

PEMBUATAN SET EKSPERIMEN GERAK VERTIKAL BAWAH BERBASIS SENSOR PING DAN SENSOR *PHOTOGATE* DENGAN TAMPILAN PC

Maria Idayu^{*)}, Yulkifli dan Zuhendri Kamus

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Padang,
Jl. Prof. Dr. Hamka Air Tawar, Padang 25131

^{*)} mariaidayu95@gmail.com

ABSTRACT

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi tidak terlepas dari peran berbagai disiplin ilmu yang ada, salah satunya Fisika. Salah satu fenomena fisika adalah gerak jatuh bebas. Penelitian ini menjelaskan spesifikasi desain, validasi dan spesifikasi performansi set eksperimen gerak jatuh bebas. Hasil dari sistem performansi set eksperimen gerak jatuh bebas ini terdiri sistem mekanik dan elektronik. Sistem mekanik terdiri dari sensor *photogate*, sensor ping, sensor getaran, statif, lengan statif, dan dasar statif. Sistem elektronik set eksperimen gerak jatuh bebas terdiri dari catudaya, rangkaian LCD, rangkaian reset, rangkaian pengontrolan magnet, rangkaian sensor getar, rangkaian sensor ping dan rangkaian sensor *photogate*. Hasil dari spesifikasi dari set eksperimen gerak jatuh bebas terdiri dari ketelitian, ketepatan dan validasi alat. Ketepatan pengukuran set eksperimen ini adalah 97,84%, ketelitian dari set eksperimen ini adalah 99,63% dengan standar deviasi sebesar 0,00022 dan validasi set eksperimen ini berada pada kriteria sangat valid dengan nilai rata-rata validasi tenaga ahli adalah 86,66%.

Keywords : *Gerak jatuh bebas, Ketepatan, Ketelitian, Validasi dan sensor ping*



This is an open access article distributed under the Creative Commons 4.0 Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. ©2018 by author and Universitas Negeri Padang.

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK), semakin terasa bertambah maju, khususnya dalam bidang ilmu pengetahuan yang sepadan dengan kemajuan teknologi. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi tidak terlepas dari peran berbagai disiplin ilmu yang ada. Salah satunya adalah Fisika. Fisika merupakan salah satu cabang ilmu pengetahuan alam yang mempelajari gejala alam, tidak hanya berpegang pada teori belakang, tetapi diiringi dengan kegiatan eksperimen. Salah satu kegiatan eksperimen fisika yang dilakukan di laboratorium Fisika adalah penentuan percepatan gravitasi bumi.

Percepatan gravitasi bumi adalah percepatan yang dialami oleh benda yang jatuh bebas dari ketinggian tertentu menuju permukaan bumi. Berdasarkan literatur, nilai rata-rata percepatan gravitasi bumi adalah $9,8\text{m/s}^2$. Arah percepatan gravitasi bumi adalah menuju pusat bumi atau tegak lurus menuju permukaan tanah. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk menentukan percepatan gravitasi bumi adalah percobaan gerak jatuh bebas.

Gerak jatuh bebas adalah gerak jatuh benda pada arah vertikal dari ketinggian tertentu tanpa kecepatan awal (Giancoli, 2001). Berdasarkan teori, peristiwa gerak jatuh bebas dipengaruhi oleh gaya gravitasi bumi, sehingga nilai percepatan benda pada saat mengalami gerak jatuh bebas adalah mendekati nilai percepatan gravitasi bumi. Untuk membuktikan teori tersebut maka perlu dilakukan eksperimen gerak

jatuh bebas. Sebuah eksperimen tidak terlepas dari sistem pengukuran. Pengukuran dimanfaatkan sebagai sarana untuk mendapatkan data, untuk mengambil kesimpulan dan untuk menentukan keterkaitan antara dua variabel atau lebih. Dalam eksperimen gerak jatuh bebas ada beberapa variabel atau parameter fisika yang diukur yaitu ketinggian, waktu, kecepatan dan percepatan gravitasi bumi.

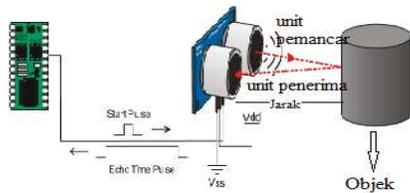
Hasil yang didapatkan dari penelitian sangat ditentukan oleh set eksperimen. Set eksperimen telah banyak dikembangkan oleh industri-industri. Pada pengukuran gerak jatuh bebas dalam eksperimennya telah mengalami perkembangan dari sistem manual ke sistem digital yang dilakukan oleh penelitian sebelumnya tetapi masih memiliki beberapa kelemahan.

Menurut Dasriyani (2014), penelitian tentang set eksperimen gerak jatuh bebas yang dilakukannya memiliki kelebihan dan kekurangan atau kendala yang dihadapinya. Kelebihan set eksperimennya terletak pada pengukuran waktu yang dilakukan secara otomatis yang dapat meminimalisir kesalahan dibandingkan pengukuran waktu menggunakan stopwatch. Kendala yang ditemuinya dalam pengukuran ketinggian. Kendala tersebut dapat diatasi dengan menambahkan sensor ping sebagai pengukuran ketinggian. Hal ini dilakukan agar memperoleh variasi ketinggian yang lebih baik dan data yang lebih akurat.

