

## RANCANG BANGUN KIT PERCOBAAN KONSERVASI MOMENTUM BERBASIS MIKROKONTROLER

<sup>1</sup>Aghy Ali Mughny, <sup>2</sup>Endah Rahmawati

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya  
E-mail: aghymughny@mhs.unesa.ac.id

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang kit percobaan konservasi momentum berbasis sensor fotodiode dan mikrokontroler. Selanjutnya kit digunakan untuk percobaan membuktikan kekekalan momentum pada tumbukan lenting sempurna dan tidak lenting serta kekekalan energi kinetik pada tumbukan lenting sempurna. Variabel manipulasi pada percobaan adalah jarak dan massa. Data pengukuran yang diperoleh adalah waktu *cart* (benda) melintasi sensor (*passing time*) pada sensor satu dan sensor dua. Sensor satu untuk *passing time* sebelum tumbukan dan sensor dua untuk *passing time* sesudah tumbukan. Melalui perhitungan diperoleh data kecepatan, momentum, dan energi kinetik. Percobaan yang sama dilakukan dengan menggunakan kit PASCO, kit gabungan (PASCO dan rancangan), dan kit rancangan. Pada percobaan diperoleh hasil bahwa kit rancangan belum dapat digunakan untuk membuktikan kekekalan momentum dan kekekalan energi kinetik sesuai dengan teori dikarenakan perbedaan momentum dan energi kinetik yang besar. Untuk tumbukan lenting sempurna perbedaan momentumnya 28% dengan perbedaan energi kinetiknya sebesar 48% dan tidak lenting perbedaan momentumnya 17%.

**Kata kunci:** fotodiode, tumbukan, momentum, energi kinetik.

### Abstract

*This research aims to design an experiment kit momentum conservation based photodiode sensor and microcontroller. Furthermore, the kit is used for the experiment proved the conservation of momentum in perfect elastic collision and resilience as well as conservation of kinetic energy in elastic collisions perfect. The manipulated variable in the experiment is the distance and mass. Measurement data obtained is a cart (object) across the sensor (passing time) on the sensor and sensor two. First sensor for passing the time before the collision and second sensors for passing time after the collision. Data obtained through the calculation of the speed, momentum, and kinetic energy. The same experiment was carried out using a kit PASCO, combined kit (PASCO and design), and kit design. In the experimental result that the design kit can not be used to prove the conservation of momentum and kinetic energy conservation in accordance with the theory due to differences in momentum and kinetic energy are great. For perfectly elastic collision momentum difference of 28% with the difference in kinetic energy by 48% and 17% springy momentum difference.*

**Keywords :** photodiode, collision, momentum, kinetic energy.

### PENDAHULUAN

Momentum adalah salah satu topik fisika yang penerapannya banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Momentum adalah ukuran kesukaran untuk memberhentikan suatu benda. Momentum dapat diamati atau dijumpai pada fenomena tumbukan. Setiap hari manusia tidak jauh dari yang namanya tumbukan. Misalnya saja saat bermain *bilyard*, saat bola yang diberi gaya oleh tongkat melaju menuju bola yang lain dan menembuknya, selain itu saat bermain sepak bola, *softball*, tenis, dan masih banyak yang lainnya. Dalam materi kuliah diajarkan tentang tumbukan, jadi peristiwa tersebut dapat dianalisis dengan dua cara, yaitu pertama dengan perhitungan secara teoritikal dan dibantu dengan cara yang kedua, yaitu menggunakan praktikum yang mana fungsinya sebagai pengamatan langsung mahasiswa terhadap peristiwa fisis yang terjadi

Penelitian ini bertujuan untuk membuat kit percobaan konservasi momentum berbasis sensor

fotodiode dan mikrokontroler dimana fungsinya sebagai alat pengamatan langsung pada mahasiswa. Hal ini dilatar belakangi oleh penelitian Wijaya, *et all* (2015) tentang pembuatan kit momentum sederhana dan Fatkhulloh (2012), Purwanti dan Yudhiakto (2014) tentang video pembelajaran dan software logger pro untuk mempermudah pemahaman bagi mahasiswa.

