

# Pendeteksi Kecepatan Proyektil Mortir Bertekanan Udara Menggunakan Sinar Inframerah

<sup>1</sup>Arya Mahesa Jenar, <sup>2</sup>Dyah Lestari, <sup>3</sup>I Made Wirawan

<sup>1,2,3</sup>Universitas Negeri Malang

<sup>1</sup>arya.mahesa.1505366@students.um.ac.id, <sup>2</sup>dyah.lestari.ft@um.ac.id, <sup>3</sup>made.wirawan.ft@um.ac.id

**Abstract** - In using a projectile it is unknown how much speed is produced. In addition to the effect of gunpowder pressure produced following international standards, the length of the barrel and the number of threads used in the barrel can affect the velocity, so the speed of the projectile accelerates and must be predictable. In this case the projectile velocity measurement is carried out on an air-pressured training mortar used for cadet training, the projectile thrust is affected by the air pressure used so that it affects the resulting velocity in order to actually be ejected into the sky. If the air pressure is low, the velocity of the projectile slow down and will not be stable in the air. Because in the case of cadet training the range of mortar falls is very much needed as training in the actual use of mortars, the projectile velocity factor of the mortar must be detectable by measuring it using an instrument. In making this tool the infrared sensor sensitivity must be able to respond to about 0.012 seconds after the projectile is triggered and not interfere with the projectile trajectory that slides through the sensor, so that when the projectile passes through the sensor will get the time needed for the projectile to be able to pass through the sensor area, and from the recording time The resulting output will be calculated by the microcontroller how much the projectile speed is.

**Keywords** — *Projectile, Speed, Time, Infrared, Microcontroller.*

**Abstrak**—Dalam menggunakan sebuah proyektil tidak diketahui seberapa besar kecepatan yang dihasilkan. Selain dari pengaruh tekanan sel mesiu yang dihasilkan mengikuti standar internasional, panjang laras dan banyak ulir dalam laras yang digunakan dapat mempengaruhi percepatan, sehingga kecepatan proyektil tersebut bertambah cepat dan harus dapat diperkirakan. Pada kasus kali ini pengukuran kecepatan proyektil dilakukan pada mortir latihan bertekanan udara yang digunakan untuk pelatihan kadet, gaya dorong proyektil dipengaruhi oleh tekanan udara yang digunakan sehingga mempengaruhi kecepatan yang dihasilkan agar dapat benar-benar terlontar ke langit. Karena dalam pelatihan kadet jangkauan jatuh mortir sangat diperlukan sebagai pelatihan penggunaan mortir yang sesungguhnya, maka faktor kecepatan proyektil mortir yang harus dapat di deteksi dengan mengukurnya menggunakan alat. Dengan menggunakan cahaya inframerah, uji coba dapat dilakukan diluar ruangan selayaknya menembak sungguhan. Sistem akan memulai menghitung waktu selama sensor mendeteksi ujung kepala proyektil hingga ekor proyektil. Besar nilai panjang objek harus sudah diketahui dan diprogramkan pada *microcontroller*, panjang objek proyektil yang digunakan sekitar 50 cm. Hasil pengukuran menunjukkan besar kecepatan yang dihasilkan oleh proyektil mortir dengan

tekanan udara 50 psi sekitar 102 m/s hingga 129 m/s berdasarkan pada waktu yang didapat dan panjang proyektil.

**Kata Kunci**— *Proyektil, Kecepatan, Waktu, Inframerah, Microcontroller*

## I. PENDAHULUAN

Proyektil adalah suatu benda diam yang kemudian diberikan gaya pendorong lalu diarahkan ke udara atau hanya dijatuhkan dari suatu ketinggian dan kemudian menempuh lintasan yang dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan hambatan udara. Batu yang dilempar, apel yang jatuh dari pohon, dan berbagai macam benda yang dilemparkan atau dijatuhkan hingga terjadinya pengaruh gaya gravitasi dan hambatan udara dapat disebut sebagai proyektil. Berdasarkan pada penjelasan tersebut, proyektil akan menghasilkan nilai kecepatan tertentu dari besar gaya yang diterima oleh suatu benda.

