

RANCANG BANGUN ALAT BANTU PEMBELAJARAN GERAK JATUH BEBAS BERBASIS TIMER ARDUINO

AZIS MUSLIM*

*Program Studi Metrologi dan Instrumentasi, Akademi Metrologi
Jalan Daeng M. Ardiwinata Km.3,4 Cihanjuang, Bandung 40559, Jawa Barat, Indonesia*

Abstrak. Rancang bangun alat bantu pembelajaran gerak jatuh bebas berbasis timer arduino ini bertujuan untuk membantu pembelajar melakukan eksperimen gerak jatuh bebas dan menampilkan hasilnya dalam PC (*Personal Computer*). Penampilan hasil di PC berupa grafis hubungan kuadrat antara waktu dan jarak tempuh, serta perhitungan nilai percepatan gravitasi. Rancang bangun alat menggunakan *ficket fence* sebagai obyek benda jatuh, *infrared phototransistor* sebagai sensor dan arduino uno/nano sebagai *interface* ke PC. Perangkat lunak yang digunakan meliputi pengembangan perangkat lunak arduino menggunakan ide arduino dan pengembangan perangkat lunak PC menggunakan C# Visual Studio. Hasil penelitian memperlihatkan secara statistik nilai koefisien korelasi regresi linear untuk kurva *fitting* parabola sebesar 0,9906 hal ini memperlihatkan hubungan yang kuat antara variabel waktu (t) dan variabel posisi (x) dalam penelitian. Rata-rata estimasi nilai percepatan gravitasi adalah sebesar 9,828 m/s², masih dalam rentang nilai 9,78 m/s² - 9,83 m/s² data percepatan gravitasi bumi [1].

Kata kunci: Alat bantu pembelajaran, gerak jatuh bebas, Arduino, antarmuka, PC

Abstract. *The purpose of this free fall learning aids bases on Arduino timer design is to help learners conduct free fall experiments and display the results in PC (Personal Computer). The quadratic relationship between time and mileage forms curve is displayed on the PC, as well as gravitational acceleration value. This prototype uses fickert fence as freefall object, infrared phototransistor as a sensor and Arduino uno/nano as a PC interface. Ide Arduino and C# Visual studio are used as software development. The results showed statistically there are strong relation between time (t) and position (x) due to coefficient correlation value is 0.9906. The estimation of gravity acceleration value is 9.828, still in the range of 9.78 m/s² - 9.83 m/s² data of the gravity acceleration.*

Keywords: *learning aids, free fall, Arduino, interface, PC*

1. Pendahuluan

Penyampaian konsep fisika dalam bentuk abstraksi di kelas, untuk sebagian pembelajar tidak cukup. Fisika sendiri adalah fenomena fisik yang menggunakan pengalaman/eksperimen sebagai obyek penelitiannya. Dalam proses pembelajaran sendiri konsep fisika sebaiknya dapat diberikan kepada pembelajar dalam bentuk eksperimen. Eksperimen yang dilakukan secara manual seringkali memiliki keterbatasan. Kemampuan indera manusia tidak cukup untuk merekam fenomena-fenomena fisika diluar lebar pita indera manusia. Untuk itulah dibuat alat-alat bantu eksperimen. Dalam perkembangan selanjutnya komputer adalah alat bantu yang populer digunakan dengan alasan efisiensi serta akurasi dalam pemrosesan dan pengolahan data. Penggunaan perangkat antarmuka antara obyek eksperimen dengan komputer mutlak diperlukan, karena sebagai peralatan yang bersifat umum, komputer memiliki keterbatasan pada penerapan yang bersifat khusus. Beberapa perusahaan komersil tercatat telah membuat perangkat antarmuka untuk eksperimen fisika diantaranya yang dikeluarkan oleh Leybold, Pasco dan Vernier. Anggaran yang besar untuk pengadaan perangkat antarmuka ini menjadi kendala bagi institusi pendidikan dengan dana terbatas [2]. Penggunaan media pembelajaran praktikum terbukti meningkatkan pemahaman mahasiswa akan konsep fisika [3].