Dalam pengertian momentum, dikatakan bahwa 3pada bola yang ditendang terjadi perubahan momentum akibat adanya gaya yang diberikan dalam selang waktu tertentu. Gaya seperti ini, yang hanya bekerja dalam selang waktu yang sangat singkat, disebut gaya impulsif.

Oleh karena itu, perkalian antara gaya dan selang waktu gaya itu bekerja pada benda disebut impuls. Secara matematis, dituliskan sebagai

$$I = F \cdot \Delta t \quad (2.1)$$

Momentum didefinisikan sebagai ukuran kesukaran untuk memberhentikan suatu benda. Secara matematis dapat ditulis

$$\mathbf{p} = m \cdot \mathbf{v} \quad (2.2)$$

dimana momentum disimbolkan huruf  $\mathbf{p}$  ( $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ), massa benda disimbolkan huruf  $m$  (kg), dan kecepatan benda disimbolkan huruf  $\mathbf{v}$  ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Hubungan kuantitatif antara impuls dan momentum diturunkan berikut ini. Sesuai dengan hukum II Newton, maka

$$\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a} \quad (2.3)$$

Karena percepatan rata-rata  $\mathbf{a} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} = \frac{\mathbf{v}_f - \mathbf{v}_i}{\Delta t}$ , maka

$$\mathbf{F} = m \left( \frac{\mathbf{v}_f - \mathbf{v}_i}{\Delta t} \right) \quad (2.4)$$

$$\mathbf{F} \cdot \Delta t = m \cdot \mathbf{v}_f - m \cdot \mathbf{v}_i \quad (2.5)$$

Persamaan di atas dapat di tulis menjadi hubungan impuls- momentum  $\mathbf{F} \cdot \Delta t = m \cdot \mathbf{v}_f - m \cdot \mathbf{v}_i$  (2.6)

$$\mathbf{I} = \Delta \mathbf{p} = \mathbf{p}_f - \mathbf{p}_i \quad (2.7)$$

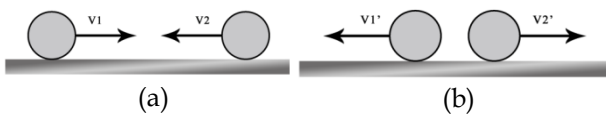
Persamaan di atas dapat dinyatakan dalam kalimat berikut

*“Impuls yang dikerjakan pada suatu benda sama dengan perubahan momentum yang dialami benda itu, yaitu beda antara momentum akhir dengan momentum awalnya”.*

Pernyataan di atas dikenal dengan *“Teorema Impuls-Momentum”*.

### HUKUM KEKALKAN MOMENTUM

Dua benda bergerak saling mendekat dengan kecepatan  $\mathbf{v}_1$  dan  $\mathbf{v}_2$  dan momentum awalnya  $\mathbf{p} = m_A \cdot \mathbf{v}_A + m_B \cdot \mathbf{v}_B$  seperti tampak pada gambar 2.1 (a). Kedua bola akan bertumbukan sehingga setelah tumbukan benda (1) akan berbalik arah ke kiri dengan kecepatan  $\mathbf{v}_1'$  dan benda (2) akan berbalik arah ke kanan dengan kecepatan  $\mathbf{v}_2'$  dan momentum akhirnya  $\mathbf{p}' = m_A \cdot \mathbf{v}_A' + m_B \cdot \mathbf{v}_B'$  seperti pada Gambar 2.1 (b).



**Gambar 2.1** Momentum (a). Sebelum tumbukan, (b). Setelah Tumbukan

Pada peristiwa semua tumbukan akan berlaku hukum kekekalan momentum. Hukum kekekalan momentum linear

*“Dalam peristiwa tumbukan, momentum total sistem sesaat sebelum tumbukan sama dengan momentum total sistem sesaat sesudah tumbukan, asalkan tidak ada gaya luar yang bekerja pada sistem.”* Formulasi hukum kekekalan momentum linear diatas dapat dinyatakan :

$$\mathbf{p}_{\text{sebelum}} = \mathbf{p}_{\text{sesudah}} \quad (2.11)$$

$$\mathbf{p}_A + \mathbf{p}_B = \mathbf{p}_A' + \mathbf{p}_B' \quad (2.12)$$

$$m_A \cdot \mathbf{v}_A + m_B \cdot \mathbf{v}_B = m_A \cdot \mathbf{v}_A' + m_B \cdot \mathbf{v}_B' \quad (2.13)$$