Berdasarkan data yang diukur pada eksperimen gerak jatuh bebas dapat dibuktikan besarnya percepatan gravitasi bumi. 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. Dengan adanya perancangan alat ini, diharapkan dapat digunakan sebagai alat bantu pendidikan dan mempermudah mahasiswa dan siswa yang mengikuti kegiatan eksperimen fisika khususnya eksperimen gerak jatuh bebas. Hal ini dapat dilakukan oleh praktikan hanya dengan melihat langsung dari display yang disediakan berupa LCD dan PC yang menampilkan hasil kegiatan praktikum. Variabel yang ditampilkan pada LCD dan PC berupa ketinggian, waktu, dan kecepatan benda.

Ketinggian benda diukur menggunakan sensor ping. Sensor ping adalah sebuah sensor yang berfungsi untuk mengubah besaran fisis (bunyi) menjadi besaran listrik dan sebaliknya. Sensor ping merupakan sensor dimana pin nya ada 3 yang terdiri dari pin vcc, gnd dan keluarannya (signal). Bentuk fisis dan cara kerja dari sensor ping ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Sensor Ping

Pada Gambar 3 terlihat bahwa sensor ping terdiri dari dua unit yaitu unit pemancar (*trigger*) dan unit penerima (*receiver*). Modul sensor ping mendeteksi jarak antara objek dan sensor dengan cara memancarkan gelombang ultrasonik (40 kHz) dari unit pemancar, kemudian pantulan gelombang ultrasonik dari objek diterima oleh unit penerima sensor ping. Gelombang ultrasonik ini merambat di udara dengan kecepatan 344 meter per detik, mengenai objek dan memantul kembali ke sensor. Modul sensor PING mengeluarkan pulsa *output high* pada pin sig setelah memancarkan gelombang ultrasonik dan setelah gelombang pantulan terdeteksi modul sensor PING akan membuat *output low* pada pin sig. Lebar pulsa High (t_{IN}) akan sesuai dengan lama waktu tempuh gelombang ultrasonik untuk 2 kali jarak ukur dengan objek. Berikut adalah data hasil penghitungan waktu yang diperlukan modul sensor ping untuk menerima pantulan pada jarak tertentu. Perhitungan ini didapat dari rumus berikut:

$$S = (t_{IN} \times V) \div 2 \dots\dots\dots(1)$$

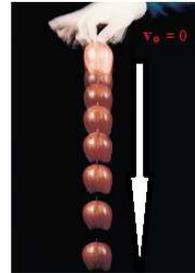
Dimana, S adalah jarak antara sensor ultrasonik dengan objek yang dideteksi. V adalah cepat rambat gelombang ultrasonik di udara (344m/s) dan t_{IN} adalah selisih waktu pemancaran dan penerimaan pantulan gelombang. Besar amplitudo sinyal elektrik yang dihasilkan unit sensor penerima tergantung dari

jauh dekatnya objek yang dideteksi serta kualitas dari sensor pemancar dan sensor penerima (Yulkifli,2013).

Sensor getaran adalah suatu alat yang berfungsi untuk mendeteksi adanya getaran dan diubah kedalam sinyal listrik. Sistem pendeteksi getaran mampu memberikan informasi berupa parameter getaran yang direspon oleh sensor. Magnet dapat dimanfaatkan sebagai sensor untuk sistem elektronik. Salah satu implementasinya adalah sebagai sensor on/off pengganti saklar mekanis.

Power Supply merupakan suatu alat yang digunakan sebagai sumber tegangan DC pada alat elektronika. Pada rangkaian catu daya terdapat beberapa blok rangkaian yang terdiri dari transformator, penyearah tegangan, filter (*smoothing*) dan regulator. LCD merupakan singkatan dari *Liquid Crystal Display*. LCD adalah suatu jenis media tampilan yang menggunakan Kristal cair sebagai penampil utama yang digunakan untuk menampilkan berbagai hal yang berkaitan dengan aktivitas mikrokontroler seperti menampilkan suatu nilai hasil sensor dan menampilkan menu pada aplikasi mikrokontroler. Mikrokontroler adalah suatu komponen elektronika yang dapat deprogram dan memiliki kemampuan untuk mengeksekusi langkah-langkah yang telah deprogram (Afgianto, 2002). Seiring perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terdapat berbagai jenis mikrokontroler yang memiliki berbagai kelebihan. Salah satu jenis mikrokontroler tersebut adalah mikrokontroler Atmega 328 yang terintegrasi pada *board* mikrokontroler Arduino Uno.

Gerak ideal, yang mengabaikan gesekan udara dan perubahan kecil percepatan terhadap ketinggian disebut gerak jatuh bebas.



Gambar 2. Gerak Jatuh Bebas

Persamaan gerak yang digunakan untuk menganalisis gerakan apel adalah persamaan gerak untuk gerak lurus berubah beraturan.

