

## RANCANG BANGUN BANDUL BALISTIK MENGGUNAKAN HUKUM KEKALKAN MOMENTUM PADA TUMBUKAN TIDAK ELASTIS

Abdur Rohman, Dzulkifli

Jurusan Fisika, FMIPA, UNESA, email : [abdurrohman4656@gmail.com](mailto:abdurrohman4656@gmail.com)

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan merancang aparatus bandul balistik sebagai hukum kekekalan momentum yang berbasis mikrokontroler, dikarenakan bandul balistik (*ballistic pendulum* ME-6830, Pasco) pada Laboratorium eksperimen masih tergolong manual yaitu dengan menggunakan data berupa nilai sudut yang dibaca langsung oleh praktikum. Pada penelitian bandul balistik ini menghasilkan data digital yang diperoleh melalui perekaman dua sensor yaitu sensor *rotary encoder* dan sensor *photodiode*. Nilai momentum dan kecepatan sistem sesaat setelah tumbukan diperoleh ketika peluru ditembakkan terhadap bandul dengan membaca sudut simpang vertikal oleh sensor *rotary encoder*. Sedangkan sensor *photodiode* yang berfungsi untuk menentukan kecepatan peluru sesaat sebelum tumbukan dan diperoleh nilai momentum sebelum tumbukan. Pengambilan data dilakukan dengan memanipulasi massa bandul, dan diulang sebanyak sepuluh kali. Momentum sesaat setelah tumbukan yang diperoleh dari bandul balistik mempunyai nilai error rata-rata 2,107% terhadap nilai momentum sesaat sebelum tumbukan. Berdasarkan hasil pengukuran tersebut dapat disimpulkan bahwa penelitian ini mendekati keberlakuan hukum kekekalan momentum. Sedangkan nilai kecepatan sistem sesaat setelah tumbukan berbanding terbalik dengan penambahan massa bandul.

Kata kunci : Momentum, kecepatan, *rotary encoder*, *photogate*, dan *photodiode*.

### Abstract

*The purposes of this research are to develop ballistic pendulum using momentum conservation law in non-elastic conservation with microcontroller, it cause by ballistic pendulum (ballistic pendulum ME-6830, Pasco) in experiment laboratory is simple, the angle of the ballistic pendulum manually determined by looking at the arc. In this research the digital data obtained from rotary encoder and photodiode sensors. The value of momentum and velocity shortly after the bullet released from projectile launcher the angles determined by digital data from the arc. The functions of photodiode sensors are to determine the bullet velocity shortly before collision. Data obtained by manipulation of pendulum mass, and repeated by ten times. Momentum shortly after collision obtained from ballistic pendulum with error 2,107% to the momentum value shortly after collision. Conclude, from that collected data this research is approaching capability with momentum conservation law. But, the system velocity shortly after collision are opposite with the mass increment.*

**Keywords:** Momentum, velocity, *rotary encoder*, *photogate*, *photodiode*.

## PENDAHULUAN

Hukum kekekalan momentum pada tumbukan merupakan salah satu percobaan fisika dasar di Laboratorium Eksperimen Fisika UNESA. Hukum kekekalan momentum dalam tumbukan terbagi menjadi tiga yaitu pada tumbukan elastis, tumbukan elastis sebagian dan tumbukan tidak elastis. Salah satunya tumbukan tidak elastis adalah bandul balistik merupakan tumbukan dalam satu dimensi. Bandul balistik (*Ballistic Pendulum* ME-6830, Pasco) pada laboratorium eksperimen masih tergolong menggunakan cara yang manual yaitu dengan menggunakan data berupa nilai sudut simpang vertikal bandul balistik yang diamati langsung oleh praktikan di peroleh dari busur. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan merancang instrument dan bandul balistik untuk menentukan hukum kekekalan momentum pada tumbukan tidak elastis.

Bandul balistik merupakan salah satu alat untuk mengukur kecepatan benda yaitu peluru. Peluru yang dilepaskan melakukan tumbukan tidak elastis sempurna dengan suatu benda yang memiliki massa jauh lebih

besar. Percobaan bandul balistik menggunakan metode yang memanfaatkan hukum kekekalan momentum pada pendulum tidak elastis (Silaban P dan Sucipto E, 1987). Pada perancangan bandul balistik yang meliputi sistem mekanik yang dilengkapi dengan sistem elektronik. Sistem mekanik dalam perancangan yang terdiri dari bandul balistik yaitu peluru yang non-elastis, sedangkan pada sistem elektronik menggunakan sensor *rotary encoder* sebagai pendeteksi sudut simpang bandul yang dapat diperoleh melalui mikrokontroler dan ditampilkan pada layar LCD atau serial monitor. Sensor *photodiode* dipasang sebelum bandul balistik yang berfungsi sebagai penentuan kecepatan awal peluru sebelum terjadinya tumbukan.