### JENIS-JENIS TUMBUKAN

Tumbukan merupakan peristiwa bertemunya dua buah benda yang bergerak. Saat tumbukan berlaku hukum kekekalan momentum tapi tidak selalu berlaku hukum kekekalan energi kinetik. Mungkin sebagian energi kinetik diubah menjadi energi panas akibat adanya tumbukan. Peristiwa tumbukan antara dua buah benda dapat dibedakan menjadi beberapa jenis, yaitu :

1. Tumbukan Lenting Sempurna
2. Tumbukan Lenting Sebagian
3. Tumbukan Tidak Lenting.

Perbedaan tumbukan-tumbukan tersebut dapat diketahui berdasarkan nilai koefisien tumbukan (koefisien restitusi) dari dua benda yang bertumbukan.

*“Koefisien restitusi (diberi lambang e) adalah negatif perbandingan antara kecepatan relatif sesaat sesudah tumbukan dengan kecepatan relatif sesaat sebelum tumbukan untuk tumbukan satu dimensi”*

Secara matematis, koefisien restitusi dapat dinyatakan dengan persamaan,

$$e = - \frac{\mathbf{v}_1' - \mathbf{v}_2'}{\mathbf{v}_1 - \mathbf{v}_2} \quad \text{dengan } e = \text{koefisien restitusi} \quad (0 \leq e \leq 1) \quad (2.14)$$

#### Tumbukan lenting sempurna

Pada tumbukan lenting sempurna, target dari benda yang akan ditumbuk harus diperhatikan. Terdapat dua target dalam tumbukan ini yaitu target diam dan target bergerak. Dalam target diam terdapat beberapa klasifikasi yaitu dengan massa yang sama, target yang masif dan proyektil yang massif. Tumbukan antara dua buah benda dikatakan lenting sempurna apabila jumlah energi kinetik benda sebelum dan sesudah tumbukan tetap, sehingga nilai koefisien restitusi sama dengan 1 ( $e=1$ ). Sehingga pada tumbukan lenting sempurna berlaku hukum kekekalan momentum dan hukum kekekalan energi kinetik yaitu energi kinetik sistem sesaat sebelum dan sesudah tumbukan sama besar.

$$EK_1 + EK_2 = EK'_1 + EK'_2 \quad \frac{1}{2} m_1 \cdot \mathbf{v}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \cdot \mathbf{v}_2^2 = \frac{1}{2} m_1 \cdot (\mathbf{v}'_1)^2 + \frac{1}{2} m_2 \cdot (\mathbf{v}'_2)^2 \quad (2.15)$$

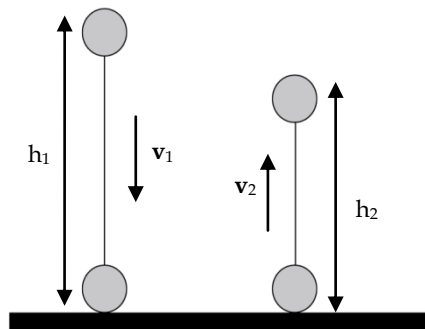
Pada hukum kekekalan momentum linear memberikan persamaan

$$m_1 \cdot \mathbf{v}_1 + m_2 \cdot \mathbf{v}_2 = m_1 \cdot \mathbf{v}'_1 + m_2 \cdot \mathbf{v}'_2 \quad (2.16)$$

#### Tumbukan lenting sebagian

Pada tumbukan lenting sebagian, hukum kekekalan energi kinetik tidak berlaku karena terjadi perubahan energi kinetik sebelum dan sesudah tumbukan. Pada tumbukan lenting sebagian hanya berlaku hukum kekekalan momentum saja dan koefisien restitusi tumbukan lenting sebagian mempunyai nilai diantara nol dan satu ( $0 < e < 1$ ).