Metode pengukuran kecepatan yang paling banyak digunakan adalah *Time of Flight*, yaitu pengukuran dengan menghitung waktu diantara dua titik sinyal sensor yang diletakkan secara paralel dengan jarak tertentu [ [HYPERLINK \l "Liu11" 1](#) ] [ [HYPERLINK \l "Raj12" 3](#) ]. Saat proyektil melewati sensor pertama akan didapat sinyal *start* yang akan memulai menghitung waktu. Lalu beberapa saat kemudian, proyektil tersebut melewati sensor kedua sehingga didapat sinyal *stop* yang akan menghentikan perhitungan waktu. Sehingga dari waktu yang dihasilkan antara dua sinyal tersebut, akan dihitung kecepatan dengan membagi jarak antara jarak dua sensor dengan waktu yang dihasilkan [ [HYPERLINK \l "Sán07" 5](#) ]. Karena proyektil dalam keadaan *flight* dengan kecepatan tinggi, kecepatan proyektil dapat diperkirakan ketika dalam proses melewati jarak tempuh dan perbedaan waktu tetap dalam satu persamaan [ [6](#) ].

Penggunaan proyektil pada perangkat lontarnya seperti senapan angin, meriam, mortir dan lain sebagainya sulit diketahui berapa nilai kecepatan yang dihasilkan. Peluru proyektil dapat melesat dengan kecepatan sekitar 366 m/s (1200 fps) hingga sekitar 1220 m/s (4000 fps) sesuai dengan tekanan pada selongsong proyektil dan percepatan yang dihasilkan. Kecepatan dari objek yang bergerak dapat diukur menggunakan *microcontroller* berdasar pada rangkaian elektronik [ [HYPERLINK \l "Kum14" 7](#) ].

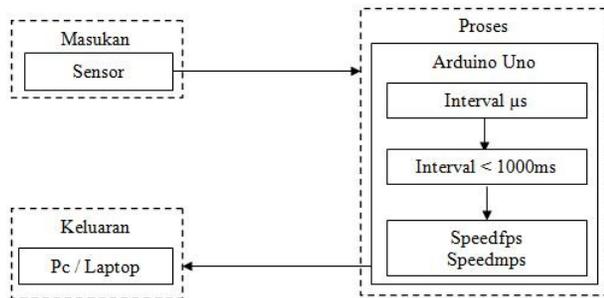
*Time of Flight* adalah pengukuran waktu terbang suatu proyektil diantara dua titik dalam jarak tertentu [ [8](#) ] [

HYPERLINK \l "Liu11" 1 ]. Dari waktu yang didapat diantara dua titik inilah yang digunakan sebagai perhitungan kecepatan dengan letak jarak dua titik sinyal yang diketahui. Sesaat setelah proyektil melewati sensor pertama dan kedua akan didapat sinyal *start* dan *stop* dan juga waktu diantaranya didapat nilai *Time of Flight* [ HYPERLINK \l "Pau09" 9 ]. Terdapat dua jenis *error*, *instrumental error* yang berdasarkan pada ketepatan komponen dan pembuatannya dan *experimental error* yang berdasar pada deviasi proyektil itu sendiri terhadap dua sensor, dan juga ada *measurement error* yang terjadi dalam percobaannya dari jarak sensor terhadap sudut deviasi, tipe kaliber yang digunakan diantara 0,005° sampai 0,567° sehingga didapat error pada jarak sebesar 0 sampai 0,05mm. Pengaturan kecepatan yang diukur maksimal adalah 2500 m/s dan jarak sensor 1000 mm, berdasarkan pertimbangan tersebut estimasi error kecepatan sebesar 0,233% tidak termasuk *experimental error* [8]. Akurasi pengukuran kecepatan dapat dikembangkan lebih jauh dengan memperpanjang jangkauan sensor dan mengganti frekuensi *timer*.

Sedangkan pada penelitian lain, pengukuran yang memanfaatkan tiga komponen yaitu sumber cahaya, *Head* sebagai letak sumber cahaya beserta sensor dan komponen pendeteksi cahaya. Sumber cahaya beroperasi mendekati gelombang inframerah sebesar 1550 nm dan dibuat menjadi 3 bagian yang disambungkan dengan *head* dengan jarak 8 cm pada setiap *headnya*. Ketiga komponen pendeteksi cahaya kemudian disambungkan ke *digital oscilloscope* menggunakan sambungan fiber [ HYPERLINK \l "Pau09" 9 ].