*Email : azismsiza@gmail.com

Arduino adalah perangkat antarmuka komputer yang populer dengan pemakaian yang luas dikarenakan sifat sistemnya yang *open sources* dan *open hardware* [4]. Pengembangan *shield arduino* juga menyumbang perluasan penerapan arduino dalam berbagai obyek aplikasi. Di sisi lain karena popularitasnya ini harga arduino beserta *shield*-nya semakin murah, *cloning* produk oleh produsen-produsen China juga telah membuat perangkat ini semakin murah. Hal ini dapat menjadi solusi alternatif terhadap mahalnya antarmuka komersial yang ada saat ini. Solusi alternatif ini juga dapat diterapkan pada perangkat antarmuka untuk eksperimen fisika sebagai solusi keterbatasan anggaran. Beberapa penelitian telah dilakukan dalam bidang ini. Sebagai contoh penelitian yang dilakukan oleh [5] peneliti ini merancang alat peraga berbasis arduino dengan sensor *photogate* untuk gerak jatuh bebas. Peneliti ini juga melanjutkan rancangannya pada aplikasi arduino untuk menampilkan karakteristik rangkaian RC [6]. Perlu diketahui juga beberapa peneliti menggunakan alternatif lain yang lebih konvensional seperti penggunaan *soundcard* sebagai antarmuka, atau menggunakan *parallel port* sebagai antarmukanya [7-10].

Gerak jatuh bebas merupakan salah satu materi pelajaran Fisika Dasar, sebagai kasus khusus dari gerak lurus berubah beraturan. Disamping memberikan konsep dasar mengenai mekanika, lebih lanjut konsep gerak jatuh bebas dapat digunakan juga pada hukum kekekalan energi dimana ketika terjadi gerak jatuh bebas total energi kinetik dan energi potensial adalah sama. Dapat diperlihatkan juga perubahan dari energi potensial menjadi energi kinetik.

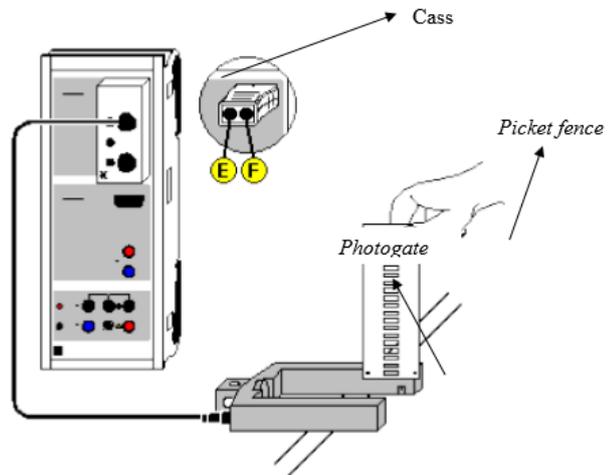
Penggunaan *stopwatch* pada eksperimen gerak jatuh bebas secara manual kurang efektif karena akurasi *stopwatch* hanya sebesar 0,01 detik. Perangkat antarmuka untuk eksperimen fisika berbasis Arduino, dapat menjadi solusi karena akurasi pengukuran dapat ditingkatkan dalam mikro-detik. Kelebihan lainnya dibanding cara manual adalah perekaman, pemrosesan, dan tampilan data dilakukan secara otomatis. Untuk itulah dibuat rancang bangun alat bantu pembelajaran gerak jatuh bebas berbasis *timer arduino* yang bertujuan untuk membantu pembelajar melakukan eksperimen gerak jatuh bebas dan menampilkan hasilnya dalam PC (*Personal Computer*).