Sebagai contoh adalah bola tenis yang dilepas dari ketinggian  $h_1$  di atas lantai, setelah menumbuk lantai bola terpelanting setinggi  $h_2$  di atas lantai, dan  $h_2$  lebih kecil dari pada  $h_1$  seperti pada gambar 2.2 :



Gambar 2.2 Bola yang Dijatuhkan

### Tumbukan tidak lenting

Tumbukan antara dua buah benda dikatakan tidak lenting sama sekali sesudah tumbukan kedua benda menjadi satu (bergabung), sehingga kedua benda memiliki kecepatan sama yaitu:

$$v_2' = v_1' = v' \quad (2.18)$$

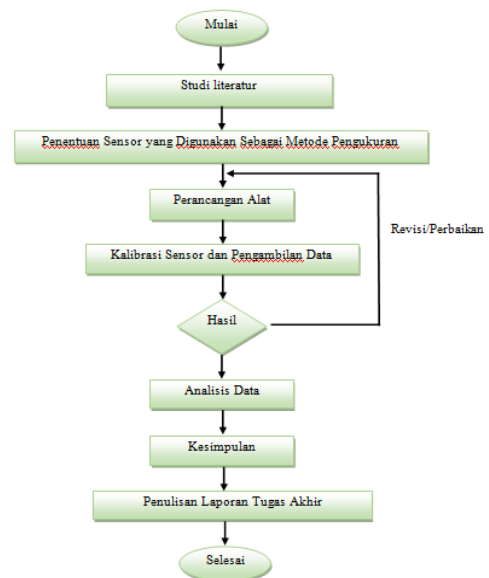
Pada tumbukan tidak lenting sama sekali, jumlah energi kinetik benda sesudah tumbukan lebih kecil dibanding jumlah energi kinetik benda sebelum tumbukan. Jadi pada tumbukan ini terjadi pengurangan energi kinetik. Nilai koefisien restitusi pada tumbukan tidak lenting sama sekali adalah nol ( $e=0$ ).

Sehingga pada tumbukan tidak lenting sama sekali berlaku persamaan matematis :

$$m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v \quad (2.19)$$

### METODE

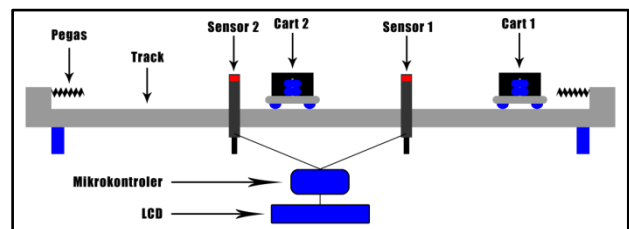
Penelitian ini bertujuan memberikan gambaran secara simulasi kepada praktikan untuk lebih memahami materi tentang tumbukan. Adapun langkah-langkah penelitian yang dilakukan akan di gambarkan secara umum dalam bentuk diagram alir pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian terdapat variabel operasional yang digunakan yaitu variabel kontrol, variabel manipulasi, dan variabel respons. Variabel kontrol adalah sesuatu yang tidak berubah dan dalam penelitian ini sesuatu yang tidak dapat diubah adalah panjang dari bendera pada *cart* (benda yang bergerak). Variabel manipulasi pada penelitian ini adalah kit percobaan yang digunakan, percobaan yang dilakukan, beban yang berada pada *cart*, dan jarak antar sensor. Variabel respons dalam penelitian ini adalah perubahan HIGH LOW pada sensor fotodiode yang nantinya digunakan untuk mengetahui waktu dan kecepatan dari *cart* yang melewati sensor.

KIT percobaan konservasi momentum ini terdiri dari komponen mekanik berupa lintasan sepanjang 2 m dan juga *cart* dan komponen elektrik berupa rangkaian sensor fotodiode dan *hardware* mikrokontroler arduino..

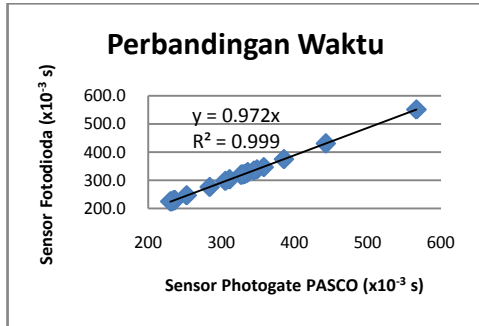


Gambar 3.2. KIT percobaan konservasi momentum berbasis sensor fotodiode dan mikrokontroler.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah berhasil dirancang kit percobaan konservasi momentum dengan cara mengukur waktu benda yang melintas dengan menggunakan sensor fotodiode dan digunakan untuk menghitung kecepatan benda tersebut. Sebelum digunakan untuk mengukur waktu pada lintasan, terlebih dahulu sensor fotodiode dibandingkan dengan sensor yang telah teruji yaitu sensor

