

PEMBUATAN SET EKSPERIMEN GERAK PARABOLA DIGITAL BERBASIS MIKROKONTROLER ATMEGA328 UNTUK MENGUKUR PARAMETER GERAK

Farah Sarjani¹⁾, Yohandri²⁾, Zulhendri kamus²⁾

¹⁾Mahasiswa Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang

²⁾Staf Pengajar Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang

farah.sarjani@gmail.com

ABSTRACT

Technological developments have produced many tools that can facilitate human work in industrial and scientific needs. In addition, electronics has also produced sophisticated components, both in the manufacture of measurement systems and experimental set-making system. This research created a set of digital parabolic motion experiment that display the value of time, speed and distance of objects. The purpose of this research is to know the performance and design specifications a set of digital parabolic motion experiment using photogate and vibration sensors based on ATmega328 microcontroller to measure the parameters of motion. This research is a laboratory experiment. The measurement technique used is direct and indirect measurements. Direct measurement made to determine the value of time, speed and distance of objects that display on the LCD. Indirect measurement is made to determine the accuracy and precision of digital parabolic motion experimental set system. Analysis of measurement results can be explained that there are two important results from this research. First, the result of the measurement system design consist of launcher made from the photogate and vibration sensors as the sense of object (projectile) passing through the sensor. Second, set of digital parabolic motion experiment has a precise value that can be determined from the percentage of error between the actual value.

Keywords : Projektil Launcher, Photogate, Mikrokontroler ATmega328

PENDAHULUAN

Eksperimen penting dilakukan terutama di Jurusan Fisika. Penemuan-penemuan penting yang berhubungan dengan fisika muncul dengan adanya eksperimen fisika yang tujuannya siswa maupun mahasiswa mampu memahami pelajaran berdasarkan gejala yang terjadi melalui pengamatan secara langsung.

Hasil yang didapatkan dari penelitian sangat ditentukan oleh set eksperimen. Saat ini, telah banyak industri yang mengembangkan set eksperimen fisika. Namun, set eksperimen yang sudah ada tersebut masih banyak dilakukan dengan cara manual. Set eksperimen manual mempunyai beberapa kelemahan, diantaranya butuh beberapa orang dalam pelaksanaan eksperimen dan dalam penyelesaiannya memerlukan waktu yang cukup lama untuk melakukan pengolahan data yang panjang serta untuk menguji kebenaran eksperimen yang telah dilakukan. Misalnya dalam mengukur waktu tempuh benda menggunakan stopwatch sedangkan kecepatan benda sangat cepat tentu akan mendapatkan kesalahan yang relatif besar. Begitu juga untuk mengukur jarak tempuh benda dengan cara manual menggunakan alat ukur standar akan membutuhkan waktu yang lebih lama dalam pengukuran.

Kelemahan itu bisa diatasi dengan sistem digitalisasi. Beberapa contoh set eksperimen digital yang telah dihasilkan yaitu pesawat atwood digital,

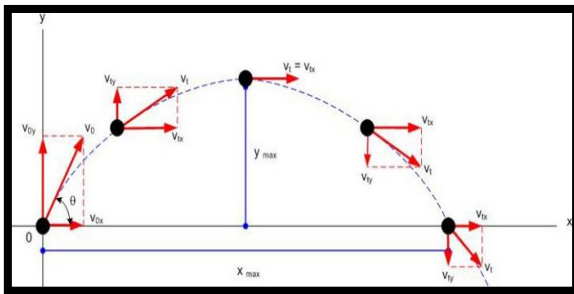
timbangan digital, penentuan koefisien gesek statis digital dan viskositas digital. Tetapi ada set eksperimen yang belum mendapat perhatian serius yaitu set eksperimen gerak parabola. Sebelumnya telah ada produk digital yang telah membuat set eksperimen ini yaitu Pasco. Namun, karena biayanya yang cukup mahal sekolah maupun Perguruan Tinggi memilih melakukan percobaan gerak parabola dengan memperlihatkan video atau mencoba melalui virtual lab.

Gerak Parabola adalah perpaduan antara Gerak Lurus Beraturan (GLB) dan Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB). Gerak parabola merupakan bagian dari kinematika. Kinematika adalah bagian dari ilmu fisika yang meninjau benda sebagai suatu partikel. Kinematika selalu dipelajari pada bagian awal dalam pembelajaran Fisika, karena kinematika memberi dasar dalam ilmu Fisika, antara lain: Vektor, Gerak Lurus Beraturan (GLB) dan Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) terutama gerak parabola.[1]

Memperlihatkan contoh fenomena gerak parabola dalam kehidupan sehari-hari seperti seorang anak menendang bola, atau ketika sebuah peluru ditembakkan tanpa melakukan percobaan langsung tentu akan mengurangi target pencapaian maksimal dalam pembelajaran. Dengan kemajuan teknologi dibidang elektronika yang dapat dimanfaatkan, maka keterbatasan dalam mengembangkan alat set

eksperimen gerak parabola dapat diatasi dengan membuat set eksperimen digital menggunakan komponen-komponen elektronika. Untuk pembuatan set eksperimen digital ini diperlukan sensor *photogate* dan sensor getaran dalam menentukan parameter gerak parabola seperti kecepatan awal benda, waktu tempuh benda serta jarak tempuh benda.

