

RANCANG BANGUN ALAT UKUR ENERGI MEKANIK PADA KASUS GERAK JATUH BEBAS BAGI SISWA BERBASIS ARDUINO

DESIGN OF MECHANICAL ENERGY MEASUREMENT TOOLS IN FALL FREE MOVEMENT CASE FOR STUDENTS BASED

¹Migdes Christianto Kause*, ²Wahyu Lestari

¹Program Studi Pendidikan Dasar, Universitas Negeri Semarang
Jl. Raya Sekaran, Kec. Gunungpati, Kota Semarang, Jawa Tengah 50229,
Indonesia

²Program Studi Magister Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Medan
Jl. William Iskandar Ps. V, Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan,
Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara 20221, Indonesia

*e-mail: 29Migdeskause@gmail.com

Disubmit: 12 Mei 2021, Direvisi: 08 Juni 2021, Diterima: 09 Juni 2021

Abstrak. Telah dilakukan penelitian rancang bangun alat ukur energi mekanik pada kasus gerak jatuh bebas berbasis *arduino uno*. Alat peraga yang telah dikembangkan bertujuan untuk memvisualisasikan fenomena energi mekanik dan mengukur nilai energi mekanik sesuai konsep energi mekanik. Variabel yang diukur dalam alat peraga adalah waktu dan ketinggian benda. Variabel ini akan diolah sehingga memperoleh nilai energi mekanik pada kasus gerak jatuh bebas. Rancang bangun alat peraga dalam penelitian ini terdiri dari empat bagian utama, yaitu perancangan mekanik, perancangan perangkat keras (hardware), perancangan perangkat lunak (software) dan pengujian kinerja alat peraga yang dikembangkan. Metode yang digunakan adalah rancang bangun alat peraga. Hasil pengujian kinerja alat peraga yang dikembangkan menunjukkan bahwa alat peraga mampu memvisualisasikan fenomena energi mekanik dan dapat mengukur nilai energi mekanik dengan nilai pada masing-masing titik sebesar 0,06 J, dan membuktikan konsep energi mekanik.

Kata Kunci : *Arduino, Alat ukur, Energi Mekanik, Sensor Ultrasonik, Gerak Jatuh Bebas*

Abstract. Has already done a research of model design measurecl instrument in case of free movement falling based on arduino uno. The instrument development aim to visualize of mechanical energy and measured the mechanical energy value based on the concept of mechanical energy. The variables measured by the props are the time and the height of the object. . This variable will be processed so as to obtain the value of mechanical energy in the case of free fall motion. This research used four general sections of model design. They are mechanical designer, hardware designer, software disigner, and the developed testing performance. The used model design instrument. The result of developed testing performance howed that the instrument was able to visualizd mechanical energy value with the skor in every point 0,06 J, and proved the concep on mechanical energy.

Keywords: *Arduino Uno, Measure Instrumend, Mechanical Energy, Ultrasonic sensor, Free Fall Movement*

PENDAHULUAN

Fisika merupakan bagian dari Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) yang berhubungan dengan fenomena alam sehingga cara pembelajarannya bukan hanya sekedar

penguasaan pengetahuan berupa fakta, konsep, atau prinsip, tetapi juga merupakan suatu proses penemuan dengan melakukan penelitian berupa percobaan atau praktikum (Dasriyani et al., 2015). Pelajaran fisika

dikalangan peserta didik telah berkembang dengan kesan yang kuat bahwa fisika merupakan pelajaran yang sulit untuk dipahami dan kurang menarik untuk dipelajari. Hal ini dikarenakan kurangnya minat dan motivasi untuk mempelajari materi-materi fisika dengan senang hati, karena banyak peserta didik merasa terpaksa dalam belajar fisika (Alatas et al., 2015). Guru sebagai pendidik tentunya berpengaruh terhadap proses pembelajaran serta memiliki peran besar dalam pencapaian tujuan pembelajaran. Faktanya guru memiliki kontribusi dalam menentukan keberhasilan peserta didik (Pratama & Lestari, 2020). Pembelajaran Inovatif merupakan suatu model pembelajaran yang menuntut guru selalu kreatif dan inovatif menemukan gagasan baru dan ide-ide baru dalam proses belajar mengajar, sehingga tercipta suatu kondisi yang menyenangkan (Ahmadani, 2012). Pembelajaran fisika akan lebih menarik jika diajarkan dengan metode yang tepat dan relevan. Salah satunya dengan melibatkan peserta didik secara aktif melalui kegiatan eksperimen. Dalam kegiatan eksperimen banyak keterampilan pada peserta didik yang akan berkembang seperti mengamati, menafsirkan pengamatan, mengolah data, menggunakan alat dan bahan, menerapkan konsep, merencanakan penelitian, berkomunikasi, dan mengajukan pertanyaan sehingga dapat menumbuhkan minat dan motivasi belajar peserta didik (Gunawan et al., 2015). Salah satu media pembelajaran yang tepat untuk digunakan dalam kegiatan eksperimen adalah alat peraga.

Alat peraga merupakan alat bantu dalam pembelajaran yang berfungsi untuk memudahkan guru dalam penyampaian materi (Wasino et al., 2013). Alat peraga yang dibuat merupakan alat peraga energi mekanik. Alat peraga ini dibuat untuk membantu guru dalam menyampaikan materi energi mekanik yang mana materi ini dibutuhkan visualisasi atas kasus-kasus yang menggambarkan tentang materi energi mekanik, dan memberi kemudahan bagi para peserta didik untuk membayangkan proses terjadinya suatu kasus yang ada dalam materi energi mekanik.