PERSAMAAN GLBB

$$1. \quad v_1 = v_0 \pm gt \dots\dots\dots(2)$$

$$2. \quad y_1 = y_0 + v_0t \pm \frac{1}{2}gt^2 \dots\dots\dots (3)$$

$$3. \quad v_1^2 = v_0^2 \pm 2gy \dots\dots\dots(4)$$

$$h = y_1 - y_0$$

Waktu (t) yang diperlukan oleh benda untuk mencapai ketinggian (h) tertentu dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini

$$y_2 = y_1 + v_0 \cdot t \pm \frac{1}{2}gt^2 \dots\dots\dots(5)$$

Maka persamaan tersebut dapat ditulis menjadi:

$$h = v_0 \cdot t \pm \frac{1}{2}gt^2 \dots\dots\dots(6)$$

Terminologi jatuh bebas digunakan untuk benda yang jatuh tanpa memiliki kecepatan awal. Artinya, kecepatan awal (v_0) sama dengan nol. Sehingga dari persamaan 6 diperoleh nilai ketinggian (h) dan waktu (t) yang ditunjukkan pada persamaan 7 dan persamaan 8

$$h = \frac{1}{2}gt^2 \dots\dots\dots(7)$$

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \dots\dots\dots(8)$$

Dari persamaan 6(a) dapat dikatakan bahwa untuk menentukan ketinggian tertentu dipengaruhi oleh waktu tempuh benda dan percepatan gravitasi bumi. Sedangkan pada persamaan 6(b) untuk menentukan waktu tempuh benda dipengaruhi oleh jarak dan percepatan gravitasi bumi. Artinya, jarak tempuh benda sebanding waktu tempuh benda. Semakin jauh jarak tempuh benda, semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai titik tertentu dan sebaliknya. Untuk menentukan besar kecepatan benda saat menyentuh permukaan bidang ditunjukkan pada persamaan 9

$$v_1 = gt \dots\dots\dots(9)$$

dengan memasukkan nilai t yang ada pada persamaan 8 ke dalam persamaan 9 maka diperoleh nilai v_1 sebagai berikut:

$$v_1 = g\sqrt{\frac{2h}{g}} \dots\dots\dots(10)$$

persamaan 10 tersebut dikuadratkan kedua sisinya, sehingga persamaannya menjadi

$$v_1^2 = \left(g\sqrt{\frac{2h}{g}}\right)^2 = v_1^2 = g^2 \frac{2h}{g} \dots\dots\dots(11)$$

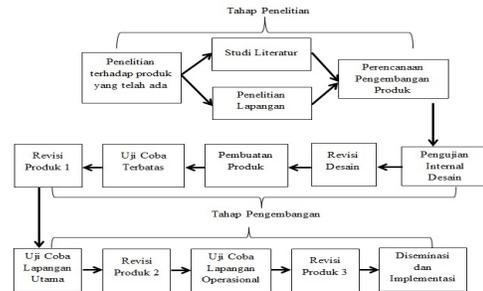
persamaan 11 kemudian disederhanakan sehingga diperoleh nilai dari kecepatan benda saat menyentuh permukaan bidang yang diberikan pada persamaan 12

$$v_1 = \sqrt{2gh} \dots\dots\dots(12)$$

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang. Metode penelitian yang digunakan dalam membuat set eksperimen gerak jatuh bebas termasuk dalam R&D (*Research and Development*). Dalam pelaksanaan penelitian ada beberapa tahapan yang akan dilakukan dalam penelitian dan pengembangan. Sugiyono (2015) mengemukakan bahwa ada tiga belas langkah-langkah penelitian dan pengembangan yang terdiri dari: mengkaji alat yang sudah ada, melakukan studi literatur dan penelitian lapangan, perencanaan desain

alat, pengujian internal desain, revisi desain alat, pembuatan alat ukur, uji coba terbatas alat eksperimen, revisi produk 1, uji coba lapangan utama, revisi produk 2, uji coba lapangan operasional, revisi produk 3, diseminasi dan implementasi. Langkah-langkah penelitian dan pengembangan diperlihatkan pada Gambar 3.



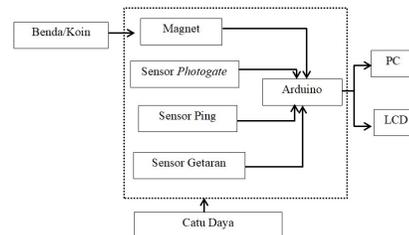
Gambar 3. Langkah-langkah penelitian dan pengembangan Sugiyono

Berdasarkan Gambar dari tiga belas langkah-langkah penelitian hanya delapan langkah yang dilakukan dalam penelitian ini. Langkah-langkah penelitian dan pengembangan tersebut terdiri dari dua tahap yaitu tahap penelitian (*research*) dan tahap pengembangan (*development*). Kegiatan dalam tahap penelitian (*research*) lebih banyak menjelaskan tentang konsep desain yang cocok untuk Gerak Jatuh Bebas. Beberapa aspek yang perlu diketahui dalam tahap penelitian meliputi: 1) Penelitian terhadap set eksperimen gerak jatuh bebas yang telah ada, 2) Studi literatur dan penelitian lapangan, dan 3) Perencanaan/ membuat desain produk. Hasil output pada tahap penelitian berupa gambar rancangan produk, gambar kerja, dan gambar rakitan. Sedangkan kegiatan dalam tahap pengembangan meliputi kegiatan pengujian internal, revisi desain alat, pembuatan produk, dan pengujian lapangan awal/ terbatas (*preliminary field testing*).