Gerak parabola adalah gerak dalam dua dimensi dari peluru yang dilempar miring ke atas. Kita anggap bahwa gerak ini terjadi dalam ruang hampa, sehingga pengaruh udara pada gerakan peluru dapat diabaikan. Proyektil adalah sebuah objek yang meluncur di udara dan bergerak tidak dengan daya dorongnya sendiri. Gerak sebuah proyektil dipengaruhi oleh suatu percepatan gravitasi g dengan arah vertikal ke bawah. Pada arah horizontal percepatannya sama dengan nol. Sebagai contoh, sebuah kelereng ditembakkan dengan sudut α terhadap sumbu mendatar, maka lintasan kelereng tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lintasan Gerak Parabola

Berdasarkan Gambar 1, dapat dijelaskan bahwa gerak partikel dalam dua dimensi (bidang) mengalami percepatan konstan dalam arah vertikal dan tidak mengalami percepatan dalam arah horizontal, sehingga lintasannya terlihat berupa lintasan parabola. Pemilihan titik asal sistem koordinat ditentukan ketika peluru mulai ditembakkan. Perhitungan dimulai jika peluru sudah ditembakkan, apabila $t=0$ maka peluru di $(0,0)$. [2]

Misalkan di titik asal koordinat $(0,0)$ sebuah partikel bergerak dengan kecepatan awal v_0 yang membentuk sudut θ terhadap sumbu x . Partikel ini mengalami percepatan gravitasi sebesar $-g$ (ke arah sumbu y negatif). Kecepatan awal partikel dapat diuraikan menjadi komponen x dan y , yaitu $v_{0x} = v_0 \cos \theta$ dan $v_{0y} = v_0 \sin \theta$. Gerak partikel sekarang dapat dianalisa sebagai gerak dengan kecepatan konstan pada arah x dan gerak percepatan konstan pada arah y . Posisi Partikel pada arah x dan y diberikan oleh persamaan:

$$x(t) = v_{0x}t, \quad (1)$$

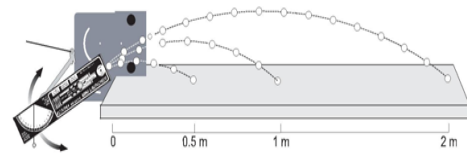
$$y(t) = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2. \quad (2)$$

Kecepatan partikel pada arah x tetap, yaitu $v_x(t) = v_{0x}$, sedangkan kecepatan partikel pada arah y berubah sebagai $v_y(t) = v_{0y} - gt$. Besar kecepatan partikel diberikan oleh $v(t) = \sqrt{v_x(t)^2 + v_y(t)^2}$. Posisi terjauh (titik R) yang dapat ditempuh oleh partikel yaitu ketika partikel mencapai $y = 0$ atau waktu yang di tempuh benda adalah :

$$x_{max} = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g} \quad (3)$$

Dengan demikian jarak tembak terjauh oleh peluru dicapai jika sudut $\theta = 45^\circ$. [3]

Gerak peluru merupakan suatu jenis gerakan benda yang pada awalnya diberi kecepatan awal lalu menempuh lintasan yang arahnya sepenuhnya dipengaruhi oleh gravitasi. Karena gerak peluru termasuk dalam pokok bahasan kinematika yang membahas tentang gerak benda tanpa mempersoalkan penyebabnya maka gaya sebagai penyebab gerakan benda diabaikan.

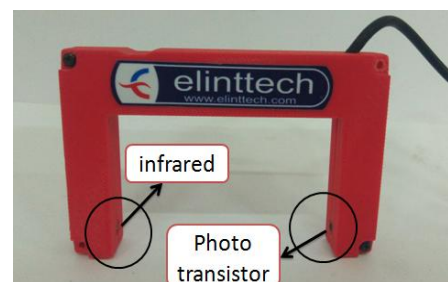


Gambar 2. Gerak Parabola Pada Alat Proyektil Launcher

Pada alat proyektil *launcher* dapat ditinjau gerakan bendanya setelah diberikan kecepatan awal dan bergerak dalam lintasan melengkung di mana hanya terdapat pengaruh gravitasi.

Pada pembuatan alat proyektil launcher dapat diketahui pada prinsip kerja penembak timah terdapat energi potensial pada pegas yang disimpan sementara kemudian ketika pegas dilepaskan seluruh energi akan diberikan kepada benda untuk mendapatkan kecepatan awal sehingga energi potensial pegas sama dengan energi kinetik atau saat itu terjadilah hukum konservasi energi.

Sensor *photogate* adalah alat pengatur waktu yang berfungsi untuk mendeteksi sebuah objek sehingga dapat dihitung lamanya waktu objek menghalangi sensor. Sensor *photogate* ini digunakan untuk pengukuran yang sangat tepat pada kecepatan yang berdurasi tinggi maupun rendah.