Seiring dengan perkembangan zaman teknologi sangatlah penting dalam pembelajaran. Kehadir teknologi dalam bidang pendidikan, dapat mempengaruhi variasi dalam hal pengajaran (Pratama et al., 2020). Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi salah satu penemuan dibidang elektronika yaitu diciptakannya *arduino*. *Arduino* dapat digunakan untuk mengembangkan obyek interaktif mandiri atau dapat dihubungkan ke perangkat lunak pada komputer. Banyak perangkat pembelajaran yang sudah memanfaatkan *arduino* dalam melakukan pengukuran, antara lain: Alat peraga bintang matahari (Silta & Pramudya, 2017), alat peraga GLB dan GLBB berbasis sensor LDR (*Ligh Dependent Resistor*) (Wasino et al., 2013), alat uji kekentalan menggunakan metode viskositas stokes (Sudarmanto, 2016) dan alat ukur gerak jatuh bebas (Dasriyani et al., 2015).

Sensor cahaya merupakan komponen elektronik yang digunakan untuk merubah besaran cahaya menjadi besaran listrik. Penggunaan sensor cahaya dalam

pembuatan alat peraga telah memiliki aplikasi yang luas seperti mengembangkan alat peraga GLB dan GLBB untuk mengukur waktu dan kecepatan benda (Wasino et al., 2013), alat praktikum gerak harmonik sederhana untuk mengukur percepatan gravitasi bumi (Huriawati & Yusro, 2016), dan alat peraga GLBB pada bidang miring untuk mengukur percepatan benda (Kurniawan, 2015)

Sensor ultrasonik bekerja berdasarkan prinsip pemantulan gelombang suara dan digunakan untuk mendeteksi keberadaan suatu objek tertentu di depannya. Frekuensi kerja sensor ultrasonik pada daerah diatas gelombang suara dari 40 kHz hingga 400 kHz (Indianto et al., 2017). Sensor ultrasonik bekerja berdasarkan pemantulan gelombang suara, dimana sensor ini menghasilkan gelombang suara yang kemudian menangkapnya. Sensor ultrasonik telah memiliki aplikasi yang luas dalam mengembangkan berbagai alat peraga fisika seperti sensor ultrasonik untuk deteksi jarak (Arasada, 2017).

Komponen-komponen elektronik yang digunakan adalah LED (*Light Emitting Diode*) merupakan komponen elektronika yang dapat memancarkan cahaya monokromatik ketika diberikan tegangan maju. LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah modul LCD matrix dengan konfigurasi 16 karakter dan 2 baris dengan setiap karakternya dibentuk oleh 8 baris pixel dan 5 kolom pixel (1 baris terakhir adalah kursor). Push button switch (saklar tombol tekan) adalah perangkat / saklar sederhana yang berfungsi untuk menghubungkan atau memutuskan aliran arus listrik dengan sistem kerja tekan unlock (tidak mengunci) (Sokop et al., 2016).

Aktuator merupakan elemen yang mengkonversikan besaran listrik analog menjadi besaran lainya. Aktuator dikendalikan oleh media pengontrol otomatis yang terprogram di antaranya mikrokontroler. Relay merupakan sebuah alat elektromagnetik yang dapat mengubah kontak-kontak saklar sewaktu alat ini menerima sinyal listrik. Sebuah relay terdiri dari satu kumparan dan inti, yang mana bila dialiri arus kumparan tersebut akan menjadi magnet dan menutup atau membuka kontak-kontak (Wibisono, 2012).

Dari uraian di atas rendahnya minat dan motivasi peserta didik dalam mempelajari fisika, maka peneliti melakukan penelitian perancang alat ukur energi mekanik pada kasus gerak jatuh bebas berbasis arduino, yang akan digunakan sebagai alat praktikum untuk pembelajaran fisika dan digunakan sebagai media pembelajaran, sehingga tujuan dari pembelajaran fisika dapat tercapai. Alat peraga ini dibuat dengan output berupa waktu dan juga ketinggian benda, hal ini bertujuan agar variabel hasil pengukuran yang telah diperoleh mampu diolah oleh peserta didik untuk mendapatkan hasil energi mekanik pada kasus gerak jatuh.

METODE PENELITIAN

Rancang bangun alat peraga dalam penelitian ini terdiri dari empat bagian utama, yaitu perancangan

mekanik, perancangan perangkat keras (*hardware*), perancangan perangkat lunak (*software*) dan pengujian kinerja alat peraga yang dikembangkan.