Rancangan (*design*) set eksperimen terbagi menjadi tiga yaitu:

- a. Desain blok diagram sistem elektronika

Sistem set eksperimen ini terdiri dari beberapa rangkaian, diantaranya rangkaian sensor getaran, rangkaian sensor photogate, rangkaian magnet listrik, rangkaian mikrokontroler ATMEGA 328, Rangkaian modul LCD. Blok diagram set eksperimen gerak jatuh bebas seperti terlihat pada Gambar 4

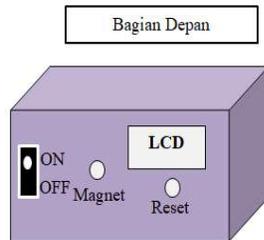


Gambar 4. Blok Diagram Sistem Gerak Jatuh Bebas

Berdasarkan Gambar 12 Dapat dilihat bahwa sistem eksperimen gerak jatuh bebas menggunakan sensor *photogate*, sensor *ping* dan sensor getar berbasis mikrokontroler ATmega 328. Sinyal input yang berasal dari koin yang dilepaskan secara bebas oleh magnet akan diolah oleh arduino. Begitu pula dengan sinyal input sensor *photogate*, sensor *ping* dan sensor getaran akan diolah oleh arduino. Data yang telah diolah oleh arduino kemudian diintrepetasikan ke PC dan dikirim ke LCD yang digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran. Magnet, sensor getaran, sensor *ping* dan sensor *photogate* membutuhkan catu daya agar dapat bekerja dengan baik.

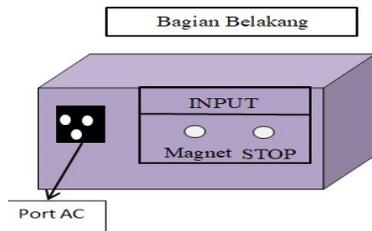
b. Desain mekanik

Desain mekanik terdiri dari beberapa komponen, yaitu sensor *photogate*, sensor getaran, sensor *ping*, koin/benda yang dapat tertarik oleh magnet, tempat jatuh benda, statis dan magnet. Magnet berfungsi untuk melepaskan benda dengan kecepatan nol atau tanpa adanya kecepatan awal. Desain mekanik dari set eksperimen gerak jatuh bebas dapat terlihat pada Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7.



Gambar 5. Bagian Depan Kotak Rangkaian GJB

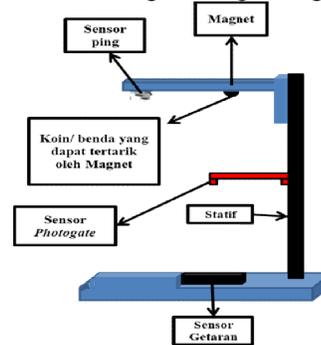
Berdasarkan Gambar 5 bagian depan kotak rangkaian yang berukuran 20 x 16 x 8 terdiri dari LCD, tombol on/off, tombol magnet dan tombol reset. LCD berfungsi untuk menampilkan hasil pengukuran dari eksperimen gerak jatuh bebas. Tombol on/off berfungsi untuk mennghidupkan dan mematikan sistem. Tombol magnet berfungsi untuk pengontrolan magnet. Dan tombol reset berfungsi untuk mereset pengukuran yang dilakukan.



Gambar 6. Bagian Belakang Kotak Rangkaian Gerak Jatuh Bebas

Berdasarkan Gambar 6 bagian belakang kotak rangkaian yang berukuran 20 x 16 x 8 terdiri dari port AC, pin input magnet, dua buah pin input sensor *ping*, pin input sensor *photogate*, pin input sensor getaran. Port AC berfungsi untuk menghubungkan

rangkaiannya dengan sumber tegangan listrik. Beberapa pin input diatas dihubungkan dengan rangkaian.



Gambar 7. Tampilan Desain Alat GJB

Berdasarkan Gambar 7 Tampilan desain gerak jatuh bebas terdiri dari sebuah statif, alas, lengan statif, magnet dan beberapa sensor (sensor *photogate*, sensor *ping*, sensor getaran). Statif digunakan sebagai tonggak sehingga benda bisa jatuh bebas dari ketinggian tertentu. Lengan statif digunakan untuk memposisikan magnet dan sensor *ping* agar jatuh tepat di alas. Alas digunakan sebagai tempat jatuh benda bebas. Magnet digunakan agar benda bisa jatuh secara bebas tanpa adanya dorongan atau tanpa kecepatan awal. Sensor *ping* digunakan untuk mengukur ketinggian jatuh benda.

