

PEMBUATAN SET EKSPERIMEN GERAK HARMONIS SEDERHANA PADA BANDUL BERBASIS SENSOR PING DAN SENSOR PHOTOGATE DENGAN TAMPILAN PC

Lily Handayani¹⁾, Yulkifli²⁾ dan Yohandri²⁾

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

¹⁾lilyhandayani66@gmail.com

²⁾yulkifliamir@gmail.com

³⁾yohandri.unp@gmail.com

ABSTRACT

Physics experiments have a very important role. The most important thing that must be considered in conducting physics experiments is the set of experiments. One of the physics experiments that has been developed is the experimental set of simple harmonic motion in pendulum but not yet completely complete. The research that will be conducted is a type of R & D research with a 4D model. Where the 4D development model has 4 stages, define, design, develop and dissemination. The measurement technique used is direct and indirect measurements. Direct measurement is done to determine the angle used. Indirect measurements are made to determine the number of oscillations of pendulum (n), period (T), and length of rope (l). Data obtained through measurements in the form of data accuracy and accuracy and analyzed in two ways, namely statistically and graphically. So that the average accuracy is 98.60% and the average accuracy is 0.997 with a validity level of 86.66%.

Keywords : *Experimental set, pendulum, ping sensor, photogate sensor*

PENDAHULUAN

Fisika merupakan salah satu cabang ilmu pengetahuan alam yang mempelajari tentang gejala alam. Gejala alam di dalam fisika dapat ditinjau secara teoritis dan juga eksperimen. Eksperimen dilakukan untuk membuktikan kebenaran teori sedangkan teori digunakan untuk memandu jalannya sebuah eksperimen. Sebuah eksperimen fisika dapat dilakukan dengan cara melibatkan suatu sistem pengukuran^[6]. Dimana sistem pengukuran merupakan gabungan dari aktivitas, prosedur, suatu alat ukur, perangkat lunak dan subjek yang diukur. Pengukuran dimanfaatkan sebagai sarana untuk mendapatkan data, untuk mengambil kesimpulan dan saran untuk keterkaitan antara dua variabel atau lebih. Alat ukur yang digunakan dalam pengukuran harus sesuai dengan besaran yang hendak diukur dan memiliki ketelitian yang baik agar memperoleh hasil pengukuran yang tepat.

Perkembangan pengukuran dapat diamati dengan peralihan dari sistem manual atau analog ke sistem digital^[9]. Peralihan dari sistem manual ke digital memerlukan sensor. Dengan menggunakan sensor dapat dirancang berbagai sistem yang dapat bekerja secara otomatis dan mampu menganalisis fenomena-fenomena yang terjadi di alam, baik secara pengukuran maupun pengontrolan. Fisika telah memberikan dasar yang kuat pada kemajuan teknologi yang memiliki peran penting salah satunya yaitu melalui percobaan fisika. Percobaan fisika telah banyak dilakukan diantaranya percobaan Gerak Lurus Beraturan (GLB), Gerak Jatuh Bebas (GJB),

Gerak Harmonis Sederhana (GHS), viskositas, pendulum atau bandul dan percobaan fisika lainnya.

Percobaan fisika tentang bandul merupakan salah satu percobaan dalam mengukur percepatan gravitasi bumi. Percepatan konstan untuk gerak harmonis sederhana pada bandul adalah percepatan akibat gravitasi bumi. Berdasarkan teori, peristiwa gerak harmonis sederhana dipengaruhi oleh gaya gravitasi bumi. Gravitasi adalah gaya tarik-menarik yang terjadi antara semua partikel yang mempunyai massa di alam semesta. Penelitian tentang gerak harmonis sederhana pada bandul telah dilakukan sebelumnya, melalui penelitian yang dilakukan diperoleh suatu set eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul menggunakan sensor photodiode dan laser secara digital. Data yang diperoleh ditampilkan di LCD berupa waktu osilasi dan jumlah osilasi bandul, alat ini hanya digunakan untuk mengukur satu variasi panjang tali.