1) Perancangan Mekanik

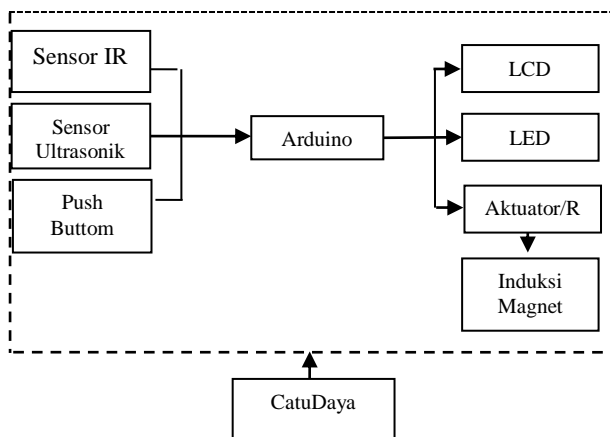
Perancangan perangkat mekanik memiliki fungsi sebagai alat memvisualisasi energi mekanik. Desain mekanik dalam penelitian ini terdiri dari beberapa komponen utama, yang terdiri dari: penyangga, waterpass, kotak sensor ultrasonik, kotak sensor inframerah, dan kotak elektronik. Desain tempat kediaman benda yang dijatuhkan dirancang menggunakan pengait sehingga dapat digeser *up/down*. Penggunaan pengait memiliki tujuan agar diperoleh variasi ketinggian pada saat melakukan pengukuran.

Komponen yang diuji dalam perangkat mekanik adalah tempat kedudukan benda. Pengujian ini dilakukan agar pada saat benda dijatuhkan dari ketinggian tertentu kedudukan benda tetap konsisten atau tidak bergeser dari kedudukan semula.

Perancangan rangka alat ukur energi mekanik pada kasus gerak jatuh bebas yang dirancang berukuran tinggi 100 cm, Rangka alat ukur energi mekanik pada kasus gerak jatuh bebas dibuat menggunakan kayu.

2) Perancangan perangkat keras

Perancangan perangkat keras alat peraga energi mekanik ditunjukkan pada Gambar 1. Dalam tahap ini perangkat-perangkat keras dirancang menjadi satu bagian seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 sensor IR, sensor ultrasonik dan push buttom merupakan input/masukan ke *arduino*. Sensor Infrared berfungsi untuk mendeteksi keberadaan benda dimana sensor infrared mempunyai 2 bagian receiver dan transmitter. Sementara itu sensor ultrasonik untuk membaca jarak secara otomatis. Tombol *push-on* digunakan untuk mengontrol kondisi on atau off suatu rangkaian listrik. Penggunaan catu daya pada pembuatan alat peraga energi mekanik berfungsi untuk mensuplai tegangan keseluruhan rangkaian yang ada. Diagram alat peraga energi mekanik secara keseluruhan ditunjukkan pada diagram gambar1.



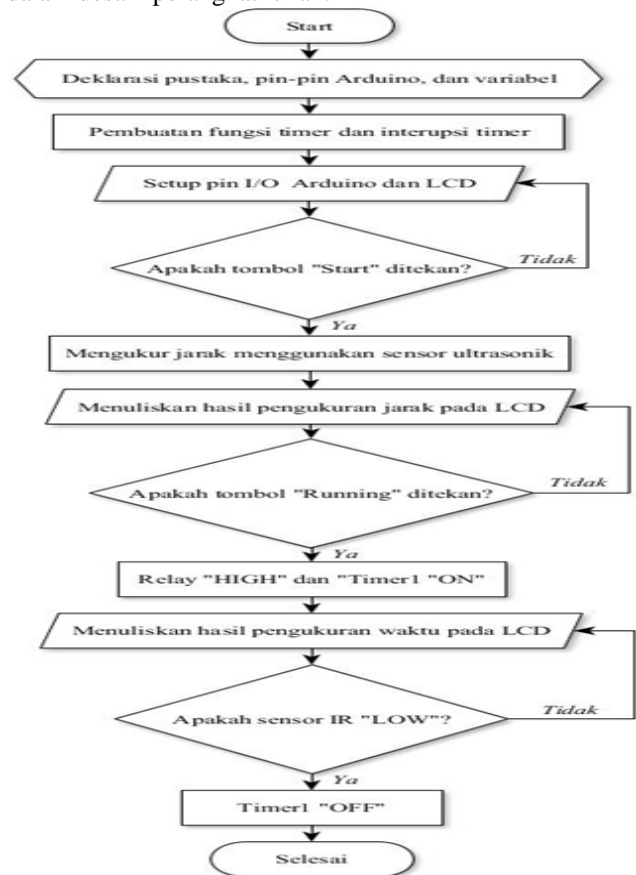
Gambar 1. Perancangan perangkat keras alat ukur energi mekanik

Output dihasilkan berupa tampilan di LCD berupa ketinggian dan waktu, LED, relay dan induksi magnet. Penggunaan relay pada pembuatan alat peraga energi mekanik adalah untuk mengubah kontak-kontak saklar sewaktu alat ini menerima sinyal listrik. Aktuator merupakan elemen yang mengkonversikan besaran listrik analog menjadi besaran lainnya. Aktuator dikendalikan oleh media pengontrol otomatis yang terprogram diantaranya mikrokontroler. Aktuator digunakan untuk membuat bola besi bisa menempel pada besi.

Kriteria perangkat keras dikatakan berfungsi secara baik adalah: 1) Tombol *push buttom* dapat mengontrol ON dan OFF dengan baik, 2) Sensor IR dapat membaca waktu selama 6 kali percobaan berulang dengan konsisten, 3) Sensor ultrasonik dapat membaca ketinggian selama 6 kali percobaan berulang dengan konsisten, 4) Arduino dapat mengolah masukan dari sensor IR dan sensor ultrasonik kemudian memberikan keluaran pada LCD dan LED, 5) LCD dapat membaca keluaran dari *Arduino* berupa waktu dan ketinggian.

