

## PENGUKURAN KECEPATAN PELURU DENGAN METODE PENDULUM BALISTIK BERBASIS MIKROKONTROLER

Isna Wirawati<sup>1)</sup>, Endah Rahmawati<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Mahasiswa Prodi S1-Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email : [isnawirawati@gmail.com](mailto:isnawirawati@gmail.com)

<sup>2)</sup> Dosen Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email : [endahrahmawati@gmail.com](mailto:endahrahmawati@gmail.com)

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur kecepatan peluru dengan metode pendulum balistik berbasis mikrokontroler. Pendulum balistik yang digunakan terdiri dari dua sistem yaitu sistem elektrik dan mekanik. Sistem elektrik berupa sistem pengkondisi sinyal (mikrokontroler), dan sensor *rotary encoder* yang berfungsi untuk (1) mengukur sudut simpangan pendulum saat peluru ditembakkan dan menumbuk pendulum, (2) mengukur periode pendulum. Sistem mekanik berupa sistem pendulum dan sistem pelontar. Pengukuran kecepatan peluru menggunakan dua metode perhitungan dengan cara metode aproksimasi dan metode eksak. Hasil uji pengukuran kecepatan peluru pada metode aproksimasi ( $v_1$ ) dan metode eksak ( $v_2$ ) memiliki nilai selisih pengukuran maksimal 4,593 % dengan nilai  $v_1$  adalah 2,852 m/s dan  $v_2$  adalah 2,721 m/s, dan nilai selisih pengukuran minimal 0,019 % dengan nilai  $v_1$  adalah 2,088 m/s dan  $v_2$  adalah 2,087 m/s. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin besar massa peluru semakin kecil nilai kecepatan peluru begitu sebaliknya semakin kecil massa peluru semakin besar nilai kecepatan peluru jika semua variable dan gaya pelontar dibuat tetap.

**Kata Kunci:** kecepatan peluru, pendulum balistik, metode eksak, metode aproksimasi

### Abstract

The research purposes to measure the bullet velocity by ballistic pendulum method. Ballistic pendulum consist of two systems: electrical and mechanical. Electrical system include of a signal conditioning system ( microcontroller ), and a rotary encoder sensor which is used for (1) measuring the pendulum shift angle when a bullet is shot and pouding the pendulum, (2) measuring the pendulum period. Mechanical system in the form of pendulum system and a launcher. The measuring of bullet velocity used two methods of calculation by approximation method and exact method. The test result of measuring bullet velocity on the approximation method ( $v_1$ ) and exact method ( $v_2$ ) have difference value of the maximum measuring 4,593 % with value  $v_1$  are 2,852 m/s and  $v_2$  is 2,721 m/s, and the difference value of maximum measuring 0,019 % with value  $v_1$  are 2,088 m/s and  $v_2$  is 2,087 m/s. It can be concluded that the larger the bullet mass the smaller the value of the bullet velocity so vice versa the smaller the bullet so vice versa the bigger the bullet velocity value.

**Keywords:** Bullet velocity, ballistic pendulum, exact method, and approximate method

### PENDAHULUAN

Peluru merupakan proyektil padat yang ditembakkan dari senjata api atau senapan angin yang terbuat dari logam. Peluru atau proyektil peluru merusak target dengan cara menembusnya dengan energi yang dihasilkan oleh kecepatan yang sangat tinggi. Alat yang memanfaatkan proyektil adalah senjata api. Senjata api merupakan alat bantu mekanis yang berfungsi menembakkan satu atau lebih peluru menuju target yang diinginkan, bekerja berdasarkan prinsip fisika dengan mengaplikasikan teori mekanika pegas. Kecepatan peluru pada senjata api bermacam –macam nilainya. Pada umumnya yang diperlukan saat ini merupakan senjata api dengan daya tembus tinggi. Daya tembus proyektil dapat diketahui melalui pengukuran kecepatan proyektil tersebut. Karena semakin tinggi kecepatan peluru maka semakin tinggi daya tembus peluru tersebut.

Salah satu alat untuk mengukur kecepatan peluru adalah dengan menggunakan pendulum balistik. Peluru

yang dilepaskan melakukan tumbukan tidak elastis dengan suatu benda yang memiliki massa jauh lebih besar. Pendulum balistik pada penelitian ini terdiri dari sistem mekanik dan sistem elektronik. Sistem mekanik yang digunakan berupa pendulum balistik dengan peluru yang non-elastis. Sistem elektronik menggunakan sensor *rotary encoder* sebagai pendeteksi simpangan pendulum dan nilai periode. Pengolahan data dan keluaran sensor diolah oleh mikrokontroler dan ditampilkan pada layar LCD atau monitor PC. Pendulum balistik ini mengadopsi milik *PASCO* dengan menerapkan dua metode pengukuran yaitu metode aproksimasi dan metode eksak (*Scientific, P, 1998*).