c. Desain perangkat lunak

Perangkat lunak sangat erat hubungannya dengan kinerja perangkat keras. Perangkat lunak pada sistem mikrokontroler biasa juga disebut *firmware*. Perangkat lunak ini berfungsi untuk memberikan instruksi dan menjalankan arduino serta *visual basic*. Desain perangkat lunak ini berfungsi untuk memberikan instruksi dan menjalankan arduino.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian tersebut akan dijelaskan secara rinci sebagai berikut:

1. Hasil Analisis Produk yang Telah Ada

Hasil yang diperoleh dari kegiatan ini yaitu menganalisis dari alat yang sudah ada kemudian dikaji terlebih dahulu untuk mengetahui spesifikasi, kelebihan dan kekurangan produk tersebut. Salah satu penelitian pengembangan set eksperimen gerak jatuh bebas yang telah ada sebelumnya dilakukan oleh Yohana Dasriyani (2014). Berdasarkan penelitian tersebut, Kelebihan set eksperimen gerak jatuh bebas ini adalah pengukuran waktu dilakukan secara otomatis menggunakan mikrokontroler sehingga dapat meminimalisir kesalahan dibandingkan pengukuran dengan menggunakan *stopwatch*. Pada set eksperimen gerak jatuh bebas ini, ketinggian benda diatur secara otomatis dengan menggunakan motor dc dan *switch*. Selain itu, pengolahan data dan tampilan data dilakukan pada *Personal Computer (PC)*.

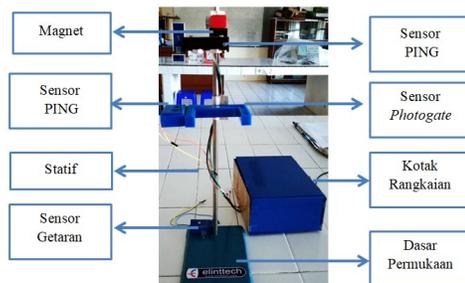
Kendala yang ditemui dapat diatasi dengan melakukan pengembangan penelitian lebih lanjut yaitu dengan menggunakan sensor jarak yang memiliki ketelitian cukup baik sehingga diperoleh variasi ketinggian yang lebih baik dan data yang lebih akurat. Penggunaan sensor jarak yang memiliki ketelitian yang cukup baik dapat meminimalisir dimensi sistem, sehingga tidak perlu dibutuhkan sistem yang terlalu tinggi. Sehingga variasi ketinggian benda dapat dimaksimalkan untuk menghasilkan data yang lebih akurat dan teliti.

2. Studi Literatur

Hasil dari kegiatan ini berupa referensi dan literatur pendukung dalam memproduksi set eksperimen gerak jatuh bebas. Literatur tersebut dapat menjadi jembatan peneliti dalam merencanakan konsep desain dengan rancangan produk yang cocok sesuai kebutuhan. Hasil kegiatan ini dipaparkan pada BAB II tentang kajian teori.

3. Hasil Pembuatan Produk

Hasil dari kegiatan ini berupa produk set eksperimen gerak vertikal bawah. Pembuatan set eksperimen gerak vertikal bawah dikembangkan atas dasar penelitian sebelumnya dan konsep gerak vertikal bawah. Dimana salah satu gerak vertikal bawah adalah gerak jatuh bebas. Konsep gerak jatuh bebas menjelaskan bahwa besar percepatan gravitasi bumi dipengaruhi oleh ketinggian dan waktu jatuh benda. Pembuatan produk set eksperimen gerak vertikal bawah melalui proses manufaktur yang menggunakan berbagai peralatan dan perlengkapan pendukung. Peralatan dan perlengkapan pendukung yang digunakan untuk membuat set eksperimen gerak jatuh bebas adalah sensor getaran, sensor ping, sensor *photogate*, rangkaian magnet listrik, mikrokontroler, LCD, statif, dasar statif, lengan statif, power supply. Secara umum set eksperimen gerak jatuh bebas dapat dilihat pada Gambar 8



Gambar 8. Set Eksperimen Gerak Vertikal Bawah dan Gerak Jatuh Bebas

Berdasarkan Gambar 8 dapat diamati bahwa mekanik set eksperimen gerak vertikal bawah terbuat dari akrilik dan besi. Statif yang dibuat memiliki ketinggian 100 cm. Pada statif dipasang sensor-sensor yang dibutuhkan dalam eksperimen gerak vertikal bawah. Pada bagian atas statif dipasang lengan dengan panjang 9 cm. Pada bagian bawah lengan dipasang magnet yang berguna untuk tempat awal jatuh benda. Disamping magnet dipasang sensor

ping yang letaknya bisa diposisikan dengan tinggi benda yang menempel pada magnet yang berfungsi untuk mendeteksi ketinggian benda. Ketinggian benda yang diukur yaitu dari tinggi benda sampai dasar permukaan alat. Pada statif juga terdapat sensor *photogate* yang terletak antara magnet dengan dasar permukaan alat (tempat jatuh benda). Disamping sensor *photogate* juga dipasang sensor ping yang berfungsi untuk mendeteksi ketinggian benda dari sensor *photogate* sampai dasar permukaan alat. Selanjutnya, bagian dasar permukaan benda dipasang sensor getaran. Dimana, dasar permukaan alat terbuat dari besi.