Penelitian yang dilakukan oleh Vadas dan Hubler (2009) dengan menggunakan sensor *rotary encoder* menghasilkan hubungan sudut terhadap waktu sebagai bahan penentuan percepatan gravitasi bumi, diperoleh nilai korelasi sebesar 0,997 dan penelitian yang dilakukan oleh Setiorini (2014) pada pengujian sensor *photodiode*

sebagai *smart timer*, berdasarkan hasil pengukuran *Pasco Photogate* dan *Smart timer* menggunakan lintasan hasil rancangan pada percobaan materi *instaneous versus average velocity* kesalahan dalam menentukan kecepatan maksimum 0,04%. Dengan alasan inilah, penelitian ini menggunakan sensor *rotary encoder* dan sensor *photodiode*. Dengan biaya yang relatif murah, namun tetap tidak mengurangi nilai keakuratan dalam hasil perolehan data nanti.

Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan mikrokontroler ATmega328p (arduino) yang berfungsi untuk mengkondisikan dan mengatur setiap sensor agar bekerja pada fungsinya. Sensor *rotary encoder* ini menghasilkan perubahan sudut akibat osilasi yang dibuat oleh bandul balistik dan diperoleh perubahan ketinggian yang menghasilkan energi potensial sebagai perhitungan untuk mencari nilai momentum dari bandul balistik. Momentum bandul balistik yang didapatkan sesaat setelah terjadi tumbukan akan dibandingkan dengan momentum sebelum tumbukan dari suatu peluru. Sehingga hukum kekekalan momentum akan berlaku dalam penelitian ini

## TEORI DASAR

Tumbukan dalam fisika secara umum diartikan sebagai interaksi dari dua benda dalam interval waktu yang sangat singkat dan demikian kuatnya sehingga gaya-gaya lain yang bekerja tidak mempunyai arti dibandingkan dengan gaya dari masing-masing benda yang dipergunakan satu sama lainnya selama tumbukan (Halliday, 1987). Tumbukan dibagi menjadi tiga bagian, yaitu tumbukan lenting sempurna artinya tumbukan elastis sempurna, tumbukan elastis sebagian dan tumbukan tidak elastis. Tumbukan yang biasa dilihat sehari-hari misalnya, seseorang yang menendang bola, sebuah raket yang memukul bola tennis, sebuah palu yang di pukulkan terhadap paku dan lain-lainnya. Tumbukan pada sistem balistik merupakan salah satu contoh tumbukan tidak elastis, yang akan dibahas dan diaplikasikan pada perancangan penelitian kali ini.

### A. Hukum Kekekalan Momentum Dalam Tumbukan

Momentum ( $P$ ) dari suatu partikel didefinisikan sebagai hasil kali massa ( $m$ ) dan kecepatannya ( $\vec{v}$ ),  $\vec{P} = m\vec{v}$  Perubahan momentum benda tiap satuan waktu sebanding dengan gaya resultan yang bekerja pada benda dan berarah sama dengan gaya tersebut (Halliday, 1987).

Menurut prinsip konservasi momentum, momentum adalah kekal dalam tumbukan elastis dan tidak elastis. Jika gaya eksternal resultan yang bekerja pada sistem sama dengan nol, maka vektor momentum total vektor sistem tetap konstan (Halliday, 1987). Jika energi kinetik sistem sebelum dan sesudah tumbukan

besarnya sama dikatakan tumbukan elastis, sedangkan jika energi kinetik sebelum dan sesudah tumbukan tidak sama dikatakan tumbukan tidak elastis, jadi energi kinetik sebelum tumbukan lebih besar dari energi kinetik sesudah tumbukan.

$$\frac{1}{2}m_p\vec{v}_{i1} + \frac{1}{2}m_b\vec{v}_{i2} = \frac{1}{2}m_p\vec{v}_{f1} + \frac{1}{2}m_b\vec{v}_{f2}$$

Untuk mengetahui elastisitas suatu tumbukan di ketahu dari konstanta yang disebut koefisien restitusi ( $e$ ) yaitu

$$e = -\frac{\vec{v}_{i2} - \vec{v}_{i1}}{v_{f2} - v_{f1}}$$

dimana

- $e = 1$  tumbukan bersifat elastis
- $0 < e < 1$  tumbukan bersifat elastis sebagian
- $e = 0$  tumbukan bersifat tidak elastis

$$\frac{d\vec{P}}{dt} = 0 \text{ atau } \vec{P} = \text{konstan.} \quad (1)$$

Tumbukan dibedakan kekal tidaknya energi kinetik, jika setelah tumbukan kedua benda menempel menjadi satu disebut tidak elastis. Sebagai pendekatan seringkali di anggap elastis.