3) Perancang perangkat lunak

Desain perangkat lunak alat peraga energi mekanik dalam penelitian ini menggunakan software *Arduino IDE*. Gambar 2 menunjukkan diagram alir perangkat lunak software *Arduino IDE*. Bahasa C# dan *compiler Integrated Development Environment (IDE)* *Arduino* merupakan bahasa program yang digunakan dalam desain perangkat lunak.



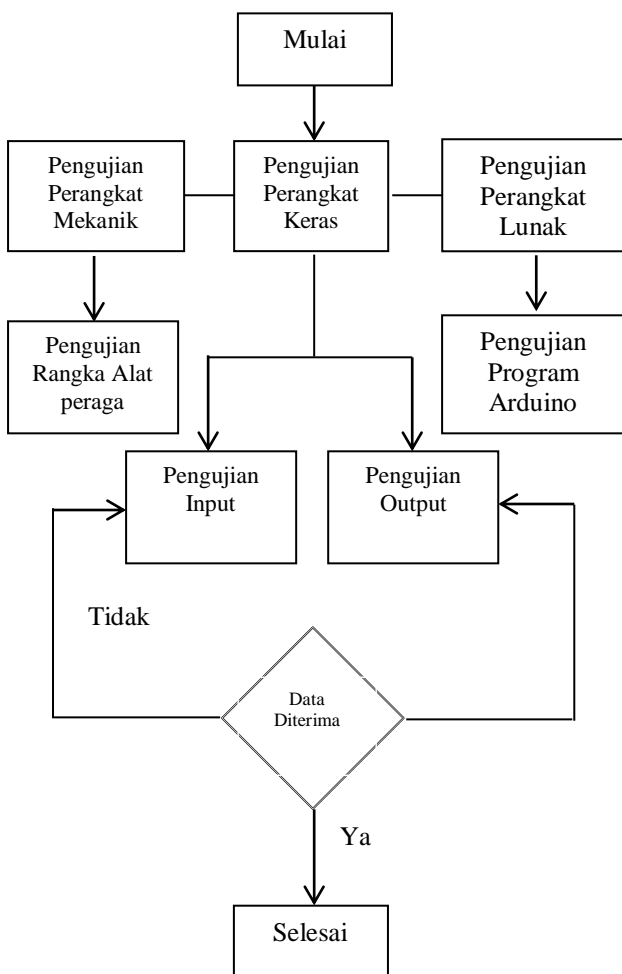
Gambar 2. Diagram Alir Program *Arduino*

Desain perangkat lunak memiliki beberapa blok utama yaitu deklarasi pustaka dan variabel, deklarasi pin-pin *Arduino*, setup pin-pin *Arduino* dan LCD, merancang fungsi timer dan *interrupt* timer, mengukur jarak, mengendalikan aktuator, mengukur waktu, dan menuliskan hasil pengukuran pada LCD. *Flowchart* desain perangkat lunak dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.

Kriteria perangkat lunak dikatakan berfungsi secara baik apabila 1) Deklarasi pin-pin *arduino* dapat membaca variabel timer, 2) Membaca input sensor IR dan sensor ultrasonik, 3) Membaca masukan dari tombol push button, 4) Dapat mengendalikan aktuator.

3) Rancangan pengujian alat peraga

Pengujian dimaksudkan untuk mendapatkan evaluasi terhadap alat yang sudah dirancang bangun, agar diperoleh kinerja yang lebih baik. Pengujian perangkat mekanik dilakukan dengan cara menguji masing-masing komponen yang sudah dibuat. Mulai dari rangka alat peraga, penggeser sensor ultrasonik. Pengujian ini bertujuan agar rangka alat peraga energi yang dibuat layak digunakan. Rancangan pengujian alat peraga energi mekanik ditunjukkan pada Gambar 3.



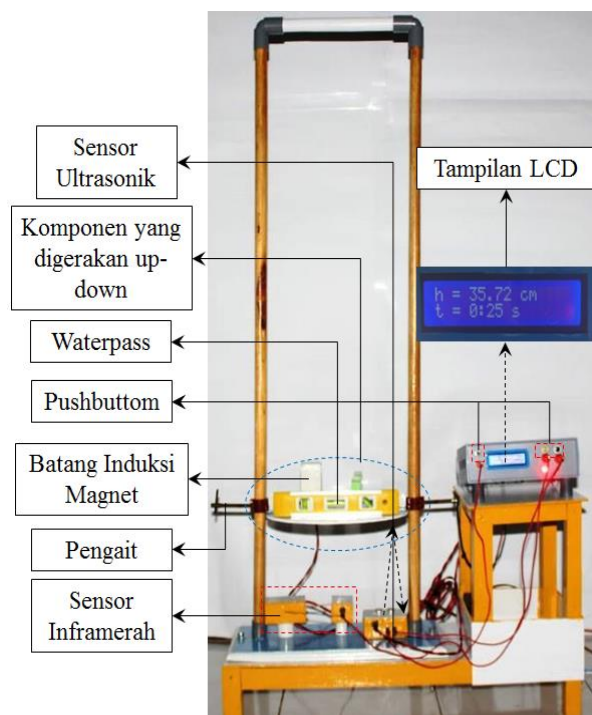
Gambar 3. Diagram pengujian alat peraga energi mekanik