Penelitian menggunakan model pendulum balistik pernah dilakukan oleh Abdur Rohman (2015) dengan judul Rancang Bangun Bandul Balistik Menggunakan Hukum Kekalan Momentum Pada Tumbukan Tidak Elastis. Penelitian tersebut bertujuan untuk membuktikan kekekalan momentum. Hasil dari penelitian kurang

maksimal karena kendala pembuatan sistem mekanik pendulum balistik yang mengakibatkan peluru tidak dapat tertahan dalam pendulum. Perhitungan kecepatan peluru pada penelitian tersebut hanya menggunakan metode aproksimasi yang tidak memperhitungkan besarnya inersia pendulum.

Sedikit berbeda dengan penelitian yang dilakukan Abdur Rohman (2015), penelitian ini menerapkan dua metode perhitungan kecepatan yaitu metode eksak dan metode aproksimasi. Perhitungan menggunakan metode eksak memerlukan data periode osilasi pendulum dan sudut. Beberapa cara pengukuran periode osilasi pernah dilakukan diantaranya pengukuran periode osilasi menggunakan sinyal analog melalui *microphone port* pada komputer, dalam pengukuran periode osilasi ini menemukan kendala yang dialami yaitu sulit membuat sistem mekanik gerak pendulum yang stabil dan pengukuran periode yang tepat (Khairurrijal *et al.*, 2012). Selain pengukuran periode osilasi yang pernah dilakukan Khairurrijal *et al.* (2012) pengukuran periode osilasi pernah dilakukan oleh Usayidah (2015) digunakan untuk mengukur nilai percepatan gravitasi bumi lokal dengan sensor *rotary encoder*. Pengukuran periode dilakukan dengan teori yang menggunakan dua persamaan yang berbeda yaitu persamaan untuk osilasi pendulum sederhana dan osilasi pendulum fisis kombinasi.

Pengukuran sudut pada pendulum balistik hasil rancangan adalah dengan rotary encoder yang mengacu penelitian Wahidussilmi (2016) yang berjudul Perancangan KIT Percobaan Penentuan Koefisien Gesek Permukaan Bidang Miring berbasis Sensor Rotary Encoder.

Sensor rotary encoder digunakan untuk menghasilkan perbandingan sudut dengan koefisien kolerasi sebesar 0,999 Penelitian sistem kalibrasi kecepatan sudut dengan kalibrasi rotary encoder pernah dilakukan yang diaplikasikan di mobil untuk mengurangi kecelakaan mobil. Hasil uji kalibrasi yang diterapkan pada metode kalibrasi giroskop mobil memiliki ketidakpastian sebesar 0, 01% (Wataru kokuyama *et al.*, 2016), Hal ini yang memberikan alasan peneliti menggunakan sensor *rotary encoder*.

#### METODE

Pengukuran kecepatan peluru dengan model pendulum balistik ini terdiri dari dua sistem yaitu sistem mekanik dan sistem elektrik. Sistem mekanik pada pendulum balistik terdiri dari sistem pelontar, sistem pendulum dan jenis peluru. Sistem pelontar yang digunakan merupakan jenis pelontar yang memiliki gaya lontar yang sama. Sistem pendulum yang digunakan memiliki nilai jarak dari poros pendulum pada bola (Rb) dan nilai jarak dari titik poros ke pusat massa untuk

pendulum (Rcm) yang tetap. Pada pengukuran kecepatan peluru jenis peluru yang digunakan bentuk (bola) dan jenis sama dengan massa yang berbeda.

Sistem elektrik pada pendulum balistik terdiri dari sensor *rotary encoder*, pengkondisi sinyal, dan display. Sensor *rotary encoder* digunakan untuk (1) mengukur sudut simpangan pendulum ( $\theta$ ) saat peluru mulai ditembakkan atau dilontarkan dan menumbuk pendulum, (2) mengukur periode pendulum. Pengkondisi sinyal Sistem elektrik pada pendulum balistik sebagai pengukuran kecepatan peluru dilengkapi dengan mikrokontroler. Mikrokontroler sebagai sistem kontrol pendulum balistik menggunakan atmega 328 dengan pusat sistem kendali arduino uno. Setelah semua data diterima dan diolah oleh mikrokontroler kemudian, data ditampilkan pada LCD (*Liquid Crystal Display*) dan juga PC (*Personal Computer*). Data yang ada di LCD maupun PC dilengkapi oleh timer. Fungsi timer pada sistem mikrokontroler untuk mengetahui nilai periode yang terukur