Kekekalan momentum awal dan akhir pada peluru dan bandul saat terjadi tumbukan tidak elastis, dimana peluru menempel dalam bandul massa bandul ( $m_b$ ) sebagai berikut

$$\vec{P}_i = \vec{P}_f$$

$$m_p\vec{v}_{pi} + m_b\vec{v}_b = (m_p + m_b)\vec{v}_f$$

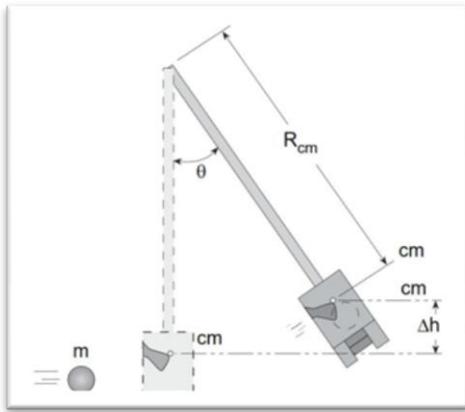
Sperti yang ada pada (Gambar 2.2) sistem ini terdiri dari peluru dan bandul. Karena bandul diam sebelum terjadi tumbukan sehingga kecepatannya nol demikian juga momentum bandul adalah nol. Sedangkan peluru yang ditembakkan mempunyai kecepatan, dengan demikian total momentum sistem sebelum terjadi tumbukan hanya momentum peluru yaitu  $\vec{P}_i$ , dari massa peluru ( $m_p$ ) dan  $\vec{v}_{pi}$  kecepatan peluru sebelum tumbukan

$$\vec{P}_i = m_p\vec{v}_{pi} \quad (2)$$

Dan kecepatan awal peluru  $\vec{v}_{pi} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x}{t}$ , dimana  $x$  adalah jarak antara peluru dan bandul dan  $t$  adalah waktu tempuh yang dibutuhkan peluru untuk menumbuk bandul.

Pada saat tumbukan peluru menempel dalam bandul seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini. Sehingga peluru dan bandul mempunyai kecepatan umum  $\vec{v}_f$  dan gabungan massa total ( $m_p + m_b$ ). Momentum akhir dari sistem ini  $\vec{P}_f$  sehingga

$$\vec{P}_f = (m_p + m_b)\vec{v}_f \quad (3)$$



**Gambar 1** Bandul balistik yang terdiri balok dan peluru (Sumber: Pasco Scientific Model ME-6830) Setelah tumbukan bandul berayun pada poros penyangga. Pada perpindahan sudut  $\theta$  maksimum pusat massa dari sistem meningkat melalui jarak vertikal

$$\Delta h = R (1 - \cos \theta) \quad (4)$$

dan R adalah panjang batang dari poros ke bandul. Pada saat ini energi kinetik awal telah berubah menjadi energi potensial. Sehingga prinsip konservasi energi di peroleh

$$\frac{1}{2} (m_p + m_b) \vec{v}_f^2 = (m_p + m_b) g \Delta h \quad (5)$$

dimanag adalah percepatan gravitasi. Kecepatan dari sistem bandul adalah

$$\vec{v}_f = \sqrt{2g\Delta h} = \sqrt{2gh} \quad (6)$$

Atau

$$\vec{v}_f = \sqrt{2g(R(1 - \cos \theta))} \quad (7)$$

Dengan memasukkan persamaan (2.16) ke dalam persamaan (2.13) diperoleh persamaan untuk momentum system setelah tumbukan

$$\vec{P}_f = (m_p + m_b) \sqrt{2g(R(1 - \cos \theta))} \quad (8)$$

Untuk menentukan kecepatan peluru  $\vec{v}_p$  sebelum bertumbukan ditinjau dari kombinasi persamaan 2.12 dan 2.17 diberikan

$$\vec{v}_p = \frac{m_p + m_b}{m_p} \sqrt{2g(R(1 - \cos \theta))} \quad (9)$$

Dengan ( $m_p$ ) adalah massa peluru dan ( $m_b$ ) adalah massa bandul dan R merupakan jarak dari ujung batang ke pusat bandul.