Pengujian perangkat keras dilakukan dengan cara mengecek arus yang masuk dan arus yang keluar pada masing-masing sensor. Hal ini bertujuan agar sensor dapat digunakan dengan baik. Pengujian perangkat lunak dilakukan dengan cara memprogram *arduino* beserta sensor ultrasonik dan sensor inframerah, kemudian dilakukan pengukuran. Data yang diperoleh adalah waktu tempuh bola dan juga ketinggian bola ke dasar. Setelah itu data hasil pengukuran waktu dianalisis untuk menentukan kecepatan yang selanjutnya akan digunakan untuk mencari nilai energi kinetik. Sedangkan data hasil pengukuran ketinggian dianalisis untuk menentukan nilai energi potensial. Pengukuran ketinggian benda akan dikalibrasi dengan mistar, sehingga hasil yang diperoleh akurat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1) Hasil Rancang Bangun Alat Energi Mekanik

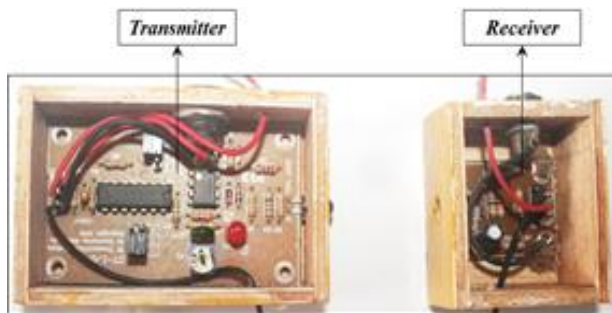
Hasil rancangan bangun alat peraga energi mekanik ditunjukkan pada Gambar 4. Masing-masing komponen dirakit sesuai dengan fungsinya masing-masing. Alat ini dibuat sesederhana mungkin sehingga mudah untuk digunakan. Alat ukur yang dirancang memiliki cara kerja yaitu: 1) Menentukan posisi beban yang akan dijatuhkan, 2) Menentukan ketinggian beban dengan sensor ultrasonik yang dikontrol melalui tombol *pushbutton*, 3) Menyalakan induksi magnet selanjutnya menempatkan beban pada batang induksi magnet, 4) Melepaskan beban dengan mengoperasikan kumparan yang dikontrol menggunakan aktuator, 5) Mengukur waktu tempuh beban menggunakan timer1 *Arduino* yang dikontrol melalui *trigger* sensor inframerah, dan 6) Hasil ditampilkan pada LCD berupa ketinggian beban dan waktu tempuh.



Gambar 4. Alat Ukur Energi Mekanik

2) Hasil Rancang Perangkat Keras

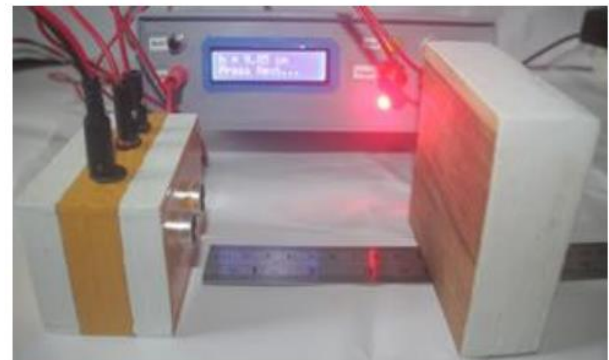
Hasil perancangan perangkat keras alat peraga energi mekanik berupa input dan output. Pada sensor IR pengujian dilakukan dengan menjatuhkan bola besi pada sensor. Bola besi akan memotong cahaya memotong cahaya yang dipancarkan oleh *transmitter*. Sensor IR akan mengirimkan data ke arduino. Pin sensor IR berada pada pin 9 arduino. Gambar sensor IR di tunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil desain Sensor IR

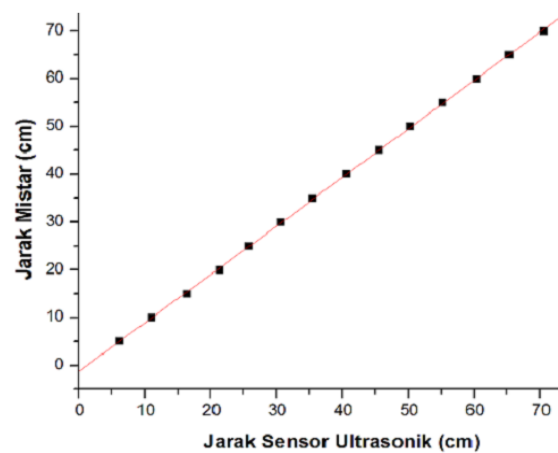
Cara kerja sensor inframerah dalam penelitian ini adalah LED mengeluarkan cahaya inframerah ke fototransistor sehingga menyebabkan *output* fototransistor dalam keadaan “HIGH”. Ketika benda berada ditengah-tengah LED dan fototransistor sehingga menutup cahaya inframerah untuk sampai ke fototransistor maka *output* fototransistor akan menjadi “LOW”. Perubahan pada *output* fototransistor digunakan sebagai sinyal *trigger* dalam mengontrol cacahan waktu yang berlangsung pada timer1 *Arduino*. Prinsip kerja dalam mencacah waktu benda pada saat jatuh bebas dalam penelitian ini adalah saat benda mulai dilepaskan dari batang magnet yang dikontrol menggunakan tombol *push button* maka timer 1 akan “ON” dan mencacah waktu selama benda bergerak jatuh ke bawah. Pada saat benda melewati sensor inframerah maka terjadi perubahan keluaran pada fototransistor yang diberikan ke *Arduino* untuk menghentikan cacahan waktu dengan membuat timer1 pada *Arduino* menjadi “OFF”. Prinsip kerja mencacahan waktu pada alat peraga ini sama seperti stopwatch otomatis yang dikendalikan menggunakan *Arduino* melalui tombol *push button* dan sensor inframerah.