Gambar 3. Sensor Photogate

Sebuah *photogate* terdiri dari sumber cahaya (infrared) dan detektor cahaya (phototransistor). Sensor *photogate* ini memiliki ukuran 5.5cmx4cmx1cm. Prinsip kerja sensor photogate ini adalah setiap kali sebuah objek bergerak melalui blok sinar cahaya antara sumber dan detektor, sinyal yang dihasilkan dapat dideteksi sensor untuk memulai dan menghentikan waktu operasi. Keluaran dari rangkaian sensor photogate ini berupa tegangan 0 dan 5 volt. Tegangan keluaran dari sensor photogate akan bernilai nol volt pada saat cahaya infrared tidak mengenai phototransistor dan akan bernilai 5 volt pada saat cahaya infrared mengenai phototransistor. Sehingga, sensor photogate ini disebut aktif LOW.[4]

Sensor getaran merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi getaran suatu benda dan dikonversikan dalam bentuk besaran listrik. Sistem pendeteksi getaran mampu memberikan informasi berupa parameter getaran yang direspon oleh sensor.

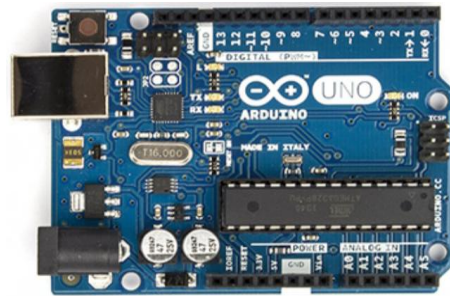


Gambar 4. Sensor Getaran

Sensor getar ini memiliki output signal yang sangat bersih dan kuat yaitu diatas 15mA. Tegangan kerja sensor getar 3.3V -5V, dan format outputnya berupa digital (0 dan 1). Output dari sensor getaran SW-18010 dapat langsung dihubungkan ke mikrokontroler untuk mendeteksi nilai rendah dan tinggi sehingga dapat diketahui apakah sedang terjadi getaran atau tidak.

Setiap gangguan yang diberikan kepada suatu benda akan menimbulkan getaran pada benda tersebut dan getaran ini akan merambat dari suatu tempat ke tempat lain melalui suatu medium tertentu. Dalam hal ini, peristiwa perambatan getaran dari suatu tempat ke tempat lain melalui suatu medium tertentu disebut gelombang. Dengan kata lain, gelombang merupakan getaran yang merambat dan getaran sendiri merupakan sumber gelombang.[5]

Mikrokontroler merupakan suatu komponen elektronika yang dapat diprogram dan memiliki kemampuan untuk mengeksekusi langkah-langkah yang telah diprogram. Arduino Uno adalah board berbasis mikrokontroler pada ATmega328. Board ini memiliki 14 digital input / output pin (dimana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, jack listrik tombol reset. Pin-pin ini berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler, hanya terhubung ke komputer dengan kabel USB atau sumber tegangan bisa didapat dari adaptor AC-DC atau baterai untuk menggunakannya.[6]



Gambar 5. Papan Kerja Arduino Uno

Berdasarkan permasalahan seperti uraian diatas maka penulis tertarik untuk melakukan penelitian ini, sebagai judul dari penelitian ini adalah “Pembuatan Set Eksperimen Gerak Parabola Digital Berbasis Mikrokontroler ATmega328 Untuk Mengukur Parameter Gerak”.

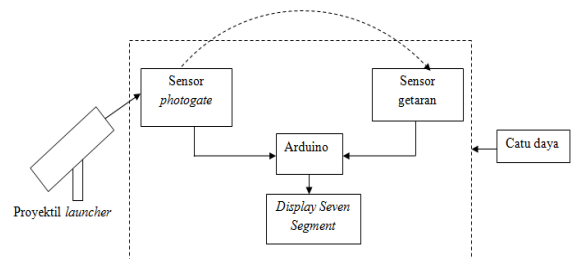
METODE PENELITIAN

Jenis penelitian ini merupakan eksperimen laboratorium (*Laboratory Experimentation*). Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Universitas Negeri Padang. Penelitian ini dilakukan pada bulan Februari sampai Juli 2017.

1. Desain Penelitian

a. Desain Blok Diagram Rangkaian Elektronika

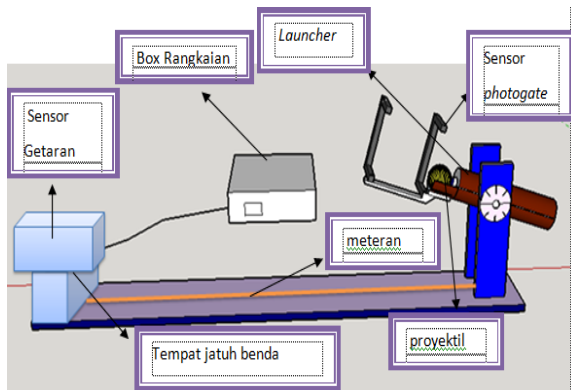
Secara sederhana set eksperimen gerak parabola digital terdiri atas beberapa blok, seperti yang terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Blok Diagram Set Eksperimen

b. Desain Sistem Mekanik Set Eksperimen

Set eksperimen ini menggunakan beberapa komponen, yaitu sensor *photogate*, sensor getaran, proyektil *launcher*, peluru, meteran, kotak tempat jatuh benda, seperti pada Gambar 7.