2. Bahan dan Metoda

2.1. Perancangan perangkat keras

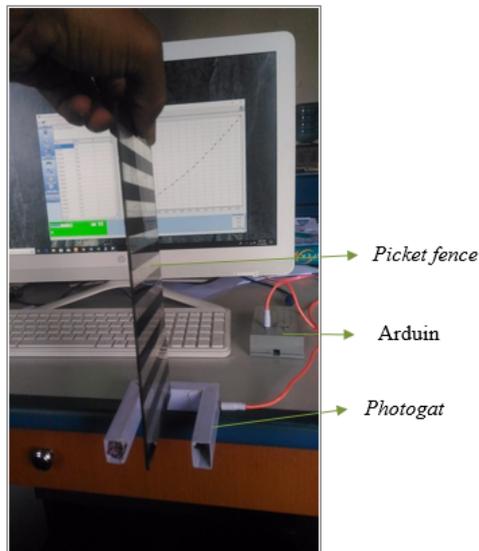
Seperti yang dibahas sebelumnya, prototipe yang akan dibuat adalah rancang bangun alat bantu pembelajaran gerak jatuh bebas berbasis *timer* Arduino ini merupakan alternatif terhadap alat bantu pembelajaran komersial. Untuk itu telah dipelajari dari beberapa buku manual yang diterbitkan oleh perusahaan komersial, yaitu Leybold dan Pasco mengenai alat bantu pembelajaran gerak jatuh bebas [12].

Dari beberapa metode yang digunakan, dipilih satu metode seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2. Sebuah obyek ukur, berupa lembaran aluminium yang memiliki beberapa lubang sejajar horisontal dan dinamai dengan *ficket fence* atau *g-ladder*, dijatuhkan secara bebas. *Ficket fence* jatuh dan melewati sebuah sensor cahaya, yang dinamai *photogate*, dimana di dalam *photogate* ini terdapat sumber cahaya inframerah dari LED *infrared* dan sensor cahaya berupa *phototransistor*. Sinyal listrik dikirimkan dari sensor dan diartikan sebagai sinyal digital oleh antarmuka CASSY. Data diolah dalam CASSY dan hasil pengolahan dikirim ke PC untuk diolah lagi agar dapat ditampilkan lebih informatif untuk pemakai PC.



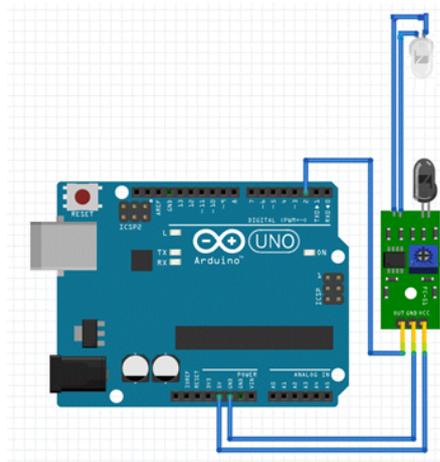
Gambar 1. Percobaan glbb dengan menggunakan CASSY dari Leybold [12]

Dari sistem CASSY Leybold tersebut telah dibuat padanan prototipenya dengan menggunakan arduino sebagai interface dengan PC. Sama seperti percobaan glbb dengan CASSY, sistem menggunakan *picket fence*, *photogate*, dan PC. Sebagai ganti *interface* CASSY digunakan Arduino Uno/Nano dengan pertimbangan *cost effective*. *Photogate* dan *picket fence* juga dibuat sendiri dengan menggunakan bahan/*part* yang mudah didapatkan.



Gambar 2. Percobaan glbb dengan menggunakan prototipe *interface* Arduino\

Photogate adalah sensor yang digunakan dalam metode pengukuran ini. Isi dari *Photogate* dalam prototipe ini menggunakan modul sensor *infrared* (*Infrared Obstacle Avoidance Module*) seperti yang diperlihatkan di Gambar 5. Pada Gambar 6 terlihat bahwa sumber cahaya *infrared* di modul sensor berasal dari LED *infrared*. Karena modul digunakan pada *photogate*, modul ini dimodifikasi seperti pada Gambar 7. Fungsi modul *default*-nya adalah mengukur pantulan cahaya *infrared*. Setelah dimodifikasi, cahaya dari *infrared* langsung mengarah ke *phototransistor* yang berfungsi sebagai sensor *infrared*.