**Tabel 1.** Data massa peluru dan massa pendulum

Percobaan ke-	Massa peluru (kg) $m_1$	Massa pendulum (kg) $m_2$	Massa peluru + Massa Pendulum = M (kg)
1	0,01129	0,05000	0,06129
2	0,01185	0,05000	0,06185
3	0,05498	0,05000	0,10498
4	0,06614	0,05000	0,11614
5	0,01129	0,10000	0,11129
6	0,01185	0,10000	0,11185
7	0,05498	0,10000	0,15498
8	0,06614	0,10000	0,16614

Pengukuran sudut simpangan pendulum dengan sensor *rotary encoder* terlebih dahulu dilakukan kalibrasi sensor rotary encoder dengan membandingkan sudut yang terukur pada motor stepper dan perbandingan nilai sudut yang terukur oleh busur derajat. Kalibrasi sensor rotary encoder dengan motor stepper dilakukan dengan metode membandingkan secara langsung.

Tujuan untuk membandingkan sensor *rotary encoder* dengan motor stepper adalah untuk membuktikan nilai sudut yang terukur oleh *sensor rotary* pada pengukuran peluru dengan model pendulum balistik tidak berbeda dengan nilai sudut yang terukur oleh motor stepper. Pada motor stepper memiliki nilai 7, 5° setiap step maka 360° sama dengan 48 step pada motor stepper. Pada sensor rotary encoder memiliki 360° = 4318 counter. Perhitungan untuk menentukan nilai sudut yang terukur sensor rotary encoder dengan perbandingan motor stepper menggunakan persamaan di bawah:

$$\text{sudut yang terbaca rotary} = \frac{\text{data biner yang dibaca sensor}}{\text{skala terbesar nilai rotary}} \times 360^\circ$$

Kalibrasi sensor yang lain dilakukan dengan cara membandingkan hasil rotary encoder dan garis busur dan kalibrasi nilai periode.

Pengukuran kecepatan peluru menggunakan dua metode yaitu aproksimasi dan eksak. Pendulum balistik untuk mengukur kecepatan peluru dengan metode aproksimasi dimulai dengan energi potensial dari pendulum yang berayun:

$$\Delta EP = Mg\Delta h_{cm} \quad (1)$$

Dimana  $M$  adalah kombinasi massa pendulum dan bola,  $g$  adalah gaya gravitasi, dan  $\Delta h$  adalah perubahan tinggi pendulum.

Kemudian disubstitusikan:

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

$$\Delta EP = MgR_{cm}(1 - \cos\theta) \quad (2)$$

Di sini  $R_{cm}$  merupakan jarak dari titik poros ke pusat massa dari sistem pendulum atau bola.  $C_m$  disini adalah pusat massa. Pada peristiwa ini tidak mengalami kehilangan energi sehingga energi potensial sama dengan energi kinetik dari pendulum setelah tumbukan

$$-\Delta EP = \Delta EK \quad (3)$$

$$\Delta EK = \frac{1}{2}Mv_p^2 \quad (4)$$

Momentum pada pendulum setelah tumbukan

$$P_p = Mv_p \quad (5)$$

Disubstitusikan ke dalam persamaan sebelumnya yaitu persamaan (3) dan (4)

$$\Delta EK = \frac{P_p^2}{2M}$$

$$P_p = \sqrt{2M(EK)} \quad (6)$$

Momentum ini sama dengan momentum sebelum tumbukan:

$$P_b = mv_b \quad (7)$$

Pada persamaan ini EK diganti dengan energi potensial

$$mv_b = \sqrt{2M^2gR_{cm}(1 - \cos\theta)}$$

$$v_b = \frac{M}{m}\sqrt{2gR_{cm}(1 - \cos\theta)} \quad (8)$$

Metode perhitungan kecepatan peluru menggunakan metode eksak sebenarnya sama dengan metode aproksimasi yang membedakan adalah ketelitiannya dengan memperhitungkan nilai inersialnya.