Gambar 7. Desain Set Eksperimen Gerak Parabola

2. Prosedur Penelitian

a. Penentuan Pembuatan Alat Proyektil *Launcher*

Penentuan pembuatan alat ini dilakukan dengan cara mengidentifikasi fungsi setiap bagian pembentuk alat yang dilakukan dengan dua cara, yaitu melakukan pemotretan setiap bagian pembentuk alat proyektil *launcher* dan menjelaskan fungsi dari setiap bagian tersebut.

b. Penentuan Spesifikasi Performansi Sistem

Penentuan spesifikasi performansi set eksperimen ini dilakukan dengan cara mengidentifikasi fungsi setiap bagian pembentuk sistem, juga dilakukan dengan dua cara, yaitu melakukan pemotretan setiap bagian sistem set eksperimen gerak parabola dan menjelaskan fungsi dari setiap bagian tersebut.

c. Penentuan Spesifikasi Desain Sistem

Spesifikasi desain sistem meliputi ketepatan dan ketelitian. Ketepatan adalah nilai atau hasil pengukuran yang mendekati nilai pengukuran yang sebenarnya. Ketelitian adalah tingkat kesamaan didalam sekelompok pengukuran atau sejumlah instrumen.

- 1) Penentuan Ketepatan Sistem Pengukuran
Ketepatan (akurasi) adalah kesamaan atau kedekatan suatu hasil pengukuran dengan angka atau data yang sebenarnya. Penentuan ketepatan sistem dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran sistem dengan alat standar kemudian menyelidiki ketepatannya. Adapun langkah-langkah dalam menentukan ketepatan pada set eksperimen adalah:
- 2) Penentuan Ketelitian Sistem Pengukuran
Ketelitian sistem pengukuran dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sistem dengan perhitungan secara teoritis, kemudian dilakukan pengukuran berulang dan memasukkan data ke dalam tabel serta menyelidiki ketelitian dari sistem alat ukur.

3. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan melalui pengukuran terhadap besaran Fisika yang terdapat dalam perancangan set

eksperimen gerak parabola. Teknik pengukuran yang dilakukan meliputi dua cara yaitu secara langsung dan tidak langsung. Pengukuran secara langsung adalah pengukuran yang tidak bergantung pada besaran-besaran lain. Pengukuran secara tidak langsung adalah pengukuran suatu besaran yang nilainya dipengaruhi oleh besaran-besaran lain dan nilainya tidak langsung didapat.

4. Teknik Analisa Data

Analisis data dilakukan untuk mendapatkan kesimpulan. Teknik analisis data yang dilakukan adalah secara grafik dan secara statistik. Analisis secara grafik berguna untuk memberikan hasil secara visual dalam melukiskan hubungan dua variabel yang diperoleh dari pengukuran atau perhitungan. Plot data bertujuan untuk menentukan hubungan antara variabel-variabel yang diukur. Hal ini dapat dilakukan dengan memplot data pada koordinat XY menggunakan program Microsoft excel. Teknik umum yang digunakan untuk memplot data pada grafik XY yaitu variabel bebas pada sumbu X dan variabel terikat pada sumbu Y (Kirkup, 1994).

Analisis data hasil pengukuran merupakan proses untuk mengetahui tingkat ketepatan dan ketelitian dari suatu sistem pengukuran. Ketepatan (accuracy) merupakan tingkat kesesuaian atau dekatnya suatu hasil pengukuran terhadap harga sebenarnya. Ketepatan dari sistem dapat ditentukan dari persentase kesalahan antara nilai aktual dengan nilai yang terlihat. Persentase kesalahan dapat ditentukan dari persamaan :

$$\text{Persentase kesalahan} = \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \times 100\% \quad (4)$$

dimana; Y_n = Nilai sebenarnya dan X_n = Nilai yang terbaca pada alat ukur.

Ketepatan pengukuran dari suatu sistem pengukuran dapat ditentukan melalui persamaan 5:

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \quad (5)$$

Ketepatan rata-rata dari sistem pengukuran dapat ditentukan melalui persamaan:

$$\% A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \times 100\% \quad (6)$$

Pada persamaan (5), A merupakan akurasi relatif yang sering dikenal dengan ketepatan. (Jones, L.D. 1995).