## II. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, data yang diperoleh adalah waktu dalam satuan *microsecond* kemudian dikalkulasikan dengan jarak yang diketahui. Berdasarkan pada Gambar 1, masukan hanya berupa satu sensor sehingga nilai jarak harus diketahui dari panjang objek yang akan diukur sebelum melakukan pengujian. Penyederhanaan ini dilakukan agar dapat mengurangi daerah pengukuran yang menggunakan dua hingga tiga titik pendeteksian waktu seperti pada penelitian sebelumnya menjadi satu titik saja.



Gambar 1. Implementasi Arduino

Salah satu cara untuk dapat menentukan spesifikasi sensor adalah menghitungnya secara matematis dengan permasalahan yang ada, dengan menggunakan persamaan matematika sederhana sistem dapat digunakan untuk menentukan waktu percepatan proyektil [10]. Jika spesifikasi sensor yang diinginkan harus dapat mendeteksi kecepatan kurang lebih 1000 m/s dengan ukuran peluru proyektil sepanjang 5 mm, dapat dinyatakan dengan rumus kecepatan berikut

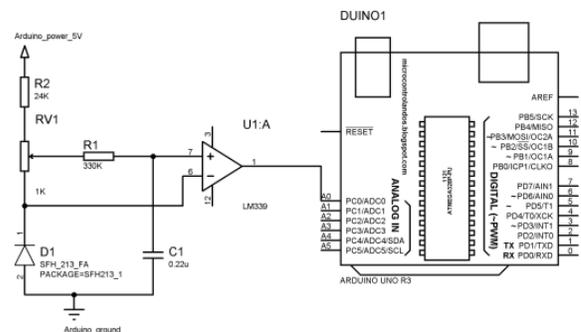
(1)

$$\text{waktu} = \frac{0,005}{1000} = 0,0005$$

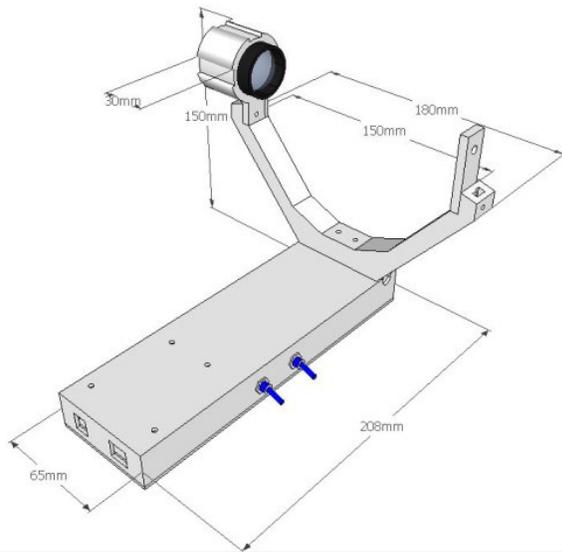
Dari hasil perhitungan diatas dapat diketahui untuk spesifikasi photodiode inframerah harus dapat merespon objek dalam rentang waktu kurang dari 5 μs. Sinyal yang dihasilkan oleh photodiode berupa sinyal analog dan perlu diubah menjadi sinyal digital dengan menggunakan rangkaian komparator dan photodiode yang disusun secara *reverse bias*, yang berfungsi sebagai saklar sehingga bila tidak terkena cahaya inframerah nilai output akan bernilai rendah. Kemampuan cahaya inframerahpun juga harus stabil dan dapat dideteksi oleh photodiode saat terdapat proyektil yang dideteksi.

Dengan menggunakan metode tersebut dan dua faktor yang dibutuhkan, akan disederhanakan dan diimplementasikan pada arduino yang terhubung dengan sensor inframerah untuk menghitung nilai kecepatan.

Tahap selanjutnya dilakukan desain hingga merealisasikan alat sesuai dengan deskripsi dan materi yang telah diperoleh agar alat yang dibuat mudah diidentifikasi dan dapat bekerja dengan baik, tahapan perancangan alat meliputi pada gambar 2 menjelaskan model sirkuit untuk alat yang digunakan dengan spesifikasi sebagai berikut : (1) dapat merespon dalam waktu kurang dari 5 *microsecond* seperti pada persamaan (1), (2) sensitivitas gelombang cahaya inframerah sekitar 800nm hingga 1000nm, (3) Karena jarak pemancar dengan sensor photodiode sekitar 15cm lebih besar dari diameter mortir maka perlu ditambahkan lensa senter lampu penerangan pada pemancar agar gelombang cahaya dapat terfokus dan jauh dengan nilai yang hampir mendekati *datasheet* pada jarak kurang lebih 15 cm.