photogate dari PASCO. Tujuannya adalah untuk membandingkan waktu yang terukur tidak berbeda secara signifikan. Cara yang digunakan untuk membandingkan adalah dengan meletakkan kedua sensor pada tempat yang sama (sejajar atas-bawah). Berdasarkan data yang diperoleh didapatkan grafik perbandingan waktu 4.1



Gambar 4.1 Grafik perbandingan waktu yang terukur dari sensor fotodiode dan photogate PASCO

Berdasarkan grafik 4.1 diketahui bahwa perbandingan waktu yang terukur diantara kedua sensor memiliki nilai koefisien korelasi sebesar 0,999. Sehingga nilai waktu dari sensor fotodiode yang terukur memiliki kecocokan yang tinggi dengan sensor photogate dari PASCO dan dengan nilai koefisien korelasi yang mendekati satu maka sensor fotodiode layak untuk digunakan untuk mengambil data. Nilai prosentase perbedaan antara sebelum dan sesudah tumbukan dicari menggunakan rumus

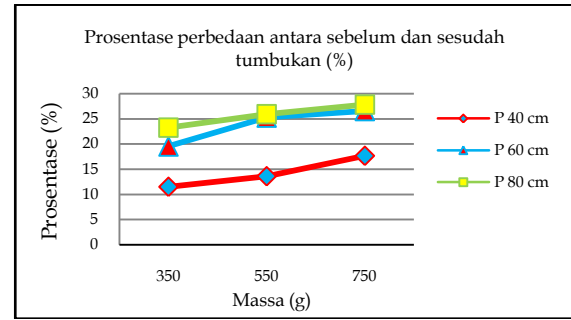
$$e = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100\%$$

Dimana  $P_i$  merupakan momentum sebelum tumbukan dan  $P_f$  merupakan momentum setelah tumbukan

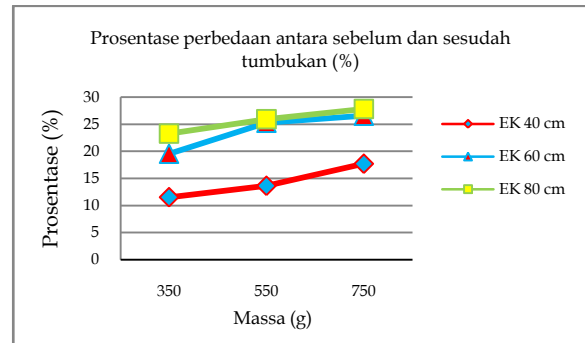
Tabel 4.1 Data tumbukan lenting sempurna kit percobaan konservasi momentum yang telah dibuat

No	Jarak Sensor (cm)	$m_1$ (g)	$m_2$ (g)	Sebelum Tumbukan			Setelah Tumbukan			
				$t_1$ ( $\times 10^{-3}$ s)	$v_1$ ( $\times 10^{-3}$ m/s)	$v_2$ ( $\times 10^{-3}$ m/s)	$v_1'$ ( $\times 10^{-3}$ m/s)	$t_2$ ( $\times 10^{-3}$ s)	$v_2'$ ( $\times 10^{-3}$ m/s)	
								Teori	Percobaan	
1	40	350	350	236	550			267	550	487
				240	541			278	541	467
				275	473			334	473	389
4	60	350	350	232	561			288	561	451
				203	640			272	640	478
				231	563			314	563	414
7	80	350	350	231	563			301	563	432
				200	650			270	650	481
				245	530			340	530	383

Berdasarkan data pada tabel 4.1 didapatkan grafik perbedaan momentum dan energi kinetik sebelum dan sesudah tumbukan seperti pada gambar 4.2 dan 4.3.



