

Rancang Bangun Alat Eksperimen Sederhana Gerak Proyektil

Pradita Adnan Wijaya

Sekolah Pascasarjana Pengajaran Fisika, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa 10 Bandung 40132

Umar Fauzi, Fourier Dzar Eljabbar Latief

Departemen Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesa 10 Bandung 40132

M. Thoha Firdaus

Program Studi Pendidikan Fisika, STKIP Nurul Huda, Sumatera Selatan
Jalan Kota Baru Sukaraja Buay Madang OKU Timur Stkip Nurul Huda, OKU TIMUR

Surat-e: pradita.a.wijaya@gmail.com

Menentukan gerak proyektil merupakan permasalahan penting dalam sejarah perkembangan ilmu mekanika. Gerak proyektil adalah gerak suatu benda yang diberi kecepatan awal, kemudian menempuh lintasan yang arahnya sepenuhnya dipengaruhi oleh percepatan gravitasi dan hambatan udara. Untuk mempermudah pemahaman peserta didik mengenai materi gerak proyektil, telah dibuat suatu alat eksperimen gerak proyektil sederhana. Diharapkan alat ini dapat digunakan sebagai media pembelajaran yang mudah diaplikasikan, ditiru dan terjangkau bagi pihak sekolah maupun lembaga pendidikan.

Determining projectile motion is an important issue in the history of the development of mechanics. The motion of a projectile is the motion of an object given the initial velocity, then travels the path whose direction is completely influenced by the acceleration of gravity and air resistance. To facilitate students' understanding of projectile motion material, a simple projectile motion experiments tool has been developed. It is expected that this tool can be used as a learning media that is easy to apply, imitated and affordable for schools and educational institutions.

Kata kunci: gerak proyektil, alat eksperimen, media pembelajaran

I. Pendahuluan

Menentukan gerak proyektil merupakan permasalahan penting dalam sejarah perkembangan ilmu mekanika [1]. Gerak proyektil didefinisikan sebagai gerak suatu benda yang diberi kecepatan awal, kemudian menempuh lintasan yang arahnya sepenuhnya dipengaruhi oleh percepatan gravitasi dan hambatan udara [2]. Untuk mempermudah pemahaman mengenai gerak proyektil, diperlukan media pembelajaran berupa alat eksperimen gerak proyektil yang terjangkau dan dapat dengan mudah dioperasikan oleh siswa. Saat ini, alat peraga yang ada merupakan buatan luar negeri, seperti produk dari PASCO [3] dan VERNIER [4] yang harganya cukup mahal. Oleh karena

itu, rancang bangun alat eksperimen sederhana mengenai gerak proyektil bagi peserta didik perlu dilakukan.

II. Kajian Pustaka

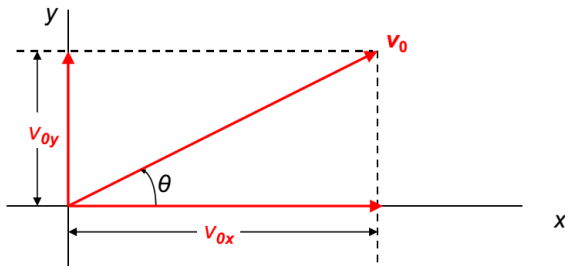
Persamaan mengenai gerak proyektil yang ditunjukkan pada persamaan 1 (pada ruang hampa udara) dan 2 (dengan memperhitungkan hambatan udara) [1].

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = -mg\hat{z} \quad (1)$$

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = -mg\hat{z} - b \frac{dr}{dt} \quad (2)$$

m merupakan massa partikel (kg), g merupakan percepatan gravitasi (m/s^2), t merupakan waktu (s), dan b merupakan koefisien hambatan udara atau *drag*.

Secara umum gerak proyektil dapat ditinjau pada 1, 2 maupun 3 dimensi yang mana vektor gerak proyektil dapat dilihat pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Komponen-komponen kecepatan awal sebuah proyektil dengan θ adalah sudut antara v_0 dengan sumbu horizontal x

Gerak proyektil di kondisi vakum

Dalam kondisi *vacuum* (hampa udara), misalkan kita meluncurkan sebuah proyektil dari titik asal dengan kelajuan awal v_0 dengan sudut θ terhadap sumbu horisontal, maka kecepatan awal mempunyai komponen:

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta \tag{3}$$

$$v_{0y} = v_0 \sin \theta \tag{4}$$

Karena tidak ada percepatan horisontal, kecepatan komponen x adalah konstan sebagaimana ditunjukkan pada persamaan (5).