Sensor ultrasonik yang digunakan telah terkalibrasi dengan mistar. Proses kalibrasi ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Kalibrasi sensor ultrasonik

Dalam penelitian ini proses kalibrasi sensor ultrasonik merupakan tahapan yang dilakukan agar sensor ultrasonik memiliki hasil pengukuran jarak sama dengan alat ukur panjang seperti mistar yang biasa digunakan untuk mengukur jarak. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan besaran yang diukur menggunakan sensor ultrasonik dan besaran yang diperoleh mistar. Hasil kalibrasi ditunjukkan pada Gambar 7. Hasil ini menunjukkan perbandingan jarak sensor ultrasonik dan mistar adalah linear dengan persamaan linearitasnya adalah $y = 1,01596x - 1,35378$. Persamaan ini menunjukkan variabel x adalah variabel jarak yang diukur menggunakan sensor ultrasonik dan y merupakan variabel jarak yang diukur menggunakan mistar. Persamaan linearitas digunakan dalam menghitung ketinggian benda dalam proses pengukuran.



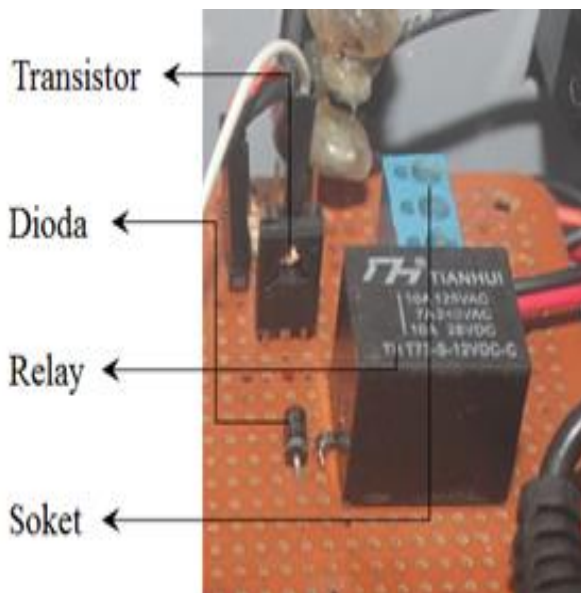
Gambar 7. Grafik kalibrasi sensor ultrasonik pada mistar

Hasil ketinggian yang diperoleh dari sensor ultrasonik akan ditampilkan pada LCD. Pin sensor ultrasonik berada pada pin 10 arduino. Sementara output yang dihasilkan berupa tampilan LCD, kaki-kaki LCD berada pada PIN arduino 2,3,4,5,6,7,8. Gambar tampilan LCD seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Tampilan LCD

Aktuator berfungsi sebagai penterjemah keluaran digital ke *output* analog. Sinyal “HIGH” akan ditampilkan oleh pin Arduino dan transistor terbuka sehingga terdapat perbedaan tegangan maka arus mengalir pada kumparan relay dan merubah *output* relay. Perubahan *output* relay dapat menghentikan arus yang ada pada kumparan sehingga medan magnet pada batang induksi dapat menghilang dan benda akan jatuh bebas dari ketinggian tertentu. Desain sistem aktuator menggunakan mode *Normally Close* (NC) yaitu dalam kondisi “idle” arus berpindah pada kumparan, sedangkan ketika ada perubahan logika yang diberikan dari Arduino maka tidak ada arus yang mengalir pada kumparan.



Gambar 9. Desain aktuator

3) Hasil Rancang Perangkat Lunak

Hasil rancangan perangkat lunak dilakukan dengan cara memberikan program pada *arduino* dengan bahasa C sehingga untuk output dapat dilihat pada tampilan LCD. Untuk menghitung waktu bahasa C ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Hasil desain perangkat lunak

Perangkat lunak yang dibuat terdiri dari 6 bagian utama, yaitu: fungsi timer, *interrupt timer overflow*, mengukur jarak, mengontrol aktuator, pengukuran waktu, dan menampilkan hasil pengukuran pada LCD.