Hasil pengukuran dinyatakan dalam $X \pm \Delta X$ kemudian dapat ditentukan nilai rata-rata, standar deviasi, kesalahan mutlak dan relatif serta pelaporan hasil pengukuran. Nilai rata-rata pengukuran dinyatakan dengan:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{n=1}^n X_n \quad (7)$$

dimana, X_n adalah nilai dari data ke- n dan n adalah jumlah total pengukuran. Ketelitian dapat diekspresikan dalam bentuk matematika sebagai berikut:

$$Precision = 1 - \left| \frac{X_n - \bar{X}_n}{\bar{X}_n} \right| \quad (8)$$

dimana, X_n = nilai dari pengukuran ke- n dan \bar{X}_n = rata-rata dari set n pengukuran. Untuk mengukur standar deviasi dapat digunakan persamaan:

$$\Delta X = \frac{1}{n} \sqrt{\frac{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}{n-1}} \quad (9)$$

dari hasil pengukuran dapat dilihat seberapa besar kesalahan relatif pengukuran pada alat dengan menggunakan persamaan:

$$KR = \frac{\Delta X}{\bar{X}} \times 100\% \quad (10)$$

untuk melaporkan hasil pengukuran terhadap suatu besaran dinyatakan dalam:

$$H = \bar{X} \pm \Delta X \quad (11)$$

Setelah data secara pengukuran dan perhitungan diperoleh maka data akan diolah dengan baik secara grafik dan statistik. Dari hasil pengolahan data tersebut akan di dapat sebuah kesimpulan.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Penelitian

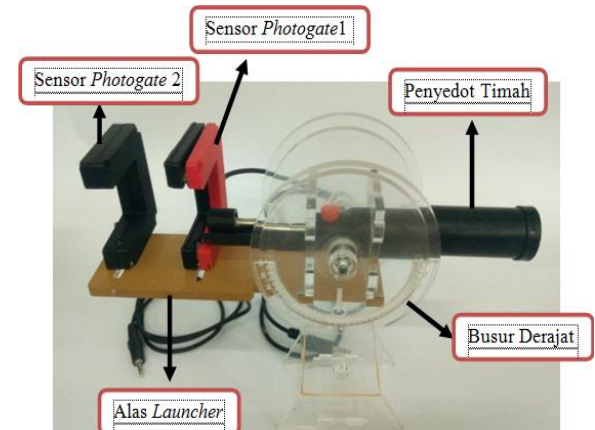
Data yang diperoleh dari hasil pengukuran memiliki arti yang sangat penting dalam suatu penelitian eksperimen. Hasil penelitian set eksperimen gerak parabola dijabarkan dengan mendeskripsikan hasil desain pembuatan alat proyektil *launcher*, menjelaskan spesifikasi performansi dan spesifikasi desain set eksperimen gerak parabola serta analisis data hasil penelitian sehingga diperoleh hubungan antara variable-variabel terkait untuk menjelaskan ketercapaian tujuan penelitian yang ditetapkan. Penyajian data yang diperoleh dapat dinyatakan dalam bentuk tabel dan grafik.

Analisis data yang dilakukan pada sistem pengukuran ini meliputi ketepatan dan ketelitian sistem. Data ketepatan diperoleh dengan membandingkan hasil pengukuran dengan hasil perhitungan. Sedangkan data ketelitian dengan cara

melakukan pengukuran berulang sebanyak 10 kali untuk beberapa variasi sudut.

a. Alat Proyektil *Launcher*

Hasil desain pembuatan alat proyektil *launcher* meliputi peng-identifikasi fungsi-fungsi dari setiap bagian pembentuk alat. Hasil desain alat ini dapat dilihat pada Gambar 8.

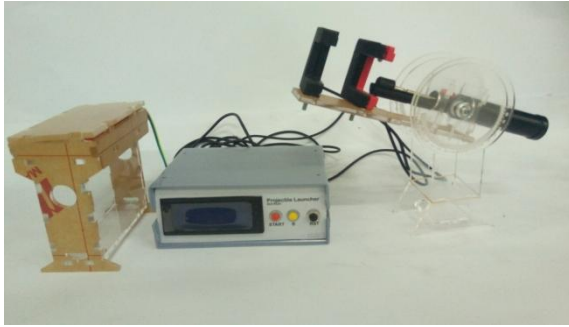


Gambar 8. Alat Proyektil *Launcher*

Gambar 8 merupakan hasil desain alat proyektil *launcher*. Tiang launcher terbuat dari akrilik dengan panjang masing-masing 18 cm. tiang ini juga dilengkapi dengan busur derajat sebagai penentu variasi sudut ketika melakukan eksperimen gerak parabola. Penyedot timah digunakan sebagai launcher yang dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan eksperimen. Di ujung penyedot timah langsung di dipasang *sensor photogate 1* agar ketika benda diluncurkan *sensor photogate* akan langsung mencacah waktu benda. *Sensor photogate* dirancang dua buah dalam pembuatan alat untuk menentukan kecepatan awal benda. Antara *sensor photogate 1* dan *sensor photogate 2* diberi jarak 0,05 m. Tempat peletak *sensor fotogate* juga terbuat dari akrilik yang dirancang sepanjang 17 cm, tempat ini juga langsung di set sebagai alas launcher.