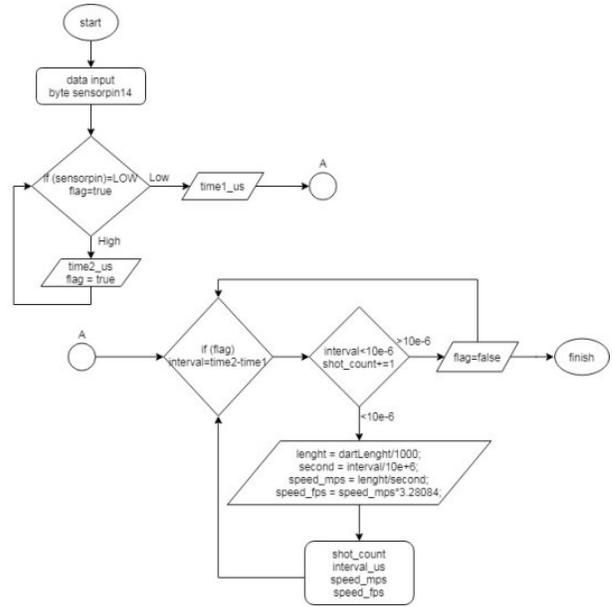


Gambar 2. Rangkaian elektrik



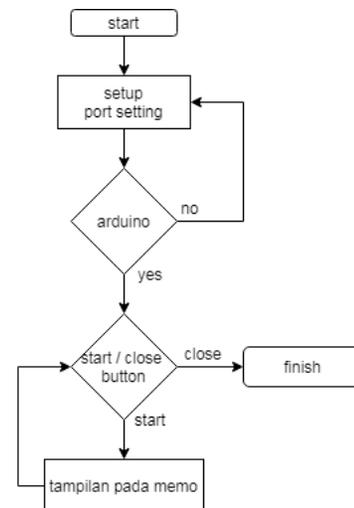
Gambar 3. Desain alat

Setelah dilakukan pendesainan alat, proses selanjutnya adalah memprogram metode yang didapatkan untuk implementasi pada arduino sesuai pada gambar 2 dan gambar 3. Pertama menentukan variabel input yang digunakan, saat objek melewati sensor dengan cepat sistem akan menghitung waktu selama objek tersebut menghalangi cahaya inframerah terhadap sensor, jika waktu yang didapat sampai 1 detik maka sistem akan menghitung waktu kembali hingga dibawah 1 detik. Besar waktu tersebut akan ditampilkan sebagai interval waktu kemudian diproses kedalam persamaan kecepatan dan jumlah tembakan. Seperti pada gambar 4, proses ini akan diulang kembali selama sensor masih aktif mendeteksi cahaya inframerah dan objek yang menghalangi.

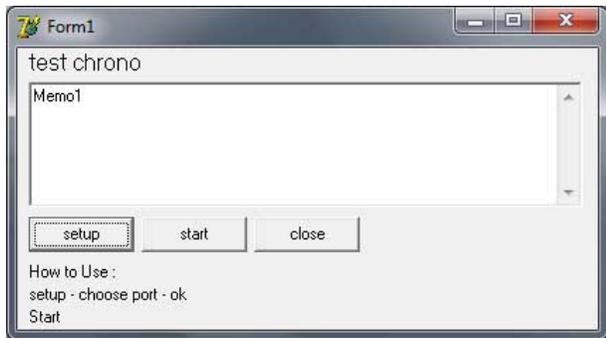


Gambar 4. Flowchart Arduino

Dari flowchart diatas hasil pengukuran hanya dapat tampil pada *serial monitor* pada arduino saja, sehingga aplikasi arduino harus tetap terbuka untuk dapat melihat hasil pengukuran. Selanjutnya membuat aplikasi antarmuka sederhana menggunakan Delphi7 yang dimaksudkan untuk menampilkan hasil pengukuran dari arduino sebagai model produk seperti yang terlihat pada gambar 6 tanpa membuka aplikasi arduino beserta programnya. Pada gambar 5 sistem antarmuka akan menerima hasil persamaan yang diolah pada arduino kemudian ditampilkan pada tampilan memo dengan mengatur *port* yang digunakan terlebih dahulu lalu *start* agar sistem antarmuka melakukan *monitoring* terhadap arduino secara *realtime*.