## METODE

### A. Rancangan Penelitian

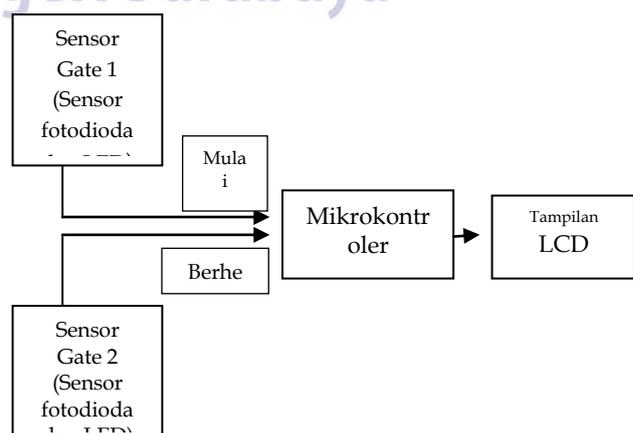
Penelitian ini membahas perancangan bandul balistik sebagai penerapan pengukur kecepatan peluru saat terjadi tumbukan tidak elastis untuk media pembelajaran hukum kekekalan momentum. Pada dasarnya pengukuran kecepatan peluru saat terjadi tumbukan tidak elastis dapat

di peroleh menggunakan alat ukur laboratorium keluaran luar negeri, misalnya *ballistic pendulum* ME-6830 keluaran Pascodan pengukuran kecepatan setelah tumbukan tidak elastis oleh ketinggian sistem dapat diperoleh dari sudut simpang bandul terhadap garis vertikal yang masih diukur secara manual menggunakan busur, namun perkembangan teknologi instrumentasi yang semakin maju mendorong peneliti untuk merancang sistem bandul balistik menggunakan mikrokontroler ATmega 328 dan sensor *rotary encoder* digunakan untuk mengukur akurat sudut simpang bandul terhadap garis verikal. Kecepatan proyektil peluru sebelum terjadi tumbukan tidak elastis dapat dihitung dengan menggunakan sensor photodiode yang mempunyai error 0,04% (Setiorini, 2014). Kisaran harga kecepatan sistem bandul (peluru+bandul) sesaat setelah tumbukan tidak elastis bisa juga digunakan untuk mendeskripsikan peran friksi yang diberikan poros bandul. Selain keakuratan perancangan alat, keakuratan hasil-hasil pengukuran besaran sudut dan waktu dengan menggunakan sensor *rotary encoder* dan sensor *photodiode* juga ikut menentukan kualitas hasil penelitian.

### B. Variabel Operasional Penelitian

Definisi operasional merupakan definisi yang digunakan dalam penelitian. Terdapat tiga variabel operasional penelitian, yaitu variabel kontrol, variabel manipulasi dan variabel respon. Variabel kontrol adalah sesuatu yang tidak berubah dalam penelitian ini sesuatu yang tidak dapat diubah adalah panjang batang (m), kecepatan ( $V_i$ ) peluru ( $m/s$ ) dan ketinggian tempat dari permukaan bumi serta massa peluru (kg). Variabel manipulasi (faktor yang mempengaruhi) yang mempengaruhi pada penelitian ini adalah massa dari sistem bandul (kg). Variabel respons dalam penelitian ini berupa sudut ( $\theta$ ) simpang pada bandul terhadap garis vertikal yang akan digunakan sebagai perhitungan untuk menentukan perubahan posisi (h), momentum sesaat setelah terjadi tumbukan ( $P_f$ ) dan kecepatan ( $V_f$ ) sistem bandul sesaat setelah terjadi tumbukan.

### C. Instrumen Penelitian



**Gambar 2** Diagram blok alat pengukur kecepatan peluru pada *projectile launcher*

Proses akuisisi data yang diatur oleh mikrokontroler berbasis *platform Arduino Uno* sistem instrumentasi dalam penelitian ini juga ikut bertanggung jawab. Komponen dasar untuk rangkaian alat pengukur kecepatan peluru dan sudut simpang bandul terdiri atas : mikrokontroler ATmega 328 sebagai pengatur semua input dan output pada alat ini, sensor *rotary encoder* yang dipasang pada sistem bandul balistik berfungsi sebagai pengukur sudut, 2 sensor *photodiode* dan 2 LED yang pasang pada ujung *projectile launcher* berfungsi saklar memulai perhitungan waktu yang di proses mikrokontroler ATmega 328 dan LCD 16x2 sebagai layar yang menampilkan hasil perhitungan. Berikut ini diagram blok instrument penelitian.