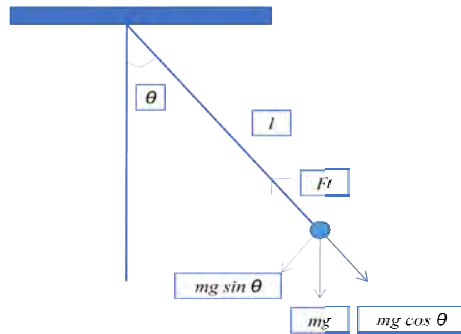
Pada penelitian sebelumnya mengenai gerak harmonis sederhana pada bandul tidak menggunakan sensor ping sehingga panjang tali yang digunakan hanya untuk variasi panjang tali. Sedangkan untuk variasinya yaitu besar sudut dan jumlah osilasi, jadi data yang didapatkan hanya untuk perbandingan data dari variasi besar sudut dan jumlah osilasi, padahal panjang tali juga sangat mempengaruhi data yang didapatkan.

Berdasarkan permasalahan yang telah dikemukakan, penelitian gerak harmonis sederhana pada bandul diperlukan agar lebih memahami lagi tentang konsep fisika pada gerak harmonis sederhana

pada bandul. Dalam penelitian yang akan dilakukan, set eksperimen dirancang untuk mendapatkan waktu osilasi bandul dan panjang tali yang digunakan. Dengan memvariasikan jumlah osilasi ayunan dan panjang tali didapatkan waktu ayunan. Hal tersebut didapatkan dengan cara menggunakan komponen elektronik dalam bentuk sensor dan memproses sinyal digital menggunakan mikrokontroler arduino. Sensor yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sensor ping untuk mengukur panjang tali dan sensor photogate untuk mendeteksi jumlah osilasi pendulum dan waktu osilasi pendulum.

A. Gerak Harmonis Sederhana pada Bandul

Bandul merupakan benda yang terikat pada sebuah tali dan dapat berayun secara bebas dan periodik yang menjadi dasar kerja dari sebuah jam dinding kuno yang mempunyai ayunan. Gerak harmonik sederhana juga dapat diartikan sebagai suatu sistem yang bergetar dimana gaya pemulih berbanding lurus dengan negatif simpangannya. Gaya pemulih merupakan gaya yang bekerja dalam arah mengembalikan massa keposisi setimbangnya^[1]. Berikut merupakan Gambar 1 dari pendulum sederhana.



Gambar 1. Pendulum Sederhana

Gambar 1 merupakan sebuah benda bermassa m yang digantung pada ujung tali yang ringan dan panjang tali L disimpangkan sebesar θ . besarnya gaya yang menarik beban m agar kembali ke posisi seimbang adalah $mg \sin \theta$, sehingga didapatkan persamaan perioda osilasi yaitu :

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \quad (1)$$

Dengan frekuensi,

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}} \quad (2)$$

Dari kedua persamaan (1) didapatkan persamaan gravitasi,

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2} \quad (3)$$

Dengan kata lain perioda dan frekuensi pada bandul sederhana hanya bergantung pada panjang tali dan gravitasi.

B. Sensor ping

Sensor ping merupakan sensor ultrasonik yang dapat mendeteksi jarak obyek dengan cara memancarkan gelombang ultrasonik dengan frekuensi 40 KHz dan kemudian mendeteksi pemantulannya. Tampilan sensor jarak PING ditunjukkan pada Gambar 2.

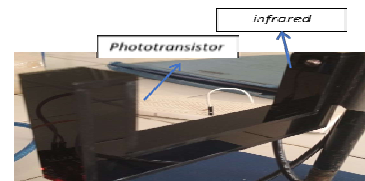


Gambar 2. Tampilan Sensor Ping^[2]

Berdasarkan Gambar 2 terlihat bagian-bagian dari sensor ping yaitu *transmitter* yang berfungsi sebagai pemancar dan *receiver* yang berfungsi sebagai penerima grafik pantulan yang berasal *transmitter*.

C. Sensor Photogate

Sensor merupakan sebuah perangkat yang menerima stimulasi dan direspon dengan suatu sinyal listrik^[8]. Sensor *photogate* merupakan sebuah sensor yang terdiri dari sumber cahaya dan detektor cahaya. Sensor *photogate* dapat terlihat seperti Gambar 3.