$$v_x = v_{0x} \tag{5}$$

Komponen y berubah terhadap waktu sesuai persamaan (6).

$$v_y = v_{0y} - gt \tag{6}$$

Komponen perpindahan proyektil pada arah x dan y ditunjukkan oleh persamaan (7) dan (8).

$$\Delta x = v_{0x}t \tag{7}$$

$$\Delta y = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \tag{8}$$

Persamaan umum untuk lintasan $y(x)$ dapat diperoleh dari persamaan (7) dan (8) dengan mengeleminasi variabel t antara kedua persamaan ini dengan memilih

$x_0 = y_0 = 0$ dan dengan menggunakan $t = \frac{x}{v_{0x}}$ pada

persamaan (8) kita dapatkan persamaan (9)

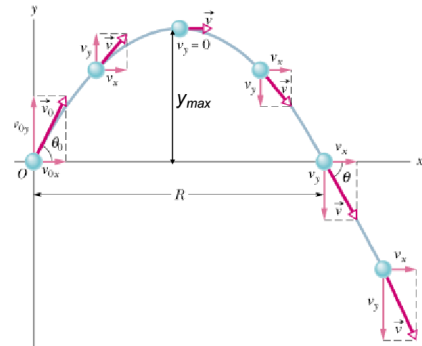
$$y = \left(\frac{v_{0y}}{v_{0x}}\right)x - \frac{1}{2}\left(\frac{g}{v_{0x}^2}\right)x^2 \tag{9}$$

Waktu yang dibutuhkan proyektil untuk mencapai ketinggian maksimumnya dimana ketinggian awal dan

akhir sama didapatkan dengan mengambil komponen vertikal kecepataannya sama dengan nol $v_y = -gt = 0$

$$\text{atau } t = \frac{v_{0y}}{g}.$$

Setelah diketahui v_y dan t , selanjutnya kita dapat menentukan jarak jangkauan maksimum proyektil dalam kondisi *vacuum* maupun dengan memperhitungkan *drag*. Dimana vector gerak proyektil dapat dilihat pada gambar 2 berikut.



Gambar 2. Vektor gerak proyektil [5]

Jangkauan R adalah jarak yang ditempuh dalam dua kali waktu ini sehingga persamaannya menjadi persamaan (10).

$$R = 2v_{0x} \left(\frac{v_{0y}}{g}\right) = \left(\frac{2v_{0x}v_{0y}}{g}\right) \tag{10}$$

Bila dinyatakan dalam kelajuan awal v_0 dan sudut lemparan θ , jangkauan ini dapat dituliskan sebagaimana persamaan (11).

$$R = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\theta \tag{11}$$

Gerak Proyektil dengan Memperhitungkan Drag

Jika diasumsikan ada *drag* yang bekerja ke arah sumbu x sebesar b , maka persamaan gerak proyektil yang terjadi dapat ditulis sebagaimana persamaan 12 dengan bV adalah *drag* (N).

$$-bV = m \frac{dv}{dt} \tag{12}$$

Karena adanya pengaruh gaya gravitasi, persamaan gerak proyektil ke arah sumbu y dapat dituliskan sebagaimana persamaan 13.

$$-bv - mg = m \frac{dv}{dt} \tag{13}$$

Untuk mendapatkan nilai kecepatan gerak gerak proyektil, maka integrasi terhadap persamaan 14 untuk gerak kearah sumbu x dan persamaan 15 untuk gerak

kearah sumbu y . Hasilnya ditunjukkan pada persamaan 14 dan 15.

$$v_x = v_0 \cos \alpha e^{-\frac{bt}{m}} \quad (14)$$

$$v_y = \left[\left(v_0 \sin \alpha + \frac{mg}{b} \right) e^{-\frac{bt}{m}} - \frac{mg}{b} \right] \quad (15)$$

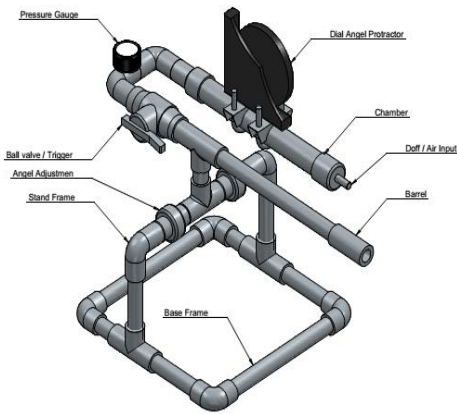
Jarak luncur gerak proyektil juga dapat dihitung dengan mengintegrasikan persamaan 14 terhadap waktu (t) untuk gerak proyektil ke arah sumbu x dan persamaan 15 untuk gerak proyektil ke arah sumbu y . Persamaan hasil integrasi ditunjukkan oleh:

$$x = -\frac{mv_{0x}}{b} \left(e^{-\frac{bt}{m}} - 1 \right) \quad (16)$$

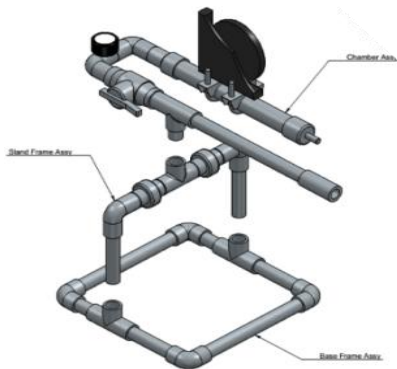
$$y = \frac{m}{b} v_0 \sin \alpha \left(1 - e^{-\frac{bt}{m}} \right) - \frac{m^2 g}{b^2} \left(e^{-\frac{bt}{m}} - 1 \right) - \frac{mgt}{b} \quad (17)$$

III. Rancangan Alat

Desain Alat



Gambar 3. Detail bagian-bagian alat



Gambar 5. Skema sistem bongkar pasang

Alat dan Bahan

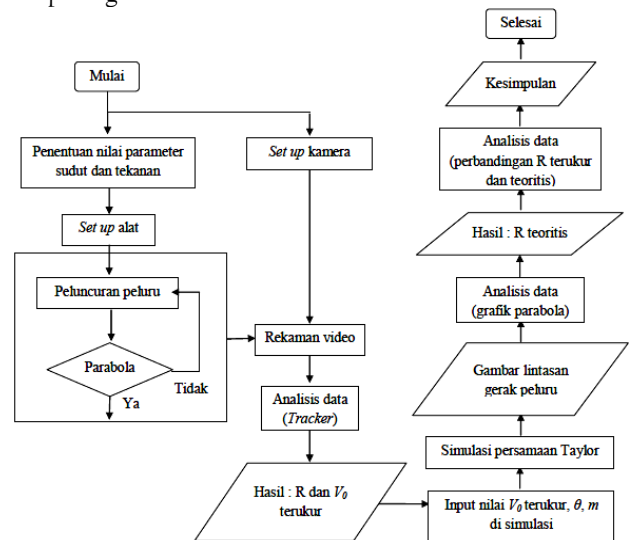
Dalam pembuatan alat eksperimen gerak proyektil ini daftar item bahan pembuatan alat disajikan oleh tabel 1.

Tabel 1. Daftar item bahan pembuatan alat

No	Nama Barang	Item
1	PVC	1
2	Keni L	8
3	Keni T	4
4	Tutup 1"	1
5	Sambungan	1
6	Kran 1/2 "	1
7	Dop	1
8	Angle adjustment	2
9	Baut	2
10	Pressure gauge	1
11	Busur	1
12	Lem pvc	1
13	Pompa	1

IV. Metode Eksperimen

Teknik pengambilan data eksperimen gerak proyektil untuk menguji kinerja alat digambarkan melalui diagram alir pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir uji coba alat eksperimen gerak proyektil.

Penelitian diawali dengan penentuan nilai parameter yaitu sudut dan tekanan yang tetap. Selanjutnya, dilakukan analisis video luncuran gerak proyektil di laboratorium menggunakan *software Tracker*. Hasil analisis video tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil simulasi numerik menggunakan *Visual Basic for*

Applications (VBA) pada *Microsoft Excel* menggunakan parameter kecepatan (V_0), sudut (θ), dan massa proyektil (m) yang sesuai dengan alat eksperimen. Diharapkan hasil analisis menggunakan kedua metode ini dapat dipergunakan untuk mengetahui akurasi serta menguji kinerja alat yang telah dibuat. *Set up* alat eksperimen ditunjukkan oleh gambar 5.



Gambar 5. Peluncur proyektil (tampak samping)

Pompa digunakan untuk memberikan tekanan udara ke dalam *chamber*. Nilai tekanan udara dapat diketahui dengan melihat *pressure gauge*. Apabila nilai tekanan udara sudah sesuai, proyektil dapat diluncurkan dengan membuka *trigger*.