**Gambar 3** Diagram blok alat ukur pengukur sudut simpang maksimal sistem bandul balistik setelah terjadi tumbukan tidak elastis

Prinsip kerjanya (Gambar 3.1) alat pengukur kecepatan dari sistem bandul balistik setelah tumbukan tidak elastis oleh ketinggian peningkatan sistem menggunakan *Port* mikrokontroler ATmega 328 sebagai letak sensor *rotary encoder* yang nantinya berfungsi sebagai pengukur berapa derajat sudut yang berubah setelah terjadi tumbukan pada sistem bandul balistik terhadap sumbu vertikal. Untuk memperoleh berapa kecepatan sistem bandul balistik setelah terjadi tumbukan dengan memasukkan persamaan 2.15 kedalam program mikrokontroler dan hasil di tampilkan pada LCD

#### D. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian skripsi ini meliputi sistem pengukuran, perbandingan dan kemudian menampilkan data. Penelitian pengukuran kecepatan peluru dengan sistem bandul balistik dilakukan dengan menembakkan bola pejal dengan *Projectile launcher* dari Pasco dan direkam menggunakan 2 sensor *photodiode* yang dipasang pada ujung *Projectile launcher* dengan kecepatan peluru yang dikontrol. Untuk penentuan kecepatan setelah terjadi tumbukan tidak elastis pada sistem bandul balistik ditentukan berdasarkan informasi yang diberikan oleh sensor *rotary encoder* yang berupa sudut simpang bandul balistik terhadap garis vertikal dan hasilnya akan ditampilkan pada LCD. Nilai yang tertera pada LCD merupakan data yang akan diolah melalui excel dan menjadi data pengukuran penelitian ini

#### E. Teknik Pengolahan Data

Teknik pengolahan data pada penelitian ini adalah dengan membandingkan data pengukuran dengan data perhitungan yang diperoleh dari persamaan-persamaan yang telah ditentukan. Untuk menghitung nilai kecepatan peluru sesaat sebelum tumbukan dan dibandingkan dengan nilai pengukuran yang terekam oleh sensor *photodiode*. Momentum awal dan akhir adalah sama menurut hukum kekekalan momentum, sehingga diperoleh nilai momentum sesaat setelah tumbukan. Kecepatan sesaat setelah tumbukan diperoleh menggunakan konsep kekekalan energi yaitu energi kinetik dan energi potensial, didapatkan nilai kecepatan sesaat setelah tumbukan. Semua data yang dihasilkan dari cara perhitungan maupun pengukuran menggunakan sensor akan dibandingkan melalui excel dan diketahui nilai error pengukuran

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Penelitian

Penelitian yang bertujuan membandingkan nilai pengukuran dengan nilai perhitungan yang menggunakan konsep hukum kekekalan momentum. Data pengukuran yang diperoleh dari perekaman sensor dan ditampilkan melalui LCD akan diolah menggunakan excel seperti di bawah ini. Sebelum melakukan pengambilan data pengukuran, membandingkan waktu sensor *photodiode* dengan *photogate bracket* dari Pasco. Pengkalibrasian alat perlu dilakukan bertujuan untuk membuktikan kesalahan atau nilai error yang tertera pada alat pengukuran, bahwa alat yang dirancang memenuhi untuk melakukan pengambilan data.

#### B. Membandingkan pengukuran waktu ukur Sensor *Photodiode* dengan *Photogate bracket* (ME-6821A)

Waktu merupakan besaran yang mutlak, artinya pada penelitian ini waktu perekaman yang dilakukan oleh sensor *photodiode* harus dibandingkan terlebih dahulu. Dengan menggunakan *photogate bracket* (ME-6821A) dari Pasco yang jarak antar sensor *photodiode* dibuat sama dengan jarak antar *photogate bracket*. Sensor *photodiode* dari alat pengukuran yang digunakan untuk menentukan kecepatan sesaat sebelum tumbukan. dilakukan dengan memanipulasi jarak awal suatu motor yaitu pada jarak 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cm, dan 60 cm dengan tujuan membandingkan nilai rata-rata waktu dengan jarak yang berbeda. Data perbandingan pengukuran waktu sensor *photodiode* terhadap *photogate bracket* (ME-6821A) adalah sebagai berikut