Energi potensial pada metode ini sesuai dengan metode pertama yaitu

$$\Delta EP = MgR_{cm}(1 - \cos\theta) \quad (9)$$

Untuk energi kinetik, menggunakan persamaan sudut energi kinetik bukan linier dan kedalam menggunakan persamaan momentum sudut.

$$EK = \frac{1}{2}I\omega^2$$

$$L_p = I\omega$$

$$EK = \frac{L_p^2}{2I} \quad (10)$$

Di sini  $I$  merupakan momentum inersia bandul atau bola, dan  $\omega$  adalah kecepatan sudut setelah tumbukan. Dari persamaan sebelumnya mendapat persamaan akhir dari momentum sudut seperti berikut:

$$L_p = \sqrt{2I(EK)} \quad (11)$$

Momentum sudut ini sama dengan momentum sudut bola sebelum tabrakan, yang diukur dari pusat poros pendulum.

$$L_b = mR_b^2\omega = mR_bv \quad (12)$$

$R_b$  adalah jarak dari poros pendulum pada bola

(Tidak sama dengan  $R_{cm}$  yang merupakan jarak dari titik poros ke pusat massa untuk pendulum). Kedua momentum sudut yang sama satu dengan lainnya, sehingga:

$$mR_bv_b = \sqrt{2IMgR_{cm}(1 - \cos\theta)}$$

$$v_b = \frac{1}{mR_b}\sqrt{2IMgR_{cm}(1 - \cos\theta)} \quad (13)$$

untuk menentukan nilai momentum Inersial dari pendulum dan bola dimulai dengan rotasi setara dengan hukum kedua Newton,

$$\tau = I\alpha \quad (14)$$

Di mana  $\tau$  adalah torsi,  $I$  adalah momentum inersia, dan  $\alpha$  adalah percepatan sudut.  $Mg$  merupakan gaya pada pusat massa, dan bola diarahkan ke pusat pendulum seperti pada gambar 2.3.

$$F = -Mg \sin\theta \quad (15)$$

Torsi pada pendulum adalah

$$I\alpha = MgR_{cm} \sin\theta \quad (16)$$

Untuk sudut kecil  $\theta$ ,  $\sin\theta = \theta$ , jadi jika disubstitusikan dan dipecahkan menjadi

$$\alpha \approx -\frac{MgR_{cm}}{I}\theta \quad (17)$$

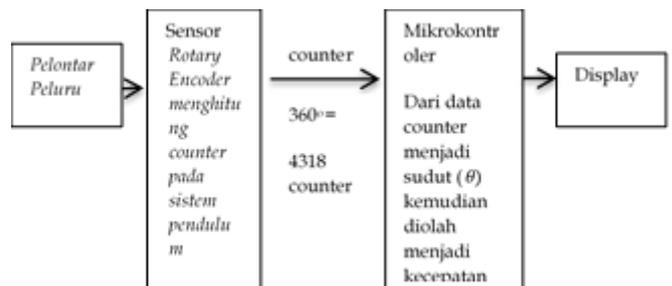
Persamaan sudut ini sama bentuknya dengan persamaan untuk gerak harmonik linier sederhana:

$$\alpha = -\frac{k}{m}x = -\omega^2x \quad (18)$$

Jadi jika membandingkan dua persamaan linear dan persamaan angular, maka dapat melihat pendulum menunjukkan gerak harmonik sederhana dan kuadrat dari kecepatan sudut ( $\omega^2$ ) untuk gerakan ini adalah

$$\omega^2 = \frac{MgR_{cm}}{I}$$

$$I = \frac{MgR_{cm}}{\omega^2} = \frac{MgR_{cm}T^2}{4\pi^2} \quad (19)$$



**Gambar 1.** Diagram blok pengukuran kecepatan peluru pada pelontar peluru

Diagram blok pada gambar 1 menjelaskan peluru yang ditembakkan dari pelontar peluru akan mengalami tumbukan tidak elastis, oleh karena itu *rotary encoder* berfungsi sebagai pengukur sudut simpangan setelah terjadi tumbukan. Sensor *rotary encoder* mengukur  $\theta$  untuk menghitung kecepatan peluru. Sedangkan untuk metode *exact* menghitung inersia, untuk menghitung inersianya perlu periode. Periode adalah waktu digunakan untuk melakukan satu kali getaran. Setelah itu, sensor *rotary encoder* mengirimkan data sudut dan data periode ke mikrokontroler.