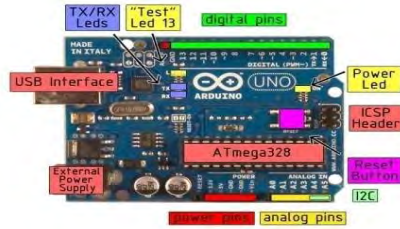
Gambar 3. Sensor Photogate

Gambar 3 merupakan bentuk sensor *photogate* yang memiliki prinsip kerja dimana setiap kali sebuah objek bergerak melalui blok sinar cahaya antara sumber cahaya dan detektor cahaya, sinyal yang dihasilkan dapat dideteksi sensor untuk memulai dan menghentikan waktu sedang beroperasi. Keluaran dari rangkaian sensor *photogate* ini berupa tegangan 0 volt dan tegangan 5 volt. Tegangan keluaran dari sensor *photogate* akan bernilai nol volt pada saat cahaya *infrared* tidak mengenai *phototransistor* dan akan bernilai 5 volt pada saat cahaya *infrared* mengenai sebuah *phototransistor*. Sehingga, sensor *photogate* ini disebut aktif LOW^[1].

D. Mikrokontroler Arduino Uno

Mikrokontroler merupakan suatu komponen elektronika yang dapat diprogram dan memiliki kemampuan untuk mengakses langkah-langkah yang sudah diprogram. Mikrokontroler sudah dilengkapi dengan *peripheral* pendukung sehingga membentuk

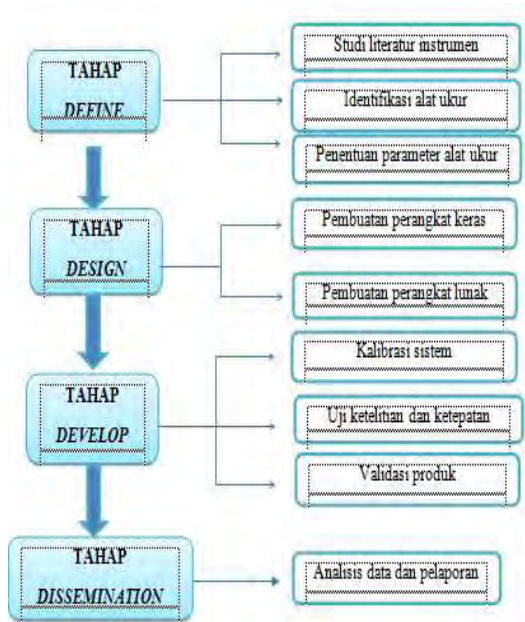
sebuah komponen lengkap dalam level chip^[7]. Bentuk papan mikrokontroler arduino dapat terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Papan Arduino Uno

METODE PENELITIAN

Berdasarkan permasalahan yang dikemukakan dalam penelitian ini, model penelitian yang dilakukan tergolong ke dalam penelitian dan pengembangan (R&D). Penelitian dan pengembangan merupakan suatu proses atau metode yang digunakan untuk memvalidasi dan mengembangkan produk^[4]. Model pengembangan yang dirancang dalam penelitian set eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul ini mengacu pada model pengembangan Thiagrajan (1974) yang dikenal dengan Four-D model (model 4-D). Model pengembangan 4-D model terdiri dari 4 tahap yaitu : tahap definisi (*define*), tahap desain (*design*), tahap pengembangan (*develop*) dan tahap penyebaran (*dissemination*), seperti terlihat pada Gambar 5.

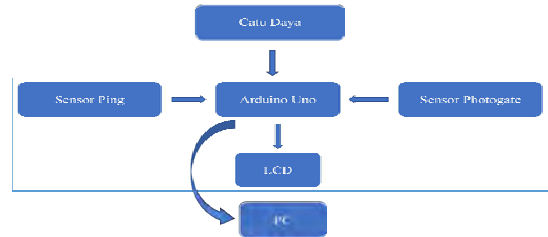


Gambar 5. Alur Model Pengembangan 4D

Gambar 5 merupakan tahap-tahap dari penelitian model 4-D yang terdiri dari *define*, *design*, *develop* dan *dissemination*^[6]. Pada penelitian ini tidak semua tahap dapat dilakukan karena keterbatasan tenaga

dan waktu. Dengan dasar ini tahap penelitian ini dibatasi sampai tahap *develop*.