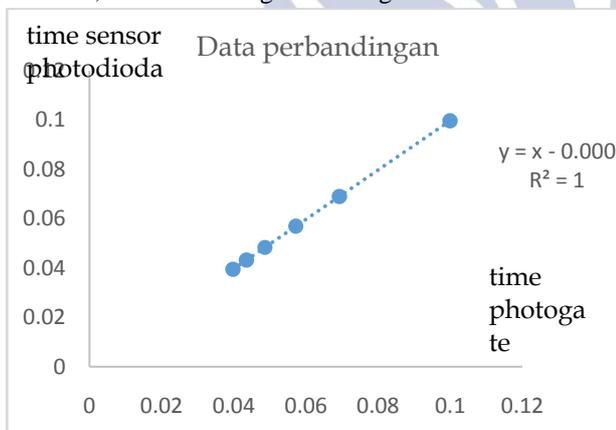
No	Photogate bracket	Sensor photodiode	Error (%)
	t (s)	t (s)	
1	0,03978	0,03958	0,5028

2	0,04355	0,04335	0,4592
3	0,04866	0,04846	0,4110
4	0,05723	0,05703	0,3495
5	0,06933	0,06913	0,2885
6	0,1000	0,09980	0,2000

**Tabel 1** Perbandingan pengukuran waktu sensor photodiode terhadap Photogate bracket (ME-6821A).

Berdasarkan data perbandingan di atas, terdapat data berupa waktu dari photogate bracket (ME-6821A) dengan keluaran data berupa waktu (s). Pada kolom kedua merupakan waktu yang diperoleh dari pengukuran sensor photodiode yang terdapat dialat sistem balistik yang ditaruh pada ujung pistol proyektil. Diperoleh nilai kesalahan terbesar adalah 0,5028 % yang berarti kurang dari satu persen, yang artinya alat perancangan sistem balistik tersebut boleh digunakan untuk pengambilan data penelitian.

Untuk mengetahui hubungan time photogate bracket (ME-6821A) dengan time sensor photodiode dapat dilihat pada gambar 4 di bawah yang menjelaskan bahwa waktu yang diperoleh adalah konstan dalam satu keadaan, dan berbanding lurus dengan nilai korelasi  $R^2=1$



**Gambar 4** Grafik hubungan antara time sensor photodiode dan time photogate bracket (ME-6821A).

**C. Pengukuran Kecepatan Peluru Sebelum Terjadi Tumbukan dan Momentum sesaat Terjadi Tumbukan pada Bandul Balistik**

Data pengukuran dilakukan dengan memanipulasi massa bandul sebanyak tujuh kali perubahan dan diulang sampai 10 kali pengulangan pada setiap massanya.

No	Massa (kg)	Massa peluru (kg)	Sudut (Derajat)	$\vec{v}_f$ (m/s)
1	0,2258	0,009775	9,183	0,2645
2	0,2356	0,009775	8,706	0,2502
3	0,2485	0,009775	8,326	0,2371
4	0,2585	0,009775	7,510	0,2148

5	0,2683	0,009775	7,387	0,2110
6	0,3095	0,009775	6,540	0,1859
7	0,3193	0,009775	6,136	0,1728

**Tabel 2** Data pengukuran kecepatan sistem bandul sesaat

No	Massa (kg)	Massa peluru (kg)	$\vec{P}_i$	$\vec{P}_f$	Error (%)
1	0,2258	0,009775	0,06234	0,06234	0,05882
2	0,2356	0,009775	0,06115	0,06115	0,3876
3	0,2485	0,009775	0,06137	0,06137	0,2086
4	0,2585	0,009775	0,06085	0,06085	5,3285
5	0,2683	0,009775	0,06025	0,06025	1,5817
6	0,3095	0,009775	0,06062	0,06062	1,6199
7	0,3193	0,009775	0,06021	0,06021	5,5639

setelah terjadi tumbukan

Pada tabel 2 dijelaskan bahwa setiap perubahan nilai massa dari bandul (kg) berpengaruh terhadap nilai kecepatan sistem sesaat setelah tumbukan ( $\vec{v}_f$ ) dengan satuan (m/s). Semakin besar massa bandul maka nilai kecepatan sistem balistik semakin kecil. Hal tersebut sesuai dengan teori hukum kekekalan momentum, dengan kecepatan peluru sesaat sebelum tumbukan yang dibuat tetap.