Dalam percobaannya benda berupa logam (benda yang dapat tertarik oleh magnet) ditempelkan pada magnet. Untuk menjatuhkan benda yang tertempel pada magnet secara bebas, menggunakan rangkaian magnet. Keadaan awal dari rangkaian magnet adalah dalam posisi high, sehingga benda/logam tertarik oleh magnet. Ketika push button ditekan, maka keluaran dari rangkaian magnet listrik dalam posisi low, sehingga benda yang ditempelkan ke magnet terjatuh secara bebas. Saat benda terjatuh waktu mulai benda tercatat dan disamping kanan magnet dipasang sensor ping untuk mendeteksi ketinggian benda dari awal jatuh benda sampai akhir jatuh benda. Benda yang terjatuh secara bebas akan melewati sensor *photogate*.

Sensor *photogate* digunakan untuk menghentikan waktu pertama untuk eksperimen gerak jatuh bebas dan memulai waktu kedua untuk eksperimen gerak vertikal bawah. Disamping sensor *photogate* dipasang sensor ping untuk mendeteksi ketinggian benda dari sensor *photogate* sampai dasar permukaan alat. Setelah benda melewati sensor *photogate*, selanjutnya, benda akan jatuh tepat didasar permukaan alat. Selain berfungsi sebagai tempat jatuh benda, dasar permukaan alat juga berfungsi sebagai penahan statif.

Didasar permukaan alat juga terpasang sensor getaran. Sensor getaran digunakan untuk mendeteksi jatuh benda dan menghentikan waktu kedua untuk eksperimen gerak vertikal bawah. Kotak rangkaian berfungsi sebagai pengolah data yang dideteksi oleh sensor. Pada kotak rangkaian terdapat LCD 20 x 4, tombol magnet, tombol reset.

4. Hasil Uji Coba Terbatas

Hasil dari kegiatan uji coba terbatas adalah dilakukannya penentuan spesifikasi performansi sistem pengukuran dan penentuan spesifikasi desain pengukuran sistem.

1) Spesifikasi performansi sistem

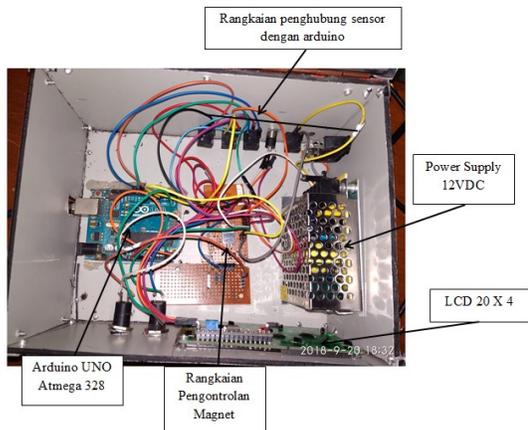
Spesifikasi performansi dari sistem ini meliputi pengidentifikasian fungsi-fungsi dari setiap bagian pembentuk sistem. Data yang diperoleh dari alat praktikum ini berupa ketinggian, waktu dan kecepatan benda. Semua data ditampilkan pada LCD dan grafik yang dihasilkan selama pengukuran ditampilkan di PC. Set eksperimen gerak vertikal

bawah dilengkapi oleh tiga buah sensor yaitu sensor ping, sensor getaran dan sensor *photogate*. Sistem set eksperimen gerak vertikal bawah dibangun dari berbagai komponen sebagai berikut.

Tabel 2. Merupakan bentuk beberapa komponen yang ada pada alat eksperimen gerak vertikal kebawah.

Set eksperimen gerak vertikal bawah berbasis digital ini dilengkapi dengan sistem *input* dan sistem *output*. Sistem *input* terdiri dari tiga tombol yang mempunyai masing-masing fungsi. Satu tombol tersebut adalah tombol power On/Off yang berfungsi untuk menghidupkan dan mematikan sistem. Tombol magnet digunakan untuk pengontrolan magnet. Tombol RESET yang berfungsi untuk mengembalikan mikrokontroler ke *setting* awal agar pengukuran selanjutnya bisa dilakukan. Sedangkan sistem *output* terdiri dari *display* LCD dan PC. LCD yang berfungsi untuk menampilkan hasil pengukuran waktu, kecepatan dan jarak. Sedangkan PC berfungsi untuk menampilkan bentuk grafik hasil pengukuran.

Rangkaian elektronika pembangun sistem dirancang sedemikian rupa dan ditempatkan dalam sebuah kotak rangkaian. Dimana sistem pembangun ini terdiri dari papan mikrokontroler Arduino Uno yang sudah terintegrasi dengan mikrokontroler, rangkaian magnet, rangkaian sensor ping, rangkaian sensor *photogate*, rangkaian sensor magnet, rangkaian tombol. Hasil desain rangkaian elektronika sistem dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Foto Rangkaian Elektronika Pembangun Set eksperimen