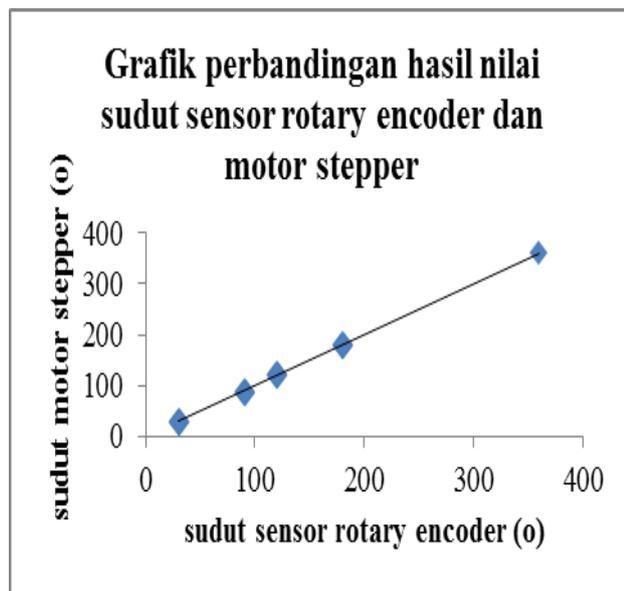
Pengolahan data pada pengukuran diolah mikrokontroler kemudian hasil nilai pengukuran dimasukkan pada tabel data pengolahan.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi sensor rotary encoder dengan motor stepper dilakukan untuk mengetahui nilai sudut yang akurat. Hasil kalibrasi sensor rotary dan motor stepper seperti pada Tabel 1.

**Tabel.1** Hasil kalibrasi sensor rotary encoder dan motor stepper

No	Sudut Motor Stepper (°)	Data Counter	Sudut Terukur Rotary Encoder (°)	Presentase selisih pengukuran (%)
1	360	4318	360	0
2	180	2157,8	179	0,5
3	120	1438,2	119	0,8
4	90	1074,7	86	4,4
5	30	356	29	3,3



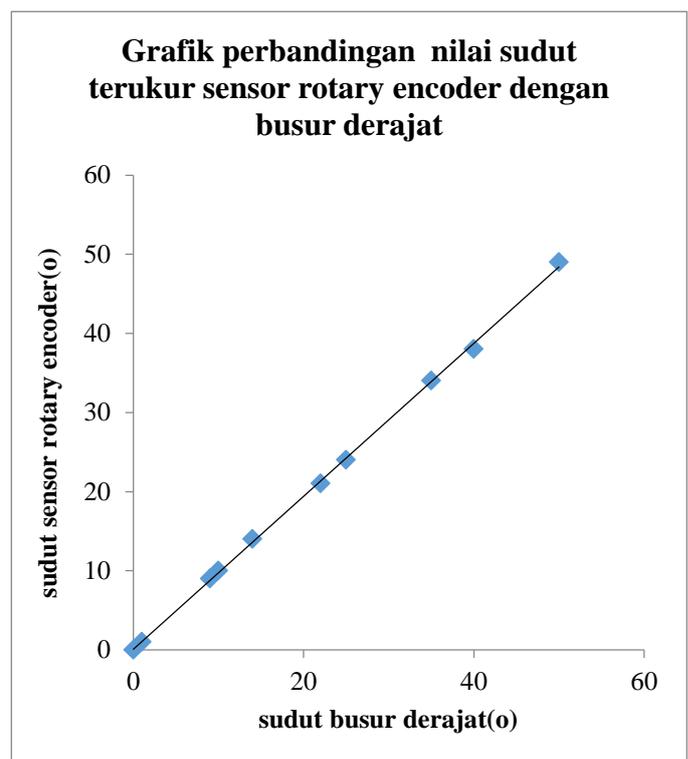
**Gambar 2.** Grafik perbandingan nilai sudut sensor rotary encoder dan motor stepper

Kalibrasi sensor yang kedua dengan membandingkan nilai sudut yang terukur sensor dengan garis busur derajat

**Tabel 2.** Data kalibrasi sudut sensor rotary encoder dengan garis busur derajat.

No	Sudut Sensor Rotary Encoder(°)	Sudut Busur Derajat(°)
1	0	0
2	1	1
3	9	9
4	10	10
5	14	14
6	22	21
7	25	24
8	35	34
9	40	38
10	50	49

Pada Tabel 2 nilai sudut busur derajat diperoleh dengan cara melihat nilai sudut pada garis busur derajat yang ditunjukkan ketika pendulum diayunkan sesuai sudut yang sejajar dengan batang pendulum. Kemudian nilai sudut yang ditunjukkan dengan busur derajat dan yang terukur sensor rotary encoder dibandingkan. Pada perbandingan nilai sudut yang terukur oleh busur derajat dan sensor rotary encoder mempunyai selisih nilai yang sedikit. Selisih pengukuran pada kalibrasi ini terjadi karena dipengaruhi oleh penglihatan peneliti.