No	Massa (kg)	Massa peluru (kg)	$\vec{v}_{pi}$ (photodiode)	$\vec{v}_{pi}$ teori (balistik)	Error (%)
1	0,2258	0,009775	6,115	6,109	0,09964
2	0,2356	0,009775	6,255	6,030	3,604
3	0,2485	0,009775	6,262	6,028	3,737
4	0,2585	0,009775	6,225	5,680	8,764
5	0,2683	0,009775	6,190	5,792	6,427
6	0,3095	0,009775	6,180	5,885	4,783
7	0,3193	0,009775	6,159	5,644	8,367

**Tabel 3** Data Pengukuran kecepatan peluru/bola sesaat sebelum tumbukan

Perbandingan nilai kecepatan pengukuran peluru sesaat sebelum tumbukan ( $\vec{v}_{pi}$  sensor photodiode) dengan kecepatan peluru sesaat sebelum tumbukan ( $\vec{v}_{pi}$  teori balistik). Berdasarkan tabel di bawah ini, terlihat bahwa kecepatan peluru sebelum tumbukan adalah dikontrol.

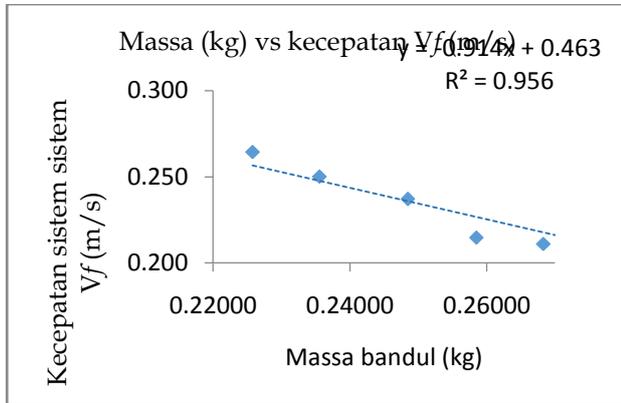
Nilai kesalahan yang diperoleh dengan perubahan massa tujuh kali adalah kurang dari sepuluh persen yang seharusnya perbandingan antara  $\vec{v}_{pi}$  photodiode dan  $\vec{v}_{pi}$  teori balistik tidak jauh berbeda.

Dengan menggunakan konsep hukum kekekalan momentum, diperoleh nilai pengukuran momentum sesaat sebelum tumbukan ( $\vec{P}_i$ ) dan momentum sesaat setelah tumbukan ( $\vec{P}_f$ ). Nilai momentum ( $\vec{P}_f$ )

**Tabel 4** Data pengukuran momentum sesaat sebelum dan sesudah tumbukan

diperoleh dari nilai kecepatan sebelum tumbukan ( $\vec{v}_{pi}$  Photodiode) sedangkan nilai momentum sesaat setelah tumbukan ( $\vec{P}_f$ ) dengan nilai kesalahan yang kurang dari enam persen.

Berdasarkan tabel 4 diperoleh hubungan antara massa yang dimanipulasi terhadap kecepatan sistem sesaat setelah tumbukan.



**Gambar 5** Grafik hubungan antara massa (kg) dengan kecepatan sistem  $\vec{v}_f$  sesaat setelah tumbukan

Apabila dilihat pada gambar di atas maka terbukti bahwa bandul balistik pada pengukuran tersebut dapat dikatakan sesuai dengan konsep hukum kekekalan momentum, dimana nilai kecepatan sistem sesaat setelah tumbukan semakin kecil apabila terdapat penambahan massa pada sistem.

#### D. Pembahasan

Pada pengambilan data ini adalah penentuan kecepatan bandul+peluru (sistem)  $\vec{v}_f$  sesaat setelah terjadi tumbukan, dengan mengukur ketinggian peningkatan sistem ( $\Delta h$ ) memanfaatkan *sensor rotary* untuk mendapatkan sudut simpang maksimal sistem bandul saat terjadi tumbukan, diperoleh 10 data sudut setiap penambahan 7 massa sistem dengan rata-rata data ke-1 sampai data ke-7 adalah 9.18°, 8.71°, 8.33°, 7.51°, 7.39°, 6.54° dan 6.14°. Untuk mendapatkan kecepatan sistem ( $\vec{v}_f$ ) sesaat terjadi tumbukan dari ( $\Delta h$ ) jika dilihat dari tabel 2 setiap penambahan massa, kecepatan sistem sesaat terjadi tumbukan nilainya semakin kecil . sedangkan penentuan kecepatan awal bola ( $\vec{v}_{pi}$ ) dengan memanfaatkan 2 sensor photodiode yang berjarak 4 cm antar sensor untuk mengukur waktu (s) lontar peluru dari Projectile launcher dari waktu yang didapat rata-rata kecepatan peluru 6,198 m/s, sedangkan kecepatan peluru pada bandul balistik di dapat rata-rata 5,811 m/s.