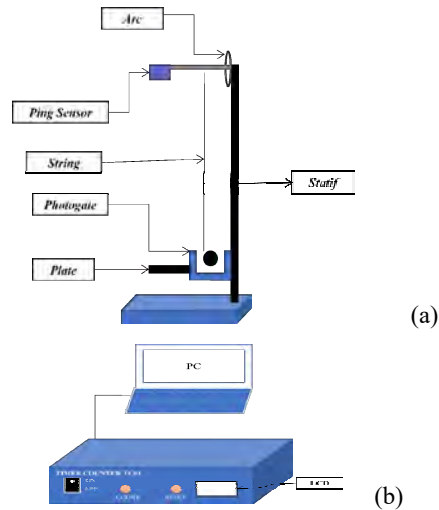
Desain penelitian akan dibagi menjadi dua yaitu desain perangkat keras yang terdiri dari desain rangkaian elektronik dan desain mekanik yang kedua yaitu desain perangkat lunak. Desain rangkaian elektronik dapat terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Blok Diagram Sistem

Blok diagram pada Gambar 10 dapat dilihat bahwa set eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul terdiri dari power supply digunakan sebagai catu daya, sinyal input yang berasal sensor photogate yaitu pada saat bandul ditarik dengan besar sudut tertentu maka sebuah sensor photogate akan mendeteksi jumlah dari osilasi bandul dengan menetapkan jumlah osilasi yang diinginkan. Sensor photogate akan mendeteksi banyaknya osilasi bandul maka sensor akan menangkap sinyal dan meneruskan ke mikrokontroler arduino. Sedangkan sensor ping akan mendeteksi jarak, sensor ping akan mengirim sinyal berupa logika high atau low ke mikrokontroler arduino. Pada arduino semua sinyal yang diterima akan ditampilkan pada LCD.

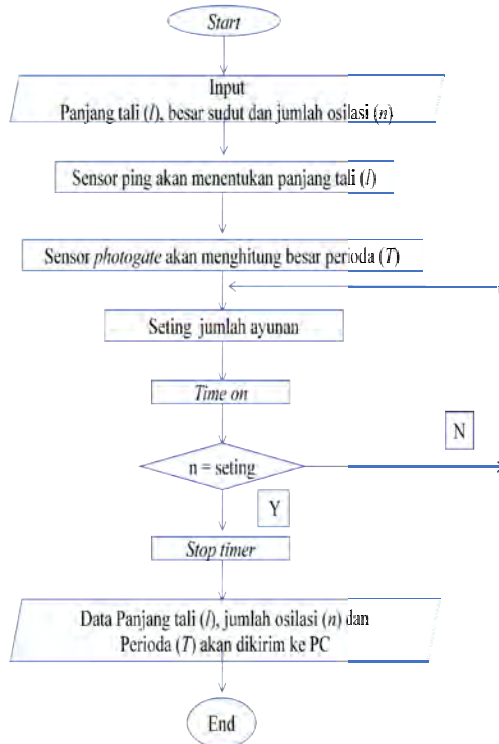
Desain sistem mekanik merupakan desain mekanis produk yang diteliti. Desain mekanik sistem dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Desain Mekanis Bandul
Gambar 7 merupakan desain mekanis bandul, dimana pada Gambar 7(a) merupakan bentuk dari statif beserta sensor yang digunakan sedangkan Gambar

7(b) merupakan bentuk kotak rangkaian yang akan digunakan

Desain perangkat lunak memiliki hubungan yang erat dengan kinerja perangkat keras yang dibuat. Desain perangkat lunak yang digunakan yaitu arduino yang mengontrol jalannya seluruh sistem. *Flowchart* set eksperimen gerak harmonis pada bandul dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. *Flowchart* set eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul

Gambar 8 menjelaskan bagaimana jalannya set eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul. Input jumlah osilasi bandul dengan menekan tombol *counter* sensor ping akan membaca panjang tali yang digunakan sedangkan sensor *photogate* tersebut akan menghitung besarnya waktu osilasi. Apabila jumlah osilasi yang yang dibaca oleh sensor *photogate* sudah sama dengan diinput maka waktu akan berhenti secara otomatis.