**Gambar 3.** Grafik perbandingan nilai sudut terukur sensor rotary encoder dengan busur derajat

**Tabel 3.** Data periode setiap massa peluru

No	Massa Peluru (kg)	n	Sudut (°)	T1 (s)	T2 (s)	Presentasi Selisih Pengukuran (%)
1	0,06129	4	5	1,225	1,268	3,494
2	0,06185	4	5	1,292	1,273	1,460
3	0,10498	4	5	1,267	1,272	0,436
4	0,11614	4	5	1,242	1,278	2,910
5	0,15498	3	5	1,308	1,292	1,263
6	0,16614	3	5	1,242	1,286	3,635
7	0,11129	3	5	1,292	1,309	1,388
8	0,01185	4	5	1,267	1,275	0,689

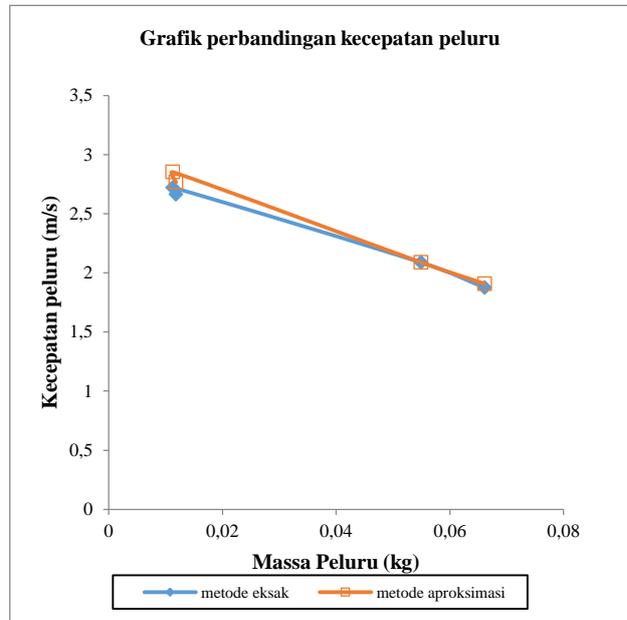
Pada Tabel 3 metode eksak diperlukan data pengukuran periode menggunakan *rotary encoder* dengan sudut simpangan pendulum sebesar 5°. Pada setiap massa peluru perlakuan untuk menghitung periode sama yaitu dengan cara mengayunkan pendulum dan peluru (M) dengan sudut simpangan 5°. Pengukuran periode pada sensor *rotary encoder* dapat dikatakan sesuai maka dibandingkan dengan *stopwatch*. *Stopwatch* menghitung waktu ayunan pendulum. Kemudian jumlah ayunan pendulum (n) dikalikan dengan waktu yang terukur *stopwatch*. Diperoleh nilai periode secara manual (T<sub>1</sub>). T<sub>2</sub> merupakan nilai periode yang terukur oleh sensor *rotary encoder*. Sehingga T<sub>1</sub> dan T<sub>2</sub> mempunyai selisih pengukuran minimal adalah 0,436 % yang mempunyai nilai T<sub>1</sub> sama dengan 1,267 dan T<sub>2</sub> sama dengan 1,272 dengan massa peluru 0,10498 kg. Nilai selisih pengukuran maksimum adalah 3,635 % yang mempunyai nilai T<sub>1</sub> sama dengan 1,242 dan T<sub>2</sub> sama dengan 1,275 dengan massa peluru 0,16614 kg.

Pada pengukuran kecepatan peluru nilai gaya gravitasi dan jarak dari poros pendulum pada bola (R<sub>b</sub>) memiliki nilai tetap yaitu 9,8 m/s<sup>2</sup> dan 0,41 m.

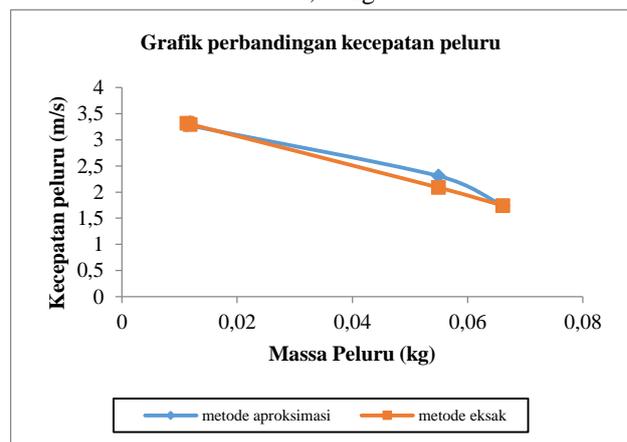
**Tabel 4.** Data pengukuran kecepatan peluru