b. Spesifikasi Performansi Sistem

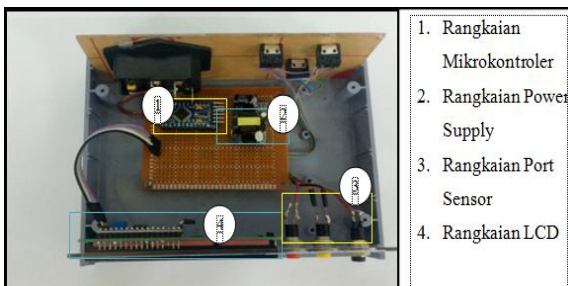
Spesifikasi performansi dari sistem ini meliputi pengidentifikasi fungsi-fungsi dari setiap bagian pembentuk sistem. Data yang diperoleh dari set eksperimen ini berupa waktu tempuh benda, kecepatan awal, serta jarak tempuh benda yang ditampilkan pada LCD. Sistem set eksperimen gerak parabola digital dibangun dari berbagai komponen diantaranya hasil desain set eksperimen gerak parabola digital, rangkaian elektronika sistem serta tampilan sistem. Hasil rancangan sistem ini secara fisik dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Hasil desain set eksperimen Gerak Parabola Digital

Gambar 9 merupakan hasil desain set eksperimen gerak parabola digital. Bagian-bagian dari sistem ini terdiri atas: Alat proyektil launcher, box sistem, tempat jatuh benda sensor getaran.

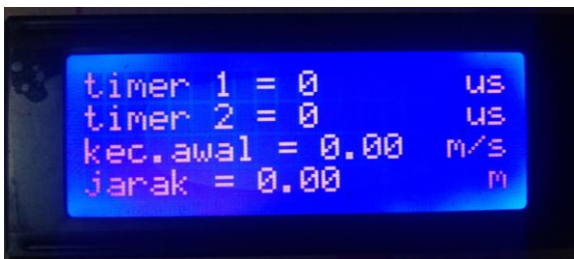
Rangkaian elektronika pembangun sistem dirancang sedemikian rupa dan ditempatkan dalam sebuah kotak. Dimana sistem pembangun ini terdiri dari papan Arduino yang sudah terintegrasi dengan mikrokontroler atmega328, dan rangkaian catu daya. Hasil desain rangkaian elektronika sistem dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Foto Rangkaian Elektronika Sistem

Pada Gambar 10, dapat dilihat secara umum rangkaian elektronika pembangun sistem. Sistem ini dibangun oleh beberapa blok rangkaian diantaranya rangkaian port sensor, rangkaian LCD, blok mikrokontroler Arduino promini, dan blok rangkaian catu daya.

Adapun bentuk keluaran hasil pengukuran nilai parameter gerak parabola yang diukur dapat ditampilkan pada display LCD dan dapat dilihat pada Gambar 11.



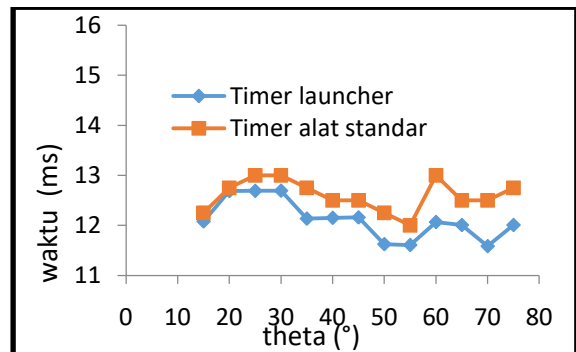
Gambar 11. Tampilan LCD Untuk Parameter-Parameter Gerak Parabola

Pada Gambar 11 terlihat bahwa sistem menampilkan hasil pengukuran dari eksperimen gerak parabola melalui LCD 20x4 karakter. Untuk tampilan *timer* menggunakan satuan milisekon (μs). Tampilan kecepatan awal benda menggunakan satuan (m/s), dan untuk tampilan jarak tempuh benda menggunakan satuan meter (m).

c. Spesifikasi Desain Sistem

1) Ketepatan Pengukuran

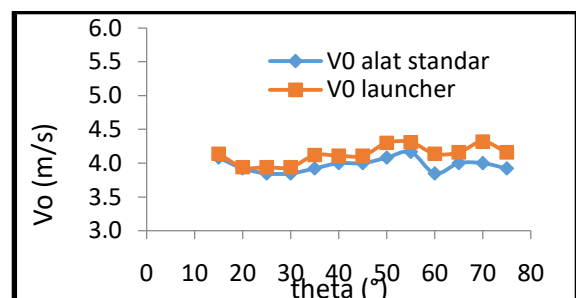
Pada eksperimen gerak parabola yang telah dilakukan diperoleh hasil eksperimen yang disajikan pada grafik-grafik ketepatan pengukuran seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Grafik Perbandingan Pengukuran Waktu Menggunakan Alat Ukur Standar Dengan Percobaan Set Eksperimen Gerak Parabola

Terjadi perbedaan kuantitatif antara hasil pengukuran alat ukur standar dengan percobaan set eksperimen gerak parabola pada pengukuran waktu tempuh benda disebabkan karena pada bagian elektronika sistem memiliki *delay* program sehingga terjadi *delay* perhitungan waktu. Sedangkan pada alat ukur standar waktu (osiloskop) memiliki frekuensi yang sangat besar 100 MHz sehingga perhitungan waktu akan terbaca dengan akurat. Persentase ketepatan untuk *Timer* ini sebesar 96,19%. Kesalahan maksimum untuk pembacaan *timer* terjadi pada pengukuran ke-10.