Gambar 6. Modifikasi modul dan koneksinya ke Arduino

3. Kabel konektor *photogate* ke Arduino

Modul sensor *infrared* terdiri atas 3 konektor yaitu vcc, gnd, dan out. Konektor vcc dihubungkan ke pin 5V di Arduino dan konektor gnd ke pin gnd di Arduino. Pada modul sensor *infrared*, konektor out adalah sinyal data digital dimana ketika cahaya *infrared* dari LED menuju *phototransistor* terhalang, maka konektor out akan berlogika *high*, sedangkan sebaliknya akan berlogika *low*. Konektor out ini lalu dihubungkan ke Arduino di pin 2 digital. Pin 2 digital Arduino ini selain sebagai pin digital *output/input* juga dapat berfungsi sebagai input *interrupt*. Penggunaan sebagai *input interrupt* di-*setting* dari perangkat lunak.

4. Arduino uno/nano

Arduino adalah sistem mikrokontroler dengan lisensi *open-source*, baik *open hardware* maupun *open software*. Arduino dibuat oleh *Ivrea Interaction Design Institute* dengan tujuan memudahkan pengembang membuat prototipe elektronik, walaupun dengan basis pendidikan di luar bidang elektronika atau *programming*.

Terdapat berbagai varian dari Arduino yang telah dikembangkan. Arduino Uno sendiri merupakan varian yang paling populer sehingga dari sisi harga sangat terjangkau. Arduino nano dibanding Arduino uno memiliki dimensi yang lebih kecil namun secara fungsi hampir sama. Arduino nano yang digunakan dalam penelitian ini memiliki akurasi sebesar 4 μ s [11]

5. Kabel USB konektor arduino ke PC

Kabel yang digunakan untuk komunikasi data antara Arduino dan PC adalah kabel USB. Kabel USB yang digunakan pada komunikasi PC dan Arduino Uno adalah type A/B atau kabel USB yang biasa dipakai pada printer.

6. PC

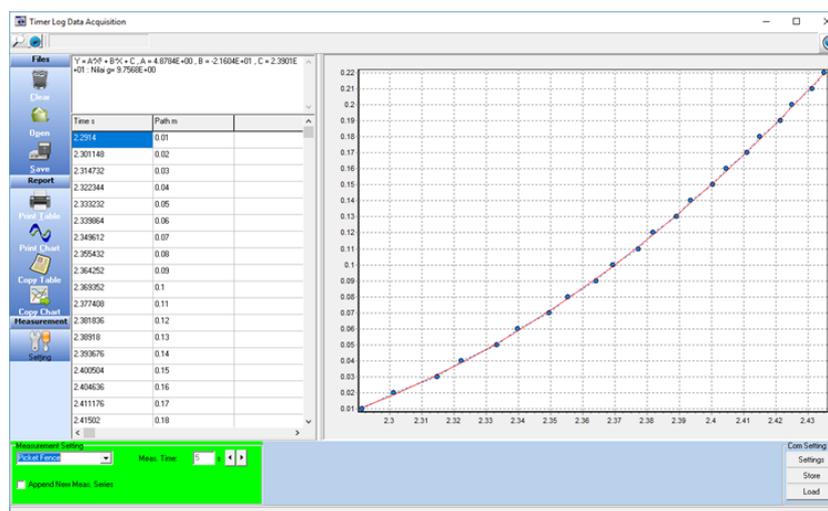
Personal Computer (PC) yang digunakan pada penelitian ini menggunakan prosesor Intel core-i5-7200U dengan RAM sebesar 8 GB. Adapun sistem operasi yang digunakan adalah Windows 10.