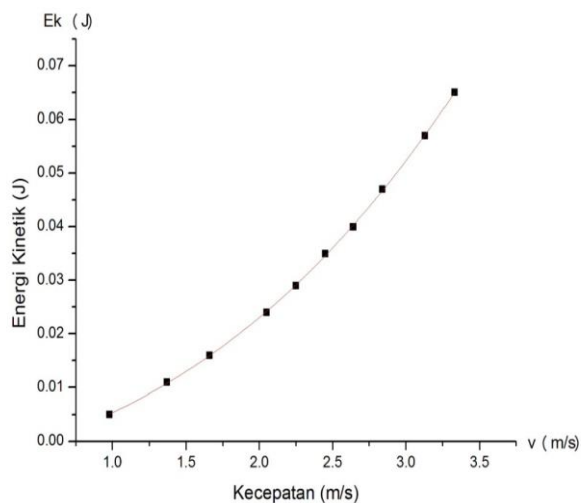
4) Hasil Ujicoba dan Analisis Data

Pengambilan data secara otomatis menggunakan alat peraga telah dilakukan pada ketinggian 0.44 m, 0.39 m, 0.34 m, 0.29 m, 0.24 m, 0.19 m, 0.14 m, 0.09 m, 0.04 m, 0 m dengan massa beban 11,78 g = 0.01178 kg, sementara waktu yang diperoleh pada masing-masing ketinggian yaitu 0.10 s, 0.14 s, 0.17 s, 0.21 s, 0.23 s, 0.25 s, 0.27 s, 0.29 s, 0.32 s dan 0.34 s. Hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil nya memperlihatkan pada saat benda jatuh dari suatu ketinggian tertentu semakin ke bawah maka kecepatan benda semakin besar. Sementara itu perubahan energi yang terjadi antara energi potensial dan energi kinetik benda berbanding terbalik. Hasil energi mekanik pada setiap titik memiliki nilai yang sama, hal tersebut sesuai dengan konsep energi mekanik.

Tabel 1. Data hasil perhitungan

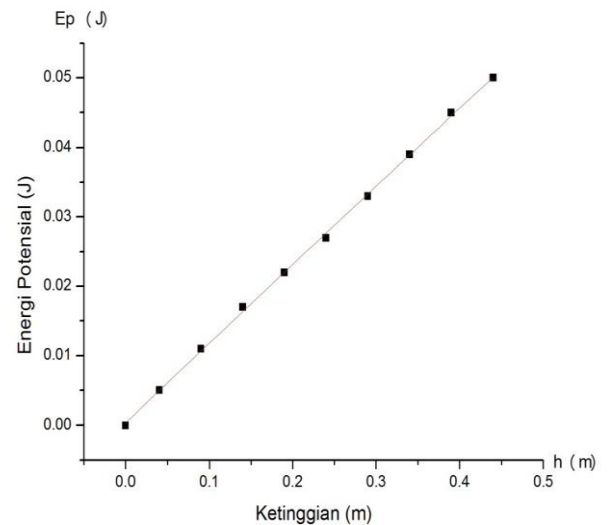
No	h (m)	t (s)	v (m/s)	Ep (J)	Ek (J)	Em (J)
1	0.44	0.10	0.98	0.050	0.005	0.06
2	0.39	0.14	1.37	0.045	0.011	0.06
3	0.34	0.17	1.66	0.039	0.016	0.06
4	0.29	0.21	2.05	0.033	0.024	0.06
5	0.24	0.23	2.25	0.027	0.029	0.06
6	0.19	0.25	2.45	0.022	0.035	0.06
7	0.14	0.27	2.64	0.017	0.040	0.06
8	0.09	0.29	2.84	0.011	0.047	0.06
9	0.04	0.32	3.13	0.005	0.057	0.06
10	0	0.34	3.33	0	0.065	0.06

Hasil analisis energi kinetik dan kecepatan benda, ditunjukkan pada Gambar 11. Gambar 11 memperlihatkan hubungan kuadratik antara energi kinetik benda dan kecepatan benda. Hasil yang didapatkan sesuai dengan konsep teoritik seperti yang dinyatakan dalam persamaan $E_K = 1/2mv^2$ yang mana E_K sebanding dengan kuadrat dari v .



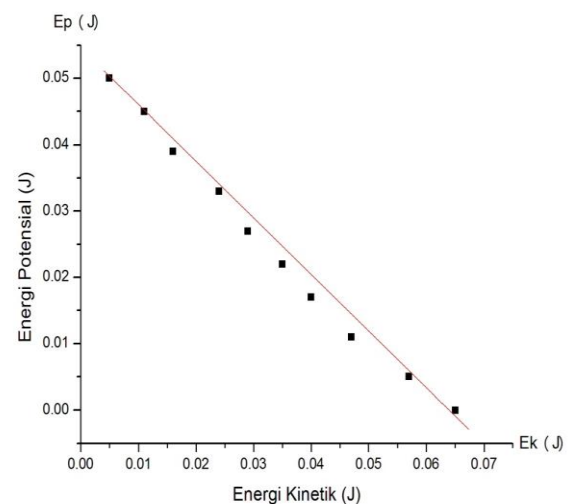
Gambar 11. Grafik E_K - v hasil pengukuran

Hasil analisis energi potensial dan ketinggian benda ditunjukkan pada Gambar 12. Grafik menunjukkan adanya hubungan linear antara energi potensial benda dan ketinggian benda. Hasil ini sesuai dengan konsep teoritik seperti yang dinyatakan dalam persamaan $E_P = mgh$ yang mana E_P sebanding dengan h .



Gambar 12. Grafik Hubungan E_P - h hasil pengukuran

Hasil pengukuran energi kinetik benda (E_K) dan energi potensial benda (E_P) dianalisis hubungannya dalam grafik yang ditunjukkan pada analisis pada Gambar 13. Hasil analisis grafik memperlihatkan terdapat hubungan yang berbanding terbalik antara energi kinetik benda dan energi potensial benda. Hasil ini sesuai dengan konsep teoritik yang diperlihatkan dalam persamaan $E_P > E_K <$ dimana jika nilai E_P besar maka nilai E_K kecil.