V. Hasil dan Pembahasan

Dengan menentukan parameter sudut dan tekanan yang tetap, yaitu sebesar 60° dan 10 psi (berurutan), diperoleh hasil sebagaimana yang tercantum pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil ujicoba alat eksperimen peluncur proyektil

θ ($^\circ$)	v_0 (m/s)	R terukur (m)	R teoritis (m)	\mathcal{E}_R (%)
60	2.53	1.87	1.90	- 1,58
60	1.77	2.47	2.20	12,27
60	1.89	1.89	1.30	45,38

Berdasarkan tabel 2, terlihat bahwa hasil nilai jarak (R_{terukur}) yang didapatkan dari analisis menggunakan *software Tracker* menunjukkan inkonsistensi data. Perhitungan R_{terukur} seharusnya mendekati hasil simulasi yang menggunakan persamaan (16), sementara perhitungan R_{teoritis} menggunakan simulasi yang berdasar pada persamaan (11). Dengan membandingkan kedua persamaan tersebut secara eksplisit, hasil yang didapatkan seharusnya menunjukkan bahwa R_{terukur} selalu lebih kecil dari R_{teoritis} . Hal ini dikarenakan pada R_{terukur} terdapat gaya hambatan udara (*drag*) yang bekerja berlawanan arah dengan gerak luncuran proyektil. Dari tabel 2, terlihat hanya percobaan pertama yang sesuai dengan ketentuan tersebut

Inkonsistensi data yang terjadi kemungkinan diakibatkan oleh alat yang belum terkalibrasi sempurna. Dari segi alat yang masih dalam tahap pengembangan, tingkat presisinya masih rendah. Hal ini dikarenakan karena *pressure gauge* dan *protactor* yang digunakan masih dalam sistem analog, sehingga pembacaan nilai yang terukur menjadi kurang akurat. Di samping itu, *ball valve (trigger/kran)* yang digunakan masih memberikan pengaruh pada proses keluarnya udara. Ketika diberikan tekanan udara yang sama, terjadi perbedaan kecepatan awal (v_0) yang keluar dan mendorong peluru, sehingga jarak jangkauan (R) yang dihasilkan berbeda. Perbedaan yang terjadi bisa dikarenakan oleh kecepatan membuka kran, cara membuka kran, maupun waktu jeda antara proses memompa udara dan proses membuka *trigger*. Oleh karena itu, diperlukan model *trigger* dengan sistem digital yang dapat terbuka secara otomatis ketika tekanan udara sudah sesuai yang diinginkan.

Selain dari kondisi *trigger* tersebut, adanya guncangan alat yang diakibatkan oleh gerakan tangan ketika membuka *trigger* juga memberikan ketidakakuratan pada alat. Guncangan yang terjadi kemungkinan dapat mengakibatkan perubahan sudut luncuran (θ) yang sudah diatur sebelumnya. Perubahan terhadap sudut luncuran ini akan mengakibatkan perubahan pada jarak luncuran (R) serta bentuk lintasan proyektil yang dihasilkan.

VI. Saran Pengembangan

Untuk perbaikan kualitas alat, maka pada tahap pengembangan selanjutnya sebaiknya bagian alat yang berupa *angle protactor* dan *pressure gauge* diganti menggunakan sistem digital agar pembacaannya lebih akurat. Selain itu, *trigger* yang berupa kran *ball valve* juga sebaiknya diganti dengan *trigger* otomatis seperti model *solenoida valve*. Hal ini dimaksudkan untuk meminimalkan efek guncangan dan menjaga stabilitas tekanan yang akan mendorong luncuran proyektil.

VII. Kesimpulan

Alat eksperimen gerak proyektil yang dihasilkan telah berhasil menunjukkan kinerjanya sebagai media pembelajaran gerak proyektil. Hasil ujicoba kualitas alat menunjukkan bahwa kinerja alat belum maksimal. Hal ini terlihat dari inkonsistensi data yang dihasilkan ketika ujicoba peluncuran proyektil dengan kondisi awal (tekanan dan sudut luncuran) yang sama ternyata memberikan hasil kecepatan awal (v_0) dan jarak luncuran (R) yang berbeda.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada Prof. Dr. rer nat Umar Fauzi dan Dr. Fourier Dzar Eljabbar Latief atas bimbingannya, serta sdr. Candra Irawan yang telah membuatkan desain dan *prototype* alat eksperimen gerak proyektil ini.

Kepustakaan

- [1] Symon, Keith R. 1974. Mechanics 3rd Edition. *Addison-Wesley Publishing Company, Inc.*
- [2] Young, Hugh D. dan Freedman, Roger A. 2002. Fisika Universitas Jilid I. Jakarta: *Erlangga.*
- [3] <https://www.pasco.com/prodCompare/projectile-launchers/>
- [4] https://www.vernier.com/experiments/pwv/8b/projectile_motion_launcher/
- [5] http://demo.webassign.net/ebooks/hrw8demo/art/images/halliday8019c04/image_t/tfg010.gif