Gambar 4.2. Grafik perbandingan momentum sebelum dan sesudah tumbukan



Gambar 4.3. Grafik perbandingan energi kinetik sebelum dan sesudah tumbukan

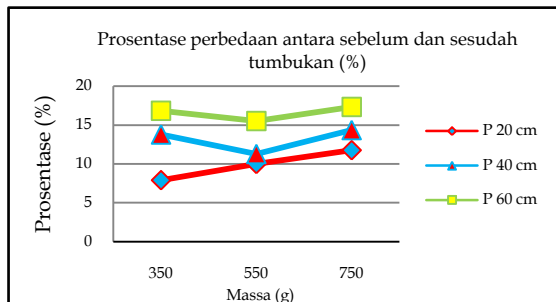
Dari grafik 4.2 dan 4.3 tersebut didapatkan bahwa perbedaan momentum minimal sebelum dan sesudah tumbukan sebesar 12% dan maksimal 27%. Perbedaan energi kinetik minimalnya sebesar 22% dan maksimalnya 48% dimana terjadi perbedaan ini sangat signifikan. Dari data yang didapat kit percobaan yang telah dirancang belum berhasil membuktikan hukum kekekalan momentum maupun hukum kekekalan energi kinetik pada tumbukan lenting sempurna. Walaupun demikian kit yang telah dibuat telah menghasilkan data yang konsisten dalam setiap percobaannya. Penyebabnya karena pemasangan roda terhadap as yang kurang presisi. Selain itu penempatan magnet yang lebih dekat dari pada mobil PASCO membuatnya lebih sering menempel pada sisi yang berlainan sehingga memperbesar perlambatannya

Tabel 4.2 Data tumbukan tidak lenting kit percobaan konservasi momentum yang telah dibuat

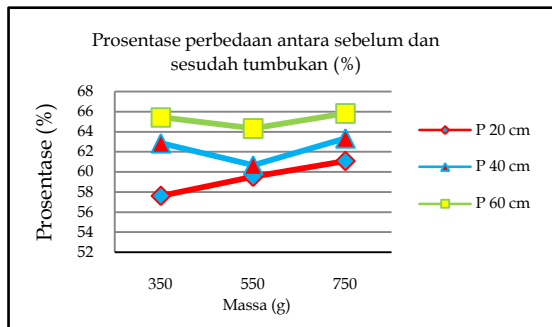
No	Jarak Sensor (cm)	$m_1$ (g)	$m_2$ (g)	Sebelum Tumbukan			Setelah Tumbukan			
				$t_1$ ( $\times 10^{-3}$ s)	$v_1$ ( $\times 10^{-3}$ m/s)	$v_2$ ( $\times 10^{-3}$ m/s)	$t_2$ ( $\times 10^{-3}$ m/s)	$v_2'$ ( $\times 10^{-3}$ m/s)		
								Teori	Percobaan	
1	20	350	350	207	627			450	627	289
				223	584			495	584	263
				229	568			519	568	251
4	40	350	350	170	764			395	764	329
				196	664			441	664	295
				208	624			487	624	267
7	60	350	350	184	706			443	706	294
				193	675			456	675	283
				211	617			510	617	255

Hasil pengolahan data dari tabel 4.2 disajikan dalam grafik perbedaan momentum dan energi kinetik sebelum dan sesudah tumbukan seperti pada gambar 4.4 dan 4.5.





**Gambar 4.5.** Grafik perbandingan momentum sebelum dan sesudah tumbukan



**Gambar 4.5.** Grafik perbandingan energi kinetik sebelum dan sesudah tumbukan

Dari data percobaan tumbukan tidak lenting didapatkan perbedaan momentum minimalnya sangat signifikan yaitu sebesar 8% dan maksimalnya 18%. Perbedaan energi kinetik minimalnya lebih dari 50%. Dapat diartikan bahwa energi kinetik setelah tumbukan menghilang setengahnya. Energi kinetik yang hilang diakibatkan oleh *cart* pertama harus menggerakkan *cart* kedua yang dalam keadaan diam dan bergerak bersamaan, selain itu hilang akibat berganti menjadi energi panas yang keluar saat terjadinya tumbukan. Berdasarkan data tersebut ketidak berlakuan hukum kekekalan energi kinetik dalam tumbukan tidak lenting terbukti.