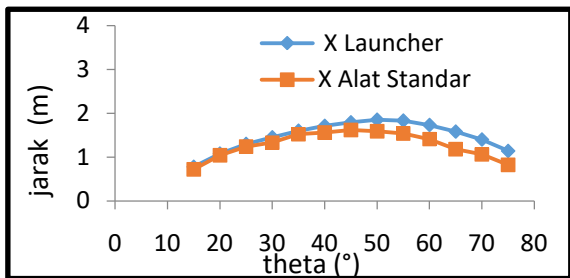
Pada percobaan gerak parabola untuk menghitung kecepatan awal benda berdasarkan perhitungan waktu diperoleh grafik ketepatan pengukuran seperti pada Gambar 13.



Gambar 13. Grafik Perbandingan Pengukuran kecepatan awal benda pada Alat Ukur Standar dengan percobaan set eksperimen

Berdasarkan Gambar 13, terlihat bahwa juga terjadi perbedaan kuantitatif antara hasil pembacaan pada alat ukur standar dengan percobaan set eksperimen. Hal ini disebabkan karena pengaruh pengukuran waktu pada sensor *photogate* akibat adanya *delay* program. Persentase ketepatan pengukuran pada percobaan kecepatan awal didapat sebesar 96,01%. Kesalahan maksimum pada percobaan kecepatan awal terjadi pada pengukuran ke-10.

Pada pengukuran jarak tempuh benda diperoleh grafik seperti pada Gambar 14.



Gambar 14. Grafik Perbandingan Pengukuran jarak tempuh benda pada Alat Ukur Standar dengan percobaan set eksperimen

Berdasarkan Gambar 14, dapat dijelaskan bahwa terjadi perbedaan kuantitatif antara hasil pengukuran menggunakan alat ukur standar dengan percobaan set eksperimen. Tapi secara kualitatif hasil pengamatan dan teoritik memiliki pola dan kesimpulan yang hampir sama, yaitu menunjukkan gambar grafik berbentuk parabola.

Sedangkan untuk pengukuran menggunakan alat standar (meteran) jarak terjauh sesuai dengan teori, yaitu pada peluncuran sudut 45°. Persentase ketepatan pada pengukuran jarak tempuh benda didapat sebesar 83,52%. Kesalahan maksimum pada percobaan ini terjadi pada pengukuran ke-13.

2) Ketelitian Pengukuran

Penentuan Ketelitian pengukuran gerak parabola ini diperoleh dengan melakukan variasi sudut elevasi. Tingkat ketelitian sistem dapat diketahui dengan cara melakukan pengukuran berulang sebanyak 10 kali pengukuran. Berdasarkan hal tersebut dapat ditentukan nilai rata-rata, standar deviasi, persentase kesalahan dan ketelitian. Ketelitian set eksperimen gerak parabola digital dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Data ketelitian pengukuran untuk sudut 15°

NO	X	ΔX	Ketelitian	KR %
1	0.78	0.06	0.9777	7.69
2	0.76	0.08	0.9961	10.53
3	0.79	0.06	0.9646	7.59
4	0.73	0.05	0.9567	6.85

5	0.78	0.07	0.9777	8.97
6	0.76	0.07	0.9961	9.21
7	0.78	0.07	0.9777	8.97
8	0.75	0.06	0.9830	8.00
9	0.76	0.07	0.9961	9.21
10	0.74	0.06	0.9699	8.11
Rata-rata	0.76	0.07	0.9796	8.51

Berdasarkan tabel 1, dapat dilihat bahwa set eksperimen gerak parabola memiliki ketelitian yang cukup tinggi pada pengukuran jarak tempuh benda dengan sudut elevasi 15°. Ketelitian rata – rata jarak tempuh benda adalah 0,9796 dengan kesalahan relatif 8,51%.

Tabel 2. Data ketelitian pengukuran untuk sudut 30°.

NO	X	ΔX	Ketelitian	KR %
1	1.46	0.11	0.9868	7.53
2	1.45	0.12	0.9938	8.28
3	1.49	0.13	0.9660	8.72
4	1.41	0.07	0.9785	4.96
5	1.42	0.09	0.9854	6.34
6	1.46	0.10	0.9868	6.85
7	1.41	0.06	0.9785	4.26
8	1.45	0.09	0.9938	6.21
9	1.41	0.09	0.9785	6.38
10	1.45	0.11	0.9938	7.59
Rata-rata	1.44	0.10	0.9842	6.71

Sesuai dengan Tabel 3, pada pengulangan pengukuran jarak tempuh benda terhadap sudut 30° memiliki ketelitian yang cukup tinggi dengan ketelitian rata-rata diperoleh 0,9842 dan kesalahan relatif 6,71%.