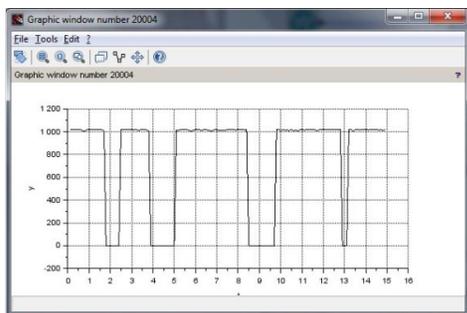
Gambar 5. Flowchart Delphi7



Gambar 6. Antarmuka

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah diketahui spesifikasi setiap komponen yang akan digunakan, dilakukan uji coba sensor menggunakan *arduino* dengan *delay* sekecil mungkin. Pada Gambar 5 dilakukan uji coba dengan menghalangi cahaya inframerah terhadap photodiode dengan *sampling* 0,005 *second* sebanyak 4 kali dalam kurun waktu 15 detik.



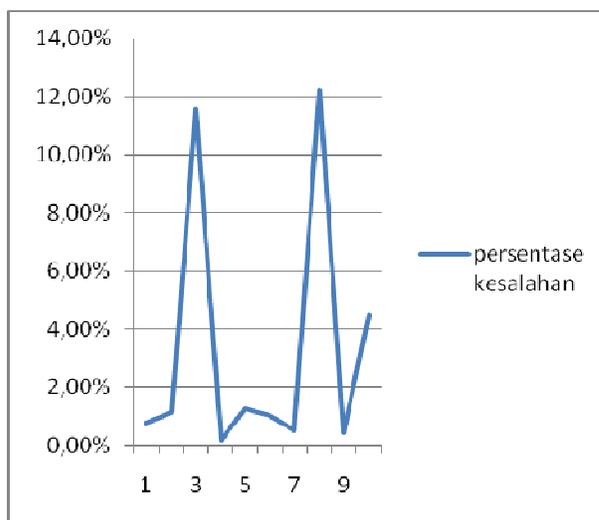
Gambar 7. Grafik uji coba sensor

Kemudian bagian ini dijelaskan pengujian dan analisis hasil yang didapatkan dilakukan sepuluh kali percobaan sesuai pada tabel 1. Alat diletakkan pada ujung pelontar mortir yang diikuti dengan bidikan dari alat ukur standar sebagai pembanding, kemudian peluru proyektil mortir bertekanan udara dimasukkan melalui ujung pelontar kemudian dilepaskan masuk hingga terjadinya gaya dorong yang membuatnya menembak proyektil mortir. Percobaan diulang hingga 10 kali percobaan dengan menunggu pengisian udara pada peluru sebesar 50 bar.

Dari data yang didapat diperoleh hasil rata-rata dari sepuluh kali percobaan sebesar 4082 pada *interval\_us*, 401,9 pada *speed\_fps* dan 122,5 pada *speed\_mps*. Dari data tersebut dibandingkan dengan alat lain yang sudah banyak digunakan dalam pengukuran kecepatan pada kolom *Fps on the tool*, dan diperoleh nilai *error* 0,79% yang didapat dari hasil rata-rata pada persamaan (4).

Tabel 1. Hasil Pengukuran

Sho t	Interval _us	Speed_f ps	Speed_ mps	Fps alat ukur	% kesalahan (fps)
1	4082	401,9	122,5	405,1	0,79%
2	4090	401,1	122,3	405,8	1,16%
3	4569	359	109,4	406	11,58%
4	4046	405,4	123,6	404,6	0,20%
5	4100	400,1	122,0	405,3	1,28%
6	4007	409,4	124,8	405,3	1,01%
7	4031	407	124,1	404,9	0,52%
8	4612	355,7	108,4	405,3	12,24%
9	4003	409,8	124,9	408	0,44%
10	3873	423,51	129,1	405,4	4,47%