## PENUTUP

### Simpulan

Perancangan kit percobaan konservasi momentum ini telah berhasil dilakukan. Kit percobaan konservasi momentum ini terdiri dari komponen mekanik berupa lintasan sepanjang 2 m dan *cart*, komponen elektronik berupa sensor fotodioda dan hardware arduino. Penelitian ini bertujuan untuk mengambil data waktu (*passing time*) dari *cart* yang melintasi sensor fotodioda, dimana data waktu yang terukur diolah menjadi data kecepatan, momentum dan energi kinetik.

Pengambilan data pada percobaan ini dilakukan dengan menggunakan tiga manipulasi kit percobaan yaitu kit PASCO, kit gabungan (*cart* PASCO dengan menggunakan sensor dan lintasan dari kit yang telah

dibuat) dan kit percobaan konservasi momentum yang telah dibuat. Berdasarkan data yang diperoleh, untuk tumbukan lenting sempurna didapatkan prosentase perbedaan momentum minimal pada tumbukan lenting sempurna sebesar 12% dan maksimal 27% dengan menggunakan kit yang telah dibuat. Perbedaan energi kinetik minimalnya sebesar 22% dan maksimalnya 48% dimana terjadi perbedaan ini sangat signifikan. Dari data yang didapat kit percobaan yang telah dirancang belum berhasil membuktikan hukum kekekalan momentum maupun hukum kekekalan energi kinetik pada tumbukan lenting sempurna. Walaupun demikian kit yang telah dibuat menghasilkan data yang konsisten dalam setiap percobaannya.

Pada tumbukan tidak lenting dengan kit yang telah dirancang didapatkan perbedaan momentum yang signifikan yaitu sebesar 8% dan maksimalnya 18%. Perbedaan energi kinetik minimalnya lebih dari 50%. Dapat diartikan bahwa energi kinetik setelah tumbukan menghilang setengahnya.. Disini terbukti bahwa hukum kekekalan energi kinetik dalam tumbukan tidak lenting tidak berlaku.

## Saran

Berdasarkan pengalaman pada saat melakukan percobaan disarankan untuk melakukan pengecekan terhadap mekanik yang telah dibuat. Seperti presisi atau tidaknya penempatan roda *cart* terhadap as karena apabila tidak presisi berdampak besar pada hasil penelitian. Penempatan magnet pada bagian depan harus dibuat berjauhan supaya tidak menempel antara magnet *cart* pertama dan *cart* kedua pada saat tumbukan lenting sempurna. Selain itu usahakan perkecil permukaan roda yang bersentuhan dengan lintasan untuk meminimalisir gaya gesek antara roda dan lintasan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Budiana, Agus. *Pengertian, Jenis, dan Rangkaian Dioda*. 4 Februari 2016. <http://agusbudiana1.blogspot.co.id/2014/05/dioda.html>
- Didactic, LD. 2013. *CASSY lab 2 Conservation of momentum and energy (collision)*. Germany : Leybold
- Fatkhulloh. 2012. *Penentuan Koefisien Restitusi Menggunakan Video Based Laboratory dan Logger Pro 3.84*, Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA, 2 Juni 2012. Yogyakarta : UNY
- Giancoli. D.C. 2001. *Physics Principles With Applications, Fifth Edition*. Jakarta: Erlangga.

- Halliday, D & Robert Resnick. 1985. *Fundamentals of Physics Third Edition*. Jakarta: Erlangga.
- Kurniawan, Dwi. 2015. *Perancangan Kit Percobaan Gerak Lurus Berubah Beraturan Pada Bidang Miring*. Surabaya: Unesa.
- Purwanti, Sri & Yudhiakto Pramudya. 2014. *Penentuan Koefisien Restitusi Tumbukan 2 Bola dengan Analisis Tracker*, Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng & DIY, Yogyakarta, 26 April 2014. Yogyakarta
- Scientific, P. 1998. *Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO scientific PASCAR Expanded Dynamics System Manual ME 9431*. CANADA: Pasco.
- Tipler, P. 1998. *Fisika untuk Sains dan Teknik–Jilid I (terjemahan)*. Jakarta : Erlangga.
- Wijaya, Pradita Adnan , Chong, W.L, Enjang, J.M. 2015. *Rancang Bangun Alat Eksperimen Momentum dan Tumbukan*, prosiding SKF 16-17 Desember 2015. Bandung : ITB