2. Pembahasan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan baik secara grafik maupun statistik memberikan hasil penelitian yang sesuai dengan tujuan penelitian. Pengujian set eksperimen gerak parabola ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran menggunakan alat standar dan set eksperimen gerak parabola yang telah dibuat. Dari hasil pengukuran waktu tempuh benda didapatkan

perbedaan kuantitatif antara keduanya. Hal ini disebabkan karena pada bagian elektronika sistem memiliki *delay* program sehingga ketika waktu tempuh benda dari sensor *photogate* 1 ke sensor *photogate* 2 sangat cepat maka terjadi *delay* perhitungan waktu. Oleh sebab itu, perlu dilakukan perbaikan pada bagian elektronik set eksperimen gerak parabola ini. Begitu juga untuk pengukuran kecepatan awal benda yang didapat berdasarkan pengukuran waktu yang diperoleh dari sensor *photogate*.

Pengujian pada pengukuran jarak tempuh benda terdapat sedikit perbedaan kuantitatif antara hasil pengukuran menggunakan alat ukur standar dengan percobaan set eksperimen. Tapi secara kualitatif hasil pengamatan dan teoritik memiliki pola dan kesimpulan yang sama. Terlihat pada hasil pengukuran bahwa jarak tempuh terjauh diperoleh saat sudut peluncuran sebesar 45° . Hasil ini menunjukkan kesesuaian pengamatan langsung dengan teori dasar.

Kelebihan dari set eksperimen gerak parabola ini adalah set eksperimen ini memiliki sistem mekanik yang sederhana dengan perhitungan yang dilakukan secara digital kemudian tampilan keluaran dari set eksperimen ini ditampilkan pada LCD. Sehingga dalam penarikan kesimpulan pada praktikum dan teori lebih mudah dan cepat didapatkan.

Dalam pembuatan set eksperimen gerak parabola digital ini memiliki beberapa kelemahan diantaranya dalam menentukan sudut elevasi masih dengan cara manual menggunakan busur derajat sehingga kesalahan dalam melakukan pengukuran bisa saja terjadi. Oleh sebab itu, diperlukan motor penggerak sudut agar memudahkan melakukan pengukuran.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data serta pembahasan terhadap set eksperimen pesawat gerak parabola digital menggunakan sensor *photogate* berbasis mikrokontroler ATmega328 ini maka dapat dirumuskan beberapa kesimpulan:

1. Hasil desain pembuatan alat proyektil *launcher* terdiri dari beberapa komponen yaitu dua buah tiang *launcher* yang langsung dilengkapi dengan busur derajat, dua buah sensor *photogate* dan satu buah penyedot timah yang dimodifikasi sesuai dengan kebutuhan eksperimen
2. Spesifikasi set eksperimen gerak parabola terdiri atas dua bagian yaitu:
 - a. Spesifikasi performansi set eksperimen

Spesifikasi ini terdiri dari rangkaian *power supply*, rangkaian mikrokontroler arduino promini, rangkaian sensor *photogate* dan sensor getaran serta LCD. Rangkaian *power supply* berfungsi sebagai catu daya dengan keluaran 5 volt. Sensor yang digunakan adalah sensor getaran dan sensor *photogate* yang berfungsi sebagai pencacah waktu tempuh benda. Rangkaian mikrokontroler Arduino promini berfungsi untuk mengolah keluaran sensor agar sesuai dengan keluaran yang diharapkan.

- b. Spesifikasi desain set eksperimen
Hasil spesifikasi desain set eksperimen gerak parabola ini sebagai berikut:
Pada percobaan eksperimen gerak parabola persentase ketepatan untuk waktu tempuh benda sebesar 94,01 %. Persentase ketepatan pengukuran pada percobaan kecepatan awal didapat sebesar 93,79%. Persentase ketepatan pengukuran jarak tempuh benda diperoleh sebesar 93,81%. ketelitian dari set eksperimen gerak parabola cukup baik. Pada percobaan pengukuran jarak tempuh benda untuk sudut 30° diperoleh ketelitian rata-rata sebesar 99,40% dan kesalahan relatif sebesar 3,48% dan untuk sudut 45° diperoleh ketelitian rata-rata sebesar 99,61% dengan kesalahan relatif sebesar 2,98%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Halliday, dkk. 2010. *Fisika Dasar edisi 7 jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- [2] Warsito, dkk. 2012. "Desain dan Analisis Pengukuran Gerak Peluru." *Jurnal Natur Indonesia* (14(3), Juni 2012: 230-235). ISSN 1410-9379
- [3] Sunardi & Indra, Etsa I. 2007. *Fisika Bilingual*. Bandung: Yrama Widya
- [4] Yulkifli, dan Yohandri. 2016. *Desain Pembuatan Alat-alat Praktikum Berbasis Teknologi Digital sebagai Pendukung Perangkat Matakuliah Pengembangan Alat Laboratorium Fisika Berbasis KKNI untuk Mahasiswa Pendidikan Fisika PPS UNP*. Laporan Penelitian.
- [5] Sanjaya. 2010. *Modul eksperimen Fisika II: roket dan analisis gerak proyektil*. Bandung: UIN SGD
- [6] Yohandri. 2013. *Mikrokontroler dan Antar Muka*. Padang: UNP