Pada penelitian ini di tuntut untuk menghitung nilai  $\vec{P}_i$  (momentum awal) dan  $\vec{P}_f$  (momentum sesaat setelah terjadi tumbukan). Hal ini bertujuan untuk membuktikan keberlakuan hukum kekekalan momentum pada tumbukan tidak elastis, dari setiap penambahan massa bandul didapat nilai rata-rata  $\vec{P}_i$  sebesar 0,06097 kg.m/s dan nilai  $\vec{P}_f$  sebesar 0,05976 kg.m/s. Diperoleh

nilai momentum error rata-rata 2,107 % yang berarti hasil pengukuran dengan alat bandul balistik yang di rancang sendiri mendekati keberlakuan hukum kekekalan momentum. Penyebab terjadinya error dari penelitian ini di karenakan adanya gaya eksternal seperti gaya gesek pada poros bandul dan kurang seajarnya antara projectile launcher saat ditembakkan terhadap bandul.

## PENUTUP

### Simpulan

1. Pada penelitian ini perancangan alat terdiri dari sistem elektronik dan sistem mekanik, dimana sistem elektronik terdiri dari dua sensor yaitu sensor fotodiode yang berfungsi sebagai perekam waktu dan digunakan sebagai penentuan kecepatan peluru sesaat sebelum tumbukan, dan sensor *rotary encoder* yang digunakan sebagai monitor sudut hasil tumbukan tidak elastis oleh sistem balistik. Sistem mekanik perancangan penelitian adalah sistem balistik yang terdiri dari pistol *projectile launcher* milik pasco, massa peluru yang dikontrol, bandul dengan massa yang dimanipulasi tujuh kali, dan massa batang dengan momen inersia diabaikan menurut persamaan (Ballistic Pendulum ME-6830, Pasco). Berdasarkan data yang diperoleh, setiap penambahan massa bandul nilai kecepatan sistem sesaat setelah tumbukan tidak elastis semakin berkurang. Hal tersebut sesuai dengan teori perhitungan pada hukum kekekalan momentum.
2. Berdasarkan perbandingan antara nilai momentum sesaat sebelum tumbukan dengan momentum sesaat setelah tumbukan diperoleh nilai error rata-rata adalah 2,107 % yang berarti bahwa hasil pengukuran alat perancangan mendekati teori keberlakuan hukum kekekalan momentum.

### Saran

Adapun saran yang diharapkan peneliti demi kesempurnaan pada penelitian berikutnya adalah sebagai berikut

1. Diharapkan pada penelitian berikutnya dapat memperhitungkan nilai inersia dari sistem untuk meminimalisir nilai error pada perbandingan momentum awal dan momentum akhir.
2. Bagi peneliti yang akan melanjutkan penelitian ini diharapkan membuat mekanik bandul yang lebih baik agar saat tumbukan, peluru lebih tertahan di dalam bandul. Karena pada penelitian ini saat kecepatan peluru lebih dari 6 m/s tidak tertahan dalam bandul.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Giancoli, Douglas C. 1997. *Fisika Jilid I Edisi Ketiga*. Diterjemahkan Oleh: Drs. Imawan MS, Drs Yaziz Hasan, Dkk. Jakarta: Erlangga
- Halliday David, Robert Resnick. 1987. *Fisika Jilid I Edisi Ketiga*, Diterjemahkan Oleh: Pantur Silaban Ph.D dan Drs. Edwin Sucipto. Jakarta: Erlangga.
- Vadas, Giantautas dan Alfred Hubler. 2009. A simple, low cost, data-logging pendulum built from a computer mouse. *Physics Education*
- Rahmat S.R, Hendriawan A, Wardhana P.S. 2011. Sistem Otomatis Pemberian Makan Serta Peletakkan Posisi Terlur Pada Sebuah Kandang Burung Puyuh. *Jurnal Jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya*.
- Setiorini Indah, 2014. Rancang Bangun Smart Timer Sebagai Alat Pengukur Waktu dan Kecepatan Untuk Media Pembelajaran Gerak Lurus. *Jurusan Fisika Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Surabaya*
- Scientific, P. 1998. *Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO Scientific Ballistic Pendulum Model ME-6830*. CANADA: Pasco.
- Scientific, P. 1998. *Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO Scientific Projectile Launcher Model ME-6831*. CANADA: Pasco
- Scientific, P. 1998. *Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO Scientific Photogate Bracket Model ME-6821A*. CANADA: Pasco