2.2. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak menggunakan tool IDE Arduino dan visual studio 2008.

IDE (*Integrated Development Enviroment*) adalah lingkungan terintegrasi yang digunakan *programmer* untuk melakukan pengembangan perangkat lunak. IDE Arduino sendiri tentunya dibuat untuk mengembangkan perangkat lunak yang akan diintegrasikan ke dalam mikrokontrol Arduino. Bahasa yang digunakan pada IDE Arduino adalah bahasa C dan biasanya disebut *Sketch*. *Sketch* tersebut disimpan dalam bentuk file dengan ekstensi ino (*.ino).

Seperti yang dibahas pada perancangan perangkat keras, koneksi data dari *photogate* ke Arduino menggunakan pin 2 Arduino, yang difungsikan sebagai *interrupt*. *Interrupt* yang dipakai adalah *interrupt hardware* dimana *service routine*-nya berbentuk fungsi unik yang tidak memiliki parameter dan dan nilai *output* tertentu.



Gambar 7. Rancangan Antarmuka di PC menggunakan Visual Studio

Antarmuka di PC untuk menampilkan data pengukuran pada intinya terdiri atas 3 (tiga) komponen. Komponen pertama adalah tabel yang berisi data-data numerik dari Arduino yang ditampilkan di PC. Data yang ditampilkan di tabel ini adalah data jarak lintasan (*path*) dan data waktu. Komponen kedua adalah tampilan grafik/kurva yang menghubungkan antara waktu (dalam koordinat x) dan jarak (dalam koordinat y). Komponen ketiga adalah hasil regresi kuadratik antara y dan x (tepatnya jarak dan waktu). Regresi berbentuk kuadrat karena secara teori hubungan antara waktu dan jarak berbentuk kuadratik.

3. Teori / Perhitungan

Gerak jatuh bebas merupakan salah satu bentuk dari gerak lurus beraturan. Suatu benda yang bergerak dalam satu dimensi dikatakan memiliki sifat gerak lurus berubah beraturan (glbb) jika percepatannya konstan. Hubungan antara posisi dan waktu pada persamaan gerak jatuh bebas adalah [13]:

$$x_f = x_i + v_{xi}t + a_x t^2 \quad (1)$$

Dimana x_f adalah posisi pada saat t , x_i adalah posisi pada saat $t=0$, v_{xi} adalah kecepatan pada saat $t=0$, a_x adalah percepatan yang nilainya tetap.

Pada rancang bangun di penelitian ini, variabel yang langsung terukur adalah nilai posisi (x) dan nilai waktu (t). Persamaan (4) menunjukkan bahwa hubungan antara t dan x adalah hubungan kuadratik (parabola).

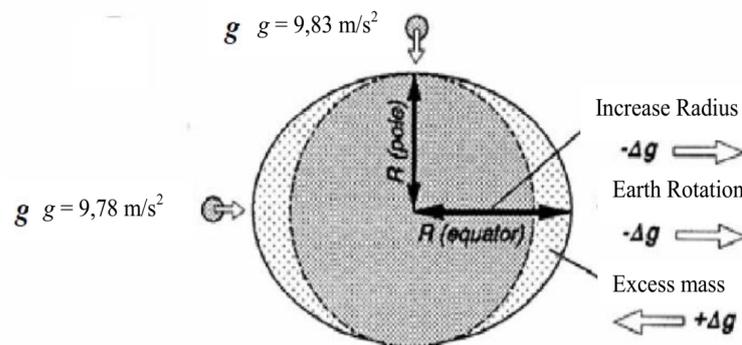
Parameter variable t^2 adalah $\frac{1}{2}a_x$, artinya nilai percepatan dapat dihitung dengan mengalikan nilai parameter tersebut dengan 2, atau $a_x = 2 \alpha$ (misalkan α adalah parameter variable t^2). Pada gerak jatuh bebas nilai a_x ini adalah nilai percepatan gravitasi, atau $g = a_x$.