Pada Gambar 9 dapat dilihat secara umum rangkaian elektronika pembangun sistem dibangun oleh blok rangkaian sensor ping, sensor *photogate*, sensor getaran, rangkaian pengontrolan magnet listrik, rangkaian power supply 12VDC, rangkaian LCD dan mikrokontroler Arduino Uno. Tegangan masukan yang diberikan ada dua yaitu tegangan masukan 5 volt dan tegangan masukan 12 volt. Tegangan masukan 5 volt tersebut berfungsi untuk mengaktifkan kerja mikrokontroler Arduino Uno yang berasal dari PC. Sedangkan tegangan masukan 12 volt digunakan untuk mengaktifkan rangkaian

magnet. Mikrokontroler Arduino Uno ini berfungsi untuk mendeteksi sinyal keluaran rangkaian magnet listrik yang dipasang di lengan statif dan dibawah magnet dipasang beban. Mikrokontroler Arduino Uno juga mendeteksi sinyal keluaran sensor getaran yang dipasang di dasar statif dan mendeteksi sinyal keluaran sensor ping yang dilekatkan dengan massa beban. Mikrokontroler akan mengolah sinyal keluaran rangkaian magnet listrik, sensor *photogate* dan sensor getaran untuk mendapatkan hasil pengukuran waktu, waktu jarak tempuh benda ditampilkan pada *display* LCD. Sedangkan sinyal keluaran sensor ping akan diolah mikrokontroler sehingga menghasilkan jarak tempuh benda ditampilkan pada *display* LCD dan bentuk grafik ditampilkan pada *display* PC. Untuk menjalankan fungsi tersebut, mikrokontroler Arduino Uno dihubungkan dengan beberapa perangkat eksternal baik itu masukan ataupun keluaran.

Perangkat eksternal tersebut dalam bentuk pin-pin I/O yang terintegrasi pada kit Arduino Uno. Pin-pin tersebut berjumlah 14 pin. Adapun yang digunakan yaitu pin 7 untuk keluaran sensor ping pertama yang diposisikan dekat magnet yang digunakan pada sistem, sedangkan sensor ping kedua yang diposisikan dekat sensor *photogate* menggunakan pin 8 sebagai keluaran sensor. Pin 2 digunakan untuk keluaran rangkaian magnet listrik. Pin 9 digunakan untuk keluaran sensor getaran sedangkan pin 10 digunakan untuk keluaran sensor *photogate*. Tombol reset langsung terhubung dengan reset mikrokontroler Arduino Uno.

Adapun bentuk keluaran hasil pengukuran waktu, jarak dan kecepatan yang diukur dapat ditampilkan pada *display* LCD dan dapat dilihat pada Gambar 10



Gambar 10. Tampilan *Display* LCD

Pada Gambar 10 dapat dilihat *display* LCD pada set eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul secara digital ini mampu menampilkan waktu, jarak dan kecepatan setelah diolah dengan mikrokontroler Arduino Uno. Bentuk keluaran lainnya yang dihasilkan set eksperimen ini adalah grafik pengukuran yang terdapat pada PC.

Spesifikasi desain

Spesifikasi desain sering juga disebut sebagai spesifikasi produk. Spesifikasi desain tergantung pada sifat alami dari material yang digunakan. Spesifikasi desain menjelaskan tentang karakteristik statik produk, toleransi, bahan pembentuk sistem, ukuran sistem, dan dimensi sistem. Karakteristik static terdiri dari ketelitian dan ketepatan dari alat. Ketepatan

didefinisikan sebagai beda atau kedekatan antara nilai yang terbaca oleh alat ukur dengan nilai sebenarnya. Secara umum akurasi sebuah alat ukur ditentukan dengan cara kalibrasi pada kondisi operasi tertentu dan dapat diekspresikan dalam bentuk persentase atau pada titik pengukuran spesifik. Suatu alat ukur yang baik memiliki akurasi mendekati 1 atau 100%, sedangkan ketelitian merupakan membandingkan hasil pengukuran sistem dengan perhitungan secara teoritis dengan cara melakukan pengukuran berulang.

1) Penentuan Ketepatan Sistem

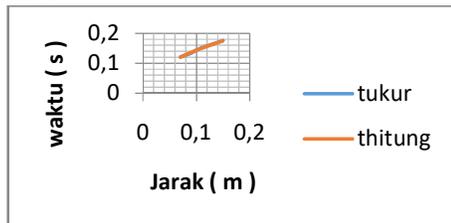
Ketepatan pengukuran sistem ditentukan dengan membandingkan data hasil pengukuran dengan perhitungan secara teori. Pengukuran waktu yang dihasilkan oleh set eksperimen dibandingkan dengan perhitungan secara teori. Sementara itu, ketepatan pengukuran ketinggian set eksperimen gerak vertikal bawah ini dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dengan menggunakan meteran atau perhitungan secara teori. Hasil yang diperoleh untuk ketepatan pengukuran sistem yaitu dengan bervariasi jarak tempuh benda.

