood. Penggunaan metode tersebut dapat menunjukkan pergerakan benda yang cukup akurat, sehingga besaran-besaran fisika seperti kecepatan dan percepatan benda dapat ditentukan. Grafik yang dihasilkan dari metode *tracking* memberikan gambaran yang cukup jelas tentang pergerakan benda ketika bergerak GLB dan GLBB. Momen inersia katrol yang diperoleh dari eksperimen pesawat Atwood ini memberikan hasil sebesar $(10,76 \pm 0,818) \times 10^{-5} \text{ kg.m}^2$.

REFERENSI

1. Tipler, Paul A., *Fisika untuk Sains dan Teknik*. Erlangga, Jakarta (1998)
2. Resnick and Walker, *Fisika Dasar Jilid 1 Edisi 7*. Erlangga, Jakarta (2010)
3. Young dan Freedman, *Fisika Universitas*. Erlangga, Jakarta (2006)
4. Giancoli, Douglas C., *FISIKA:Prinsip dan Aplikasi*. Erlangga, Jakarta (2014)
5. Peacock, T., (2007). *Dynamics and Control I*. <https://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-003j-dynamics-and-control-i-spring-2007/lecture-notes/lec11>, diakses pada 26 April 2018
6. Mikrajuddin, A., *Fisika Dasar I*. Ganesha, Bandung (2016)
7. Amaliah, R., (2017). *Laporan Fisika Dasar tentang Pesawat Atwood*. <http://www.slideshare.net/mobile/RezkiAmaliah5/laporan-fisika-dasar-pesawat-atwood-70730076>, diakses pada 26 April 2018.
8. Firdaus, T., (2013). *Tracker Video Analisis Perangkat Lunak*. <http://sanguilmu.com/tracker-video-analisis-perangkat-lunak>, diakses pada 26 April 2018.
9. Marlioni, Fitri, dkk, *Penerapan Analisis Video Tracker dalam Pembelajaran Fisika SMA Untuk Menentukan Nilai Koefisien Viskositas Fluida*. Prosiding Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains 2015, p. 333-336.