Seperti disebutkan sebelumnya secara teori hubungan antara posisi dan waktu pada persamaan (1) adalah hubungan kuadratik (parabola). Pada percobaan di penelitian ini, data-data yang diakuisisi berupa data posisi dan waktu, lalu ditampilkan dalam bentuk tabel dan kurva untuk melihat hubungan antara waktu dan posisi. Untuk melakukan estimasi maka dilakukan metode kurva *fitting* parabola. Apabila melihat rumus (1) yaitu hubungan antara variabel x_f dengan variabel t dan variabel t^2 maka terdapat hubungan linear dengan v_{xi} sebagai parameter variable t dan $\frac{1}{2}a_x$ sebagai parameter variabel t^2 . Ukuran hubungan antara variabel bebas dan variable terikat dalam persamaan linear ditunjukkan dalam koefisien korelasi.

Untuk menentukan performa kurva *fitting*, digunakan konsep koefisien determinansi, dimana koefisien ini didefinisikan sebagai [14]:

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} \quad (2)$$

SSR adalah *Sum Square Regression*, sedangkan SST adalah *Sum Square Total* merupakan penjumlahan dari SSR dan *error sum square*-nya. Nilai R^2 berkisar antara 0 sampai 1, semakin besar nilai R^2 berarti model/ kurva *fitting* yang diestimasi semakin baik [13]. Nilai g berdasarkan data dari Sarkowi (2014) bervariasi tergantung posisi pengukuran di muka bumi yang berbeda. Nilai percepatan gravitasi di daerah khatulistiwa sekitar $9,78 \text{ m/s}^2$, sedangkan di daerah kutub dapat mencapai $9,83 \text{ m/s}^2$ (Gambar 8).



Gambar 8. Perbedaan nilai gravitasi di kutub dan khatulistiwa [1]

Disamping posisi di muka bumi nilai percepatan gravitasi juga dipengaruhi kandungan tanah di posisi yang diukur [15]. Nilai gravitasi secara akurat digunakan misalnya dalam eksplorasi mineral, minyak dan gas bumi. Pada suatu penelitian didapatkan data bahwa di daerah Jakarta nilai percepatan gravitasi konsisten di nilai $9,78 \text{ m/s}^2$ [16].

4. Hasil dan Diskusi

Tabel 1 memperlihatkan data hasil penelitian. Pada tabel ini terlihat bahwa secara statistik masing-masing percobaan menunjukkan nilai koefisien korelasi *regresi linear* untuk kurva *fitting* parabola (R) hampir mendekati 1 (satu), hal ini memperlihatkan hubungan yang kuat antara variabel waktu (t) dan variabel posisi (x). Apabila dirata-ratakan, nilai koefisien korelasi *regresi linear* untuk kurva *fitting* parabola (R) sebesar 0,9906.

Tabel 1 juga menunjukkan nilai estimasi nilai percepatan gravitasi dari masing-masing percobaan yang bervariasi. Nilai terendah estimasi percepatan gravitasi adalah sebesar $9,709 \text{ m/s}^2$, sedangkan nilai tertinggi estimasi adalah sebesar $9,919 \text{ m/s}^2$. Apabila estimasi nilai percepatan gravitasi dirata-ratakan maka menghasilkan nilai sebesar $9,828 \text{ m/s}^2$. Nilai tersebut masih dalam rentang nilai $9,78 \text{ m/s}^2 - 9,83 \text{ m/s}^2$ berdasarkan data percepatan gravitasi bumi di buku Sarkowi (2014).