No	m (kg)	M (kg)	R <sub>m</sub> (m)	T (s)	I	θ (°)	Metode Aproksimasi	Metode eksak	Presentasi Selisih Pengukuran (%)
							v <sub>1</sub> (m/s)	v <sub>2</sub> (m/s)	
1	0,01185	0,06185	0,383	1,267	0,009	16	2,767	2,662	3,794
2	0,01129	0,06129	0,390	1,268	0,009	16	2,852	2,721	4,593
3	0,05498	0,15498	0,405	1,292	0,023	22	2,088	2,087	0,019
4	0,06614	0,11614	0,400	1,278	0,017	32,7	1,908	1,875	1,714
5	0,01185	0,11185	0,407	1,275	0,016	10,4	3,329	3,291	1,118

6	0,01129	0,11129	0,405	1,310	0,017	10	3,286	3,316	0,928
7	0,05498	0,15498	0,405	1,292	0,023	22	2,308	2,087	0,019
8	0,06614	0,16614	0,410	1,287	0,025	20,4	1,737	1,741	0,190



**Gambar 4.** Grafik perbandingan kecepatan peluru metode eksak dan metode aproksimasi dengan massa pendulum 0,05 kg



**Gambar 5.** Grafik perbandingan kecepatan peluru metode eksak dan metode aproksimasi dengan massa pendulum 0,1 kg

Perbedaan hasil pengukuran V<sub>1</sub> (metode aproksimasi) dan V<sub>2</sub> (metode eksak) adalah untuk V<sub>1</sub> mempunyai nilai m, M, R<sub>m</sub> yang sudah ditentukan dan sudut simpangan yang terukur oleh sensor *rotary encoder*. Sedangkan pada V<sub>2</sub> (metode eksak) adalah mempunyai nilai m, M, R<sub>m</sub> yang tetap dengan nilai sudut simpangan dan nilai periode yang terukur sensor *rotary encoder*. Metode eksak membutuhkan perhitungan periode untuk mengetahui nilai momen inersia. Pengukuran periode

dilakukan untuk metode eksak karena metode eksak memperhitungkan nilai gerak rotasi.

Pengukuran yang diukur *sensor rotary* adalah sudut simpangan dan periode. Sudut simpangan dipengaruhi oleh massa peluru dan massa pendulum sehingga semakin kecil nilai massa peluru maka nilai sudut simpangan semakin kecil selain itu dipengaruhi oleh gaya pelontar, jika  $m$  dan  $M$  memiliki nilai tetap maka yang dapat menyebabkan sudut simpangan berubah adalah gaya pelontar. Sudut simpangan ini nantinya diproses menjadi hasil pengukuran kecepatan peluru. Pada data kecepatan peluru Tabel 4 selain massa peluru, massa pendulum, nilai momen inersia dan sudut simpangan yang mempengaruhi nilai kecepatan peluru pada pengukuran adalah jarak dari titik poros ke pusat massa untuk pendulum ( $R_{cm}$ ). Namun nilai  $R_{cm}$  pada penelitian ini mempunyai nilai tetap dengan ukuran pendulum yang sama. Karena pada penelitian ini yang diubah adalah nilai massa peluru dan pendulum. Untuk mengetahui nilai  $R_{cm}$  mempengaruhi nilai kecepatan peluru seharusnya diperlukan manipulasi jarak poros ke pusat massa pendulum.

## **PENUTUP**

### **Simpulan**

Pada penelitian ini telah dirancang sistem pengukuran kecepatan peluru dengan model pendulum balistik berbasis mikrokontroler. Menentukan kecepatan peluru dengan menggunakan dua metode yaitu metode eksak dan metode aproksimasi. Sensor yang digunakan adalah *sensor rotary encoder* untuk mengukur sudut simpangan peluru dengan pendulum saat bertumbukan dan mengukur periode osilasi sistem pendulum. Nilai sudut dan periode digunakan untuk mengukur kecepatan peluru dengan dua metode tersebut. Metode yang digunakan sebagai acuan adalah metode aproksimasi, karena menggunakan perubahan variabel sudut saja. Sesuai teori metode eksak hasil pengukurannya lebih teliti dengan memperhitungkan nilai inersianya karena gerak pendulum balistik bergerak secara rotasi.