Gambar 8. Grafik persentase

Untuk mendapatkan nilai kecepatan menggunakan persamaan (1), untuk mendapatkan nilai dalam satuan m/s menggunakan persamaan (2), dan untuk mendapatkan nilai dalam satuan fps hasil perhitungan (2) dikonversikan dalam persamaan (3). Untuk mengetahui rata-rata nilai *error* yaitu dengan membandingkan nilai alat dengan alat ukur yang ada seperti pada persamaan (4). Contoh perhitungan dengan persamaan berikut:

$$\text{speed} = 122,5 \quad (2)$$

$$\text{Speed\_fps} = \text{speed\_mps} * 3.28084 = 122,5 * 3.28084 = 401,9 \quad (3)$$

$$\% \text{ error} = \frac{\text{speed\_fps} - \text{Fps on the tool}}{\text{Fps on the tool}} \% = \quad \% \quad (4)$$

= 0,79%

Pada realisasi desain pembuatan alat pada gambar 3, sebagian dari model 3 dimensi dicetak menggunakan *printer* 3 dimensi dan yang lain dibuat menggunakan pola hasil konversi menggunakan Pepakura Designer. Pada gambar 7 *Power supply* digunakan untuk menyalakan inframerah sedangkan untuk sensor photodiode dan arduino memanfaatkan *supply* dari sambungan USB ke laptop.



Gambar 9. Alat jadi

Penulisan persamaan dapat dilihat pada contoh berikut dengan memberikan penomoran secara berurut.

$$y = ab \quad (1)$$
$$c + d = \beta \quad (2)$$

#### IV. KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran diatas, spesifikasi kemampuan photodiode yang digunakan sebesar  $0,005\mu s$  dan dapat dilihat dari gambar 5, sehingga istem dan rancangan alat yang telah dibuat dapat bekerja sesuai *datasheet* setiap komponennya yang mana dapat diketahui dari nilai logika yang didapat arduino, dan program dapat menghitung nilai yang didapat dari logika tersebut. Dari hasil yang didapat pada tabel 1 nilai pengukuran yang dibandingkan menggunakan satuan yang sama dengan hasil rata-rata *error* sebesar 3,37%. Dari segi penyederhanaan penelitian alat ini terbilang cukup terjangkau dan memiliki hasil serta *error* seperti yang dijelaskan pada persamaan (4) dengan melakukan perbandingan dengan alat ukur yang banyak digunakan dengan harga jutaan dan memang memiliki tingkat *error* yang stabil dan hampir tidak berubah-ubah.

#### V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] R.C. kalonia et al., *Small caliber projectile velocity measurement system based on a single laser source and a single detector*, vol. 70, no. 9, pp. 762-766, September 2011.
- [2] Mr Rajeev, Miss Dhanda, Navraj Khatri, and Miss Deepti

Jaglan, *Microcontroller Based Electronic Circuitry to Record High Speed Events*, vol. 1, no. 6, August 2012.

- [3] Nicholas G. Paulter and Donald R. Larson, *Reference ballistic chronograph*, vol. 48, no. 4, p. 043602, April 2009.
- [4] Yuchen Yue, Fuquan Zhao, Jinzhong Zhang, and Xiaoping Han, *The Design of Muzzle Velocity Measuring System for Rapid Rate Firing Gun*, no. i, 2016.
- [5] Amandeep Kaur, Renu Vig, and Randhir Bhatnagar, *Study of Different Measurement Systems and Design of Circuitry with Intensity Modulated measuring the*, vol. 1, no. 2, pp. 101-108, 2009.
- [6] Dileep Kumar, Anshul Gaur, and Rggi Meerut, *High Speed Projectile Recording System*, vol. 3, no. 10, pp. 1-5, October 2012.
- [7] José M. Sánchez-Pena, Carlos Marcos, and María Y. Fernández, *Cost-effective optoelectronic system to measure the projectile velocity in high-velocity impact testing of aircraft and spacecraft structural elements*, vol. 46, no. 5, p. 051014, may 2007.
- [8] Darlene Starratt, Tim Sanders, Elvis Cepuš, Anoush Poursartip, and Reza Vaziri, *Efficient method for continuous measurement of projectile motion in ballistic impact experiments*, vol. 24, no. 2, pp. 155-170, 2000.
- [9] Ji Liu, Donge Zhao, Yangjun Li, and Hanchang Zhou, *Optoelectronic system for measuring warhead fragments velocity*, vol. 276, no. 1, 2011.
- [10] N Dinesh Kumar, M Jayapraskash, V Naveen Reddy, and G Bharagava Sai, *Microcontroller Based Electronic Circuitry to Record Speed of Moving Objects*, vol. 1, no. 5, pp. 23-27, May 2014.