Tabel 1. Hasil akuisisi data penelitian posisi dalam satuan m, waktu dalam satuan s, g dalam satuan m/s^2

Percobaan Posisi m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,01	3,414028	2,459364	2,804772	1,421236	1,603944	2,429652	1,826352	1,225468	2,678348	2,398584
0,02	3,420112	2,468720	2,817524	1,435564	1,614360	2,437540	1,835932	1,253620	2,689436	2,409760
0,03	3,430192	2,480980	2,832200	1,450256	1,626124	2,447248	1,846216	1,273660	2,701340	2,421312
0,04	3,435404	2,488812	2,841200	1,459660	1,634312	2,454048	1,853660	1,285656	2,709496	2,429684
0,05	3,444264	2,498712	2,852456	1,471132	1,643848	2,462368	1,862592	1,299040	2,719464	2,439424
0,06	3,449132	2,505636	2,860096	1,478780	1,651096	2,468612	1,868988	1,308020	2,726368	2,446560
0,07	3,457480	2,514600	2,869960	1,488332	1,659740	2,476376	1,876904	1,318560	2,734980	2,454928
0,08	3,461948	2,520688	2,876560	1,495020	1,666152	2,482024	1,882768	1,326136	2,741188	2,461400
0,09	3,469688	2,528820	2,885296	1,503336	1,673940	2,489156	1,889860	1,335080	2,748820	2,468804
0,1	3,473720	2,534176	2,891028	1,509460	1,679628	2,494360	1,895400	1,341884	2,754596	2,474724
0,11	3,481000	2,541716	2,899028	1,517148	1,686848	2,500976	1,902092	1,349920	2,761740	2,481708
0,12	3,484592	2,546396	2,903996	1,522296	1,691816	2,505520	1,906824	1,355760	2,766656	2,486772
0,13	3,491268	2,553260	2,911236	1,529568	1,698420	2,511680	1,913240	1,363160	2,773480	2,493492
0,14	3,495132	2,558056	2,916340	1,534540	1,703512	2,516380	1,917924	1,368624	2,778284	2,498420
0,15	3,501312	2,564408	2,922928	1,541328	1,709572	2,522100	1,923996	1,375624	2,784692	2,504732
0,16	3,504916	2,568808	2,927580	1,546148	1,714284	2,526456	1,928532	1,380832	2,789340	2,509500
0,17	3,510840	2,574912	2,933904	1,552468	1,720096	2,532000	1,934260	1,387300	2,795376	2,515404
0,18	3,514304	2,579044	2,938276	1,557016	1,724540	2,536156	1,938600	1,392200	2,799784	2,519964
0,19	3,520000	2,585020	2,944344	1,562864	1,730172	2,541520	1,943916	1,398120	2,805376	2,525392
0,2	3,523464	2,588956	2,948604	1,567016	1,734480	2,545588	1,947924	1,402616	2,809440	2,529648
0,21	3,529012	2,594760	2,954400	1,572868	1,739920	2,550788	1,953264	1,408472	2,815016	2,535052
0,22	3,532496	2,598824	2,958872	1,576736	1,744400	2,555080	1,957060	1,412704	2,818840	2,539072
$g=9,828m/s^2$ $R=0,9906$	9,892750	9,754610	9,750550	9,919230	9,748580	9,709490	9,914540	9,907420	9,886260	9,808500
	0,9960	0,9920	0,9890	0,9880	0,9920	0,9950	0,9940	0,9760	0,9920	0,9920

5. Kesimpulan

Telah dibuat alat bantu pembelajaran gerak jatuh bebas berbasis *timer* Arduino yang dapat menampilkan secara grafis hubungan kuadrat antara waktu dan jarak tempuh, serta perhitungan nilai percepatan gravitasi di PC. Dibanding pengukuran manual, dengan adanya alat bantu ini pengukuran dilakukan secara otomatis dan hasilnya ditampilkan lebih *user friendly*. Hasil penelitian memperlihatkan secara statistik nilai koefisien korelasi regresi linear untuk kurva *fitting* parabola sebesar 0,9906 hal ini memperlihatkan hubungan yang kuat antara variabel waktu (t) dan variabel posisi (x) dalam penelitian. Rata-rata estimasi nilai percepatan gravitasi adalah sebesar $9,828 m/s^2$, masih dalam rentang nilai $9,78 m/s^2 - 9,83 m/s^2$ data percepatan gravitasi bumi [1].