Prosedur penelitian untuk pengembangan set eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul ini dilakukan secara bertahap dengan mengacu 4-D model. Model pengembangan 4-D model terdiri dari 4 tahap yaitu: Tahap definisi (*define*), Tahap desain (*design*), tahap pengembangan (*develop*), dan tahap penyebaran (*dissemination*).

Pada tahap definisi yaitu melakukan penelitian terhadap alat yang sudah ada serta menentukan kelemahan dari alat tersebut. Pada tahap desain menentukan pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak dari alat ukur yang dibuat. Selanjutnya tahap *develop* yang terdiri dari kalibrasi

alat ukur, uji ketepatan dan ketelitian alat ukur, etelah itu dilakukan validasi terhadap data yang diperoleh dari ketepatan dan ketelitian. Kriteria yang dinilai pada validasi desain alat yaitu akurasi, presisi dan sensitifitas dari produk. Instrumen yang digunakan untuk mengetahui tingkat kevalidan produk adalah lembar validasi tenaga ahli. Lembar validasi tenaga ahli untuk set eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul berdasarkan kriteria yang disusun oleh Ilham (2009). Kriteria yang digunakan untuk menentukan kevalidan set eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Validitas Produk

Persentase	Kriteria
0 – 20	Tidak valid
21 – 40	Kurang valid
41 – 60	Cukup valid
61 – 80	Valid
81 – 100	Sangat valid

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. *Define*

Hasil yang diperoleh dari tahap pendefenisan (*define*) ini yaitu studi literatur mengenai analisi dari alat yang sudah ada kemudian dikaji terlebih dahulu untuk mengetahui spesifikasi, kelebihan/kelemahan produk tersebut. Berdasarkan kelemahan dari alat yang sudah ada maka alat tersebut dapat dikembangkan. Kemudian mengidentifikasi alat ukur yang dibuat dimana set eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul terdiri dari batang statif berukuran 100 cm, diujung statif dipasang lengan statif berukuran 10 cm dan dasar statif berukuran 15 cm. Pada lengan statif dipasang sensor ping dan busur. Selanjutnya didapatkan hasil dari parameter-parameter yang digunakan yaitu jumlah osilasi bandul, waktu osilasi bandul, panjang tali dan besar sudut.

2. *Design*

Hasil yang diperoleh dari tahap *design* meliputi hasil pembuatan perangkat keras dan perangkat lunak

a. Pembuatan Perangkat Keras

Hasil dari kegiatan ini berupa produk set eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul. Pembuatan set eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul dikembangkan atas dasar penelitian

sebelumnya dan konsep gerak harmonis sederhana pada bandul. Set eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul ini dibangun oleh satu set statis, massa beban, box rangkaian elektronika, busur, sensor photogate, dan sensor ping yang menyatu dengan massa beban. Box tempat rangkaian elektronik terdiri dari rangkaian sensor ping, sensor photogate, rangkaian LCD dan rangkaian mikrokontroler arduino. Untuk lebih jelas dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Set eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul

Gambar 9 merupakan hasil desain set eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul secara digital. Secara umum alat ini terdiri dari box berukuran 20x16x8 cm berfungsi sebagai tempat rangkaian elektronika pembangun sistem yang telah dirancang. Dimana sistem pembangun ini terdiri dari papan mikrokontroler Arduino Uno yang sudah terintegrasi dengan mikrokontroler arduino uno, dan rangkaian lainnya. dan satu set statis yang mencakup dasar statis, batang statis, dan klem statis. Selain box dan statis juga terdapat, sensor ping serta massa beban dan sensor photogate yang bisa diatur posisinya menggunakan baut. Untuk lebih jelas hasil desain rangkaian elektronika sistem dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Foto Rangkaian Elektronika Pembangun Set eksperimen

Pada Gambar 10 dapat dilihat secara umum rangkaian elektronika pembangun sistem dibangun oleh blok rangkaian sensor ping, sensor photogate, rangkaian LCD dan mikrokontroler Arduino Uno. Adapun bentuk keluaran hasil pengukuran jumlah osilasi, waktu osilasi dan panjang tali yang diukur dapat ditampilkan pada display LCD dan dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Tampilan Display LCD