Hasil uji pengukuran kecepatan peluru pada metode aproksimasi dan metode eksak memiliki nilai selisih pengukuran maksimal 4,593 % dengan nilai  $v_1$  adalah 2,852 m/s dan  $v_2$  adalah 2,721 m/s, dan nilai selisih pengukuran minimal 0,019 % dengan nilai  $v_1$  adalah 2,088 m/s dan  $v_2$  adalah 2,087 m/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan peluru pada pengukur ini dipengaruhi oleh perubahan (1) massa peluru dan massa pendulum semakin besar massanya semakin rendah kecepatannya begitupun sebaliknya semakin rendah nilai massanya semakin besar nilai kecepatan peluru, (2) sudut simpangan dipengaruhi oleh  $m$ ,  $M$ , atau gaya lontar, (3) jarak dari titik poros ke pusat massa untuk pendulum

( $R_{cm}$ ). Jika nilai  $R_{cm}$  lebih kecil maka kecepatan peluru semakin besar begitupun sebaliknya semakin besar nilai  $R_{cm}$  maka nilai kecepatan peluru semakin kecil.

### **Saran**

Berdasarkan penelitian ini pengukuran kecepatan peluru dengan model pendulum balistik yang perlu diperhatikan adalah pertama pendulum balistik dan letak *sensor rotary encoder*, karena hal ini sangat berpengaruh dalam segi keakuratan data. Kedua, penelitian ini menggunakan pelontar yang memiliki gaya lontar yang sama sehingga tidak terlihat pengaruh tekanannya. Dengan menggunakan pelontar yang memiliki variabel gaya lontar, pengaruh kecepatan peluru dapat dilihat dengan mengubah tekanan. Sehingga mampu membuktikan semakin tinggi tekanan semakin cepat kecepatan peluru. Ketiga, pada penelitian ini panjang batang pendulum mempunyai ukuran sama sehingga pengaruh terhadap  $R_{cm}$  kurang terlihat pada pengukuran kecepatan peluru diperlukan variasi ukuran panjang batang pendulum sebagai variasi  $R_{cm}$ .

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Abdul Kadir, 2013. Panduan Praktis Mempelajari Aplikasi Mikrokontroler dan Pemrogramannya Menggunakan Arduino. ANDI, Yogyakarta.
- Adam Wicaksono dan Iwan D. W. Susanto, 2014. Sistem Otomasi Penggerak Kamera Dengan Motor Step Sebagai Alat Bantu Kalibrasi Alat Ukur Panjang. *J. Otomasi Kontrol Dan Instrumentasi* 2, 105–120.
- Atmega328/P Datasheet Complete, 2016.
- Claudio Lugini. Marcello Romano., 2009. A ballistic-pendulum test stand to characterize small cold-gas thruster nozzles. *ScienceDirect, Acta Astronautica* 64, 615–625.
- Gianccoli, D.C., 1997. Fisika Dasar Jilid 1, 3rd ed. Erlangga, Jakarta.
- Halliday, Resnick, Walker, 2012. Fisika Dasar Jilid 1, 7th ed. Erlangga, Indonesia.
- Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO Scientific Ballistic Pendulum Model ME-6830 [WWW Document], 1998. . Pasco Sci. URL <https://www.pasco.com/prodCompare/ballistic-pendulums/index.cfm> (accessed 1.20.17).
- Khairurrijal, E.W., Wahyu Srigutomo Neny Kurniasih, n.d. Measurement of gravitasi acceleration using a computer microphone port. *Physics Education*. 2012 47, 709–713.
- Pasco Scientific, 1998. Instruction Manual and Experiment Guide for the PASCO Scientific Projectile Launcher Model ME-6831 [WWW Document]. Pasco Sci. URL [https://www.saddleback.edu/uploads/mse/physics/4A\\_labs/ballistic%20pendulum.pdf](https://www.saddleback.edu/uploads/mse/physics/4A_labs/ballistic%20pendulum.pdf)
- Riyanto Sigit (Ed.), 2007. Robotika, Sensor dan Aktuator persiapan lomba kontes robot indonesia dan kontes robot cerdas indonesia, pertama. ed. Graha Ilmu, Yogyakarta.

- Wahidussilmi, 2016. Perancangan KIT Percobaan Penentuan Koefisien Gesek Permukaan Bidang Miring Berbasis Sensor Rotary Encoder dan Mikrokontroler. Universitas Negeri Surabaya, Surabaya.
- Wataru Kokuyama. Author links open the author workspace.Opens the author workspaceOpens the author workspaceTsukasa Watanabe. Author links open the author workspace.Hideaki Nozato. Author links open the author workspace.Akihiro Ota, 2016. Angular velocity calibration system with a self-calibratable rotary encoder. ScienceDirect, Measurement 82, 246–253.