6. Ucapan Terima Kasih

Saya ucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Akademi Metrologi dan Instrumentasi yang telah memberikan dana penelitian.

Daftar Pustaka

- [1] M. Sarkowi, "Eksplorasi Gaya Berat". Yogyakarta: Graha Ilmu, 2014.
- [2] L. K. Wilkinson, J. E. Gastineau, M. H. Gjertsen, and J. S. Risley, "A Buyers' Guide to Microcomputer-Based Laboratory Equipment in Physics Education," *Comput. Phys.*, vol. 9, no. 2, pp. 185–199, 1995.
- [3] I. Isminarti and U. Ridhani, "Rancang Bangun Media Pembelajaran Praktikum Elektronika

- Analog untuk Meningkatkan Pemahaman Mahasiswa dalam Mengetahui Fungsi dan Karakteristik Operational Amplifier,”* JST J. Sains Terap., vol. 4, no. 1, pp. 37–42, 2018.
- [4] H. K. Kondaveeti, N. K. Kumaravelu, S. D. Vanambathina, S. E. Mathe, and S. Vappangi, “*A Systematic Literature Review on Prototyping with Arduino: Applications, Challenges, Advantages, and Limitations,*” *Comput. Sci. Rev.*, vol. 40, p. 100364, 2021.
- [5] C. Galeriu, “*An Arduino-controlled Photogate,*” *Phys. Teach.*, vol. 51, no. 3, pp. 156–158, 2013.
- [6] C. Galeriu, C. Letson, and G. Esper, “*An Arduino Investigation of The RC Circuit,*” *Phys. Teach.*, vol. 53, no. 5, pp. 285–288, 2015.
- [7] C. E. Aguiar and M. M. Pereira, “*Using the Soundcard as a Timer,*” *Phys. Teach.*, vol. 49, no. 1, pp. 33–35, 2011.
- [8] Z. Gingl, R. Mingesz, P. Makra, and J. Mellár, “*Review of Soundcard Photogates,*” *Eur. J. Phys.*, vol. 32, no. 4, p. 905, 2011.
- [9] E. Widiatmoko, W. Srigutomo, and N. Kurniasih, “*Measurement of Gravitational Acceleration using a Computer Microphone Port,*” *Phys. Educ.*, vol. 47, no. 6, p. 709, 2012.
- [10] S. Kocijancic, “*Self Made Data Acquisition System Applied in Physics Lab,*” *Dep. Phys. Technol. Fac. Educ. Univ. Ljubl. Kardeljeva Pl*, vol. 16, 2000.
- [11] cc arduino, “*Arduino Reference,*” *micros()*, Feb. 06, 2019. <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/time/micros/> (accessed Apr. 22, 2019).
- [12] L. D. Didactic, “*CASSY lab, Manual,*” Germany: Leybold, 2007.
- [13] D. Halliday, J. Walker, and R. Resnick, “*Fundamentals of Physics,*” John Wiley & Sons, 2013.
- [14] D. C. Montgomery and G. C. Runger, “*Applied Statistics and Probability for Engineers,*” John Wiley & Sons, 2010.
- [15] R. L. Melhorato and M. A. D. Sousa, “*An Assessment of the Field Performance of Scintrex CG-5 Autograv Gravimeters,*” 2016.
- [16] L. Octonovrilna and I. P. Pudja, “*Analisa Perbandingan Anomali Gravitasi dengan Persebaran Intrusi Air Asin (Studi Kasus Jakarta 2006-2007),*” *J. Meteorol. Dan Geofis.*, vol. 10, no. 1, 2009.