Gambar 13. Grafik Hubungan E_P - E_K hasil pengukuran

KESIMPULAN

Alat peraga energi mekanik pada kasus gerak jatuh bebas telah dikembangkan. Pengembangan alat peraga terdiri dari empat bagian utama. Pengujian alat peraga dalam penelitian ini membuktikan konsep-konsep energi mekanik pada kasus gerak jatuh bebas dan memperlihatkan hasil yang diperoleh sesuai dengan

konsep-konsep teoritik baik itu hubungan $E_K - v^2$, $E_p - h$, dan $E_p - E_K$. Alat peraga yang dikembangkan mampu mengukur energi mekanik (J) dengan rata-rata nilai yang diperoleh yaitu sebesar 0,06 J pada setiap titik.

Dari hasil pengukuran yang telah dilakukan disarankan kepada peneliti selanjutnya agar dapat mengimplementasikan alat ukur energi mekanik pada kasus gerak jatuh bebas pada siswa.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadani, W. L. (2012). PENGEMBANGAN MEDIA PEMBELAJARAN INOVATIF KOOPERATIF MUSIK RITMIS BERBASIS MULTIMEDIA DI SMA NEGERI 3 PATI. *Journal of Arts Education*, 1(2), 2–5.
- Alatas, F., Mulhayatiah, D., & Jahrudin, A. (2015). PENGGUNAAN ALAT PERAGA ROTATION TIMER DAN RODA FLEKSIBEL UNTUK MENINGKATKAN KEMAMPUAN ANALISIS SISWA. *Jurnal Penelitian Dan Pembelajaran IPA*, 1(1). <https://doi.org/10.30870/jppi.v1i1.327>
- Dasriyani, Y., Hufri, & Yohandri. (2015). Pembuatan Set Eksperimen Gerak Jatuh Bebas Berbasis Mikrokontroler Dengan Tampilan Pc. *Pillar of Physics*, 5(April).
- Gunawan, Harjono, A., & Sahidu, H. (2015). Pengembangan Model Laboratorium Virtual Berorientasi Pada Kemampuan Pemecahan Masalah Bagi Calon Guru Fisika. *Prosiding Seminar Nasional Fisika Dan Pendidikan Fisika (SNFPF)*, 6(1).
- Huriawati, F., & Yusro, A. C. (2016). Pengembangan Odd " Osilator Digital Detector " Sebagai alat peraga praktikum gerak harmonil sederhana. *Jurnal Inovasi Dan Pembelajaran Fisika*, 4(1).
- Indianto, W., Kridalaksana, A. H., & Yulianto, Y. (2017). Perancangan Sistem Prototipe Pendeteksi Banjir Peringatan Dini Menggunakan Arduino Dan PHP. *Informatika Mulawarman: Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, 12(1). <https://doi.org/10.30872/jim.v12i1.222>
- Kurniawan, D. (2015). PERANCANGAN KIT PERCOBAAN GERAK LURUS BERUBAH BERATURAN PADA BIDANG MIRING. In *Jurnal Inovasi Fisika Indonesia* (Vol. 04, Issue 3).
- Pratama, L. D., & Lestari, W. (2020). Pengaruh Pelatihan Terhadap Kompetensi Pedagogik Guru Matematika. *Jurnal Cendekia: Jurnal Pendidikan Matematika*, 4(1). <https://doi.org/10.31004/cendekia.v4i1.207>
- Pratama, L. D., Lestari, W., & Astutik, I. (2020). Efektifitas Penggunaan Media Edutainment Di Tengah Pandemi Covid-19. *AKSIOMA: Jurnal Program Studi Pendidikan Matematika*, 9(2). <https://doi.org/10.24127/ajpm.v9i2.2783>
- Silta, Y. N., & Pramudya, Y. (2017). PENGEMBANGAN ALAT PERAGA BINTIK MATAHARI MENGGUNAKAN LED BERBASIS ARDUINO. *Spektra: Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 2(3). <https://doi.org/10.21009/spektra.023.05>
- Sokop, S. J., Mamahit, D. J., & Sompie, S. (2016). Trainer Periferal Antarmuka Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno. *Jurnal Teknik Elektro Dan Komputer*, 5(3).
- Sudarmanto, A. (2016). PEMBUATAN ALAT UJI KEKENTALAN MINYAK GORENG DENGAN MENGGUNAKAN METODE VISKOSITAS STOKES UNTUK PRAKTIKUM FISIKA DASAR 1 JURUSAN TADRIS FISIKA FAKULTAS ILMU TARBIYAH DAN KEGURUAN IAIN WALISONGO. *Phenomenon: Jurnal Pendidikan MIPA*, 4(2). <https://doi.org/10.21580/phen.2014.4.2.103>
- Wasino, Maftukhin, A., & Kurniawan, E. S. (2013). Pengembangan Alat Peraga GLB dan GLBB Berbasis Sensor LDR (Light Dependent Resistor). *Radiasi*, 3(2).
- Wibisono, G. 2012. Pencuci dan pengering tangan otomatis berbasis mikrokontroler. *Prosiding Jurusan Sistem Komputer*