Pengukuran ketepatan sistem untuk variasi jarak yaitu membandingkan nilai waktu yang diukur dengan waktu yang dihitung. Percepatan gravitasi didapatkan dari hubungan jarak dan waktu secara teori dengan alat yang diukur. Hasil pengukuran sistem dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 1. Data hasil pengukuran set eksperimen dengan variasi jarak tempuh benda

No	Jarak (m)	t_{ukur} (s)	t_{hitung} (s)	$T^2(s^2)$	$g(m/s^2)$
1	0,07	0,121	0,1195	0,0146	9,589
2	0,09	0,134	0,1355	0,0179	10,056
3	0,11	0,152	0,1498	0,0231	9,523
4	0,13	0,163	0,1628	0,0266	9,786
5	0,15	0,176	0,1749	0,0309	9,685

Tabel 3 merupakan data hasil pengukuran set eksperimen gerak jatuh bebas dengan bervariasi jarak yang digunakan. Jarak mempengaruhi waktu yang diperoleh. Untuk lebih jelasnya pengaruh jarak terhadap waktu tempuh benda dapat dilihat pada gambar 19.



Gambar 1. Grafik hubungan antara jarak dengan waktu pengukuran dan waktu perhitungan

Gambar 19 merupakan hasil pengukuran waktu tempuh benda oleh sistem dan perhitungan, hasil waktu jarak tempuh benda tidak jauh berbeda. Hasil yang diperoleh untuk pengukuran waktu tempuh

benda persentase kesalahan sistem cukup kecil mulai dari 0,15 % sampai 2,83 % atau ketepatan sistem dari 97,17 % sampai 98,5%, dan dapat disimpulkan alat memiliki ketepatan yang cukup tinggi. Ketepatan relatif rata-rata pengukuran adalah 97,84%. Kesalahan rata-rata yang terjadi adalah 1,78%. Untuk data yang lebih jelasnya terdapat pada Lampiran 3.

2) Penentuan Ketelitian Sistem

Ketelitian set eksperimen gerak vertikal bawah diperoleh dengan melakukan pengukuran berulang dengan jarak tertentu. Setiap variasi ketinggian dilakukan pengukuran berulang sebanyak 10 kali. Berdasarkan data pengukuran dapat ditentukan nilai rata-rata, standar deviasi, persentase simpangan dan ketelitian. Ketelitian set eksperimen gerak jatuh bebas dengan bervariasi panjang tali yaitu didapatkan rata-rata ketelitian adalah 0,9963 dengan standar deviasi 0,0022. Data ketelitian pengukuran waktu benda dengan variasi jarak dapat dilihat pada lampiran 3.

c. Validasi Alat

Proses validasi ini dilakukan dengan memberikan lembar validasi kepada tenaga ahli. Lembaran validasi untuk alat praktikum yang telah dikembangkan berjumlah dua buah yaitu lembar validasi untuk set eksperimen gerak jatuh bebas. Hasil validasi yang diperoleh dari tenaga ahli untuk alat praktikum secara umum sangat valid namun, secara rinci dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 2. Hasil validasi set eksperimen gerak vertikal bawah

No	Aspek Penilaian	Nilai Validitas (%)	Kriteria
1	<i>Accuracy</i>	100	Sangat valid
2	<i>Precision</i>	80	Valid
3	Efektifitas	80	Valid
Rata-rata		86,66	Sangat valid

Tabel 4 merupakan nilai rata-rata validasi set eksperimen gerak vertikal bawah adalah 86,66% dengan kriteria sangat valid. Set eksperimen dari aspek validasi *accuracy* berada dalam kriteria sangat valid sedangkan aspek *precision* dan efektifitas berada pada kriteria valid. Hal ini menunjukkan bahwa set eksperimen gerak vertikal bawah dikembangkan secara umum berada pada kriteria sangat valid.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat dikemukakan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Hasil sistem performansi set eksperimen gerak vertikal bawah berbasis sensor photogate dan

sensor ping terdiri dari sistem mekanik dan elektronik. Sistem mekanik terdiri dari sensor photogate, sensor ping, sensor getaran, statif, lengan statif dan dasar statif. Sistem elektronik set eksperimen gerak jatuh bebas terdiri dari catu daya dan rangkaian pengontrolan magnet.

2. Hasil penentuan spesifikasi desain set eksperimen gerak vertikal bawah adalah sebagai berikut:
 - a. Ketepatan pengukuran waktu osilasi bandul untuk variasi jarak menggunakan set eksperimen didapatkan ketepatan rata-ratanya adalah 0.9784 atau setara dengan 97,84%.
 - b. Pengukuran waktu osilasi bandul untuk variasi panjang tali menggunakan set eksperimen didapatkan ketelitian rata-ratanya adalah 0,9963 atau setara dengan 99,63% dan standar deviasi rata-rata sebesar 0.0022.
 - c. Validasi set eksperimen gerak vertikal bawah berada pada kriteria sangat valid dengan nilai rata-rata validasi tenaga ahli adalah 86,66 %

DAFTAR PUSTAKA

- Dasriyani, Yohana 2015. *Pembuatan Set Eksperimen Gerak Jatuh Bebas Berbasis Mikrokontroler dengan Tampilan PC*. Padang: Universitas Negeri Padang.
- Sugiyono.2015. *Metode Penelitian dan Pengembangan*. Bandung:Alfabeta
- Yohandri.2013. *Mikrokontroler dan Antar Muka*. Padang:UNP
- Yulkifli. 2013. *Sistem Sensor dan Aplikasinya*. Padang: Universitas Negeri Padang