3. Develop

Pada tahap develop (pengembangan) ini didapatkan hasil tentang kalibrasi sistem yg terdiri dari kalibrasi waktu yang didapatkan dari pengukuran dengan teori yang digunakan. Setelah itu diperoleh data dari uji ketepatan dan ketelitian serta melakukan validasi terhadap produk yang dibuat.

a. Kalibrasi Sistem

Hasil dari kalibrasi sensor photogate untuk kalibrasi waktu osilasi yang diperoleh dari pengukuran dengan kajian teoritis dapat bedakan menjadi tiga yaitu, kalibrasi waktu untuk variasi panjang tali, untuk variasi besar sudut yang digunakan kemudian untuk variasi jumlah osilasi. Setelah dilakukan kalibrasi didapatkan hasil bahwa alat tersebut layak untuk digunakan.

b. Uji Ketepatan dan Ketelitian

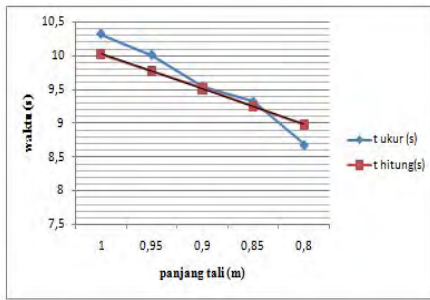
1) Uji Ketepatan

Ketepatan pengukuran ditentukan dengan membandingkan data hasil pengukuran dengan teori. Dalam menentukan ketepatan sistem dapat diperoleh dengan memvariasikan panjang tali, jumlah osilasi dan besar sudut yang divariasikan dengan busur secara manual. Data ketepatan yang diperoleh dengan variasi panjang tali dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Hasil Pengukuran Set Eksperimen dengan Berbagai Variasi Panjang Tali

No	L (m)	t ukur (s)	t hitung (s)	T (s)	T ² (s ²)	g (m/s ²)
1	1	10,32	10,025	2,06	4,24	9,86
2	0,95	10,01	9,776	2,002	4,004	9,34
3	0,9	9,54	9,515	1,9	3,61	9,83
4	0,85	9,32	9,247	1,86	3,46	9,68
5	0,8	8,68	8,98	1,74	3,027	10,42

Tabel 2 merupakan data waktu osilasi dengan variasi panjang tali. Panjang tali dapat mempengaruhi waktu osilasi yang didapatkan. Untuk lebih jelas dapat terlihat pada Gambar 12.



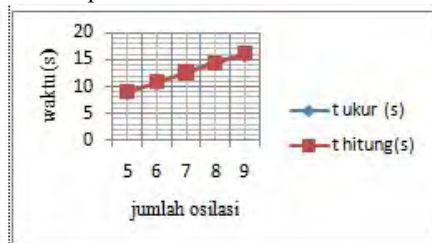
Gambar 12. Hubungan antara Panjang Tali dengan Waktu Pengukuran dan Waktu Perhitungan

Gambar 12 merupakan data hasil pengukuran waktu osilasi oleh sistem dan perhitungan, waktu osilasi tidak jauh berbeda. Hasil yang diperoleh untuk pengukuran waktu osilasi persentase kesalahan sistem cukup kecil yaitu mulai dari 0,26 % sampai 3,78 % atau ketepatan sistem dari 96,20 % sampai 99,70 %, dan dapat disimpulkan alat memiliki ketepatan yang cukup tinggi. Ketepatan relatif rata-rata pengukuran adalah 97,96 %. Kesalahan rata-rata yang terjadi adalah 2,02 %. Sedangkan untuk variasi data ketepatan yang diperoleh dengan jumlah osilasi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Set Eksperimen dengan Berbagai Variasi Jumlah Osilasi

No	n	t ukur (s)	t hitung (s)	T (s)	T ² (s ²)	g (m/s ²)
1	5	8,93	8,97	1,786	3,189	9,89
2	6	10,65	10,77	1,775	3,15	10,01
3	7	12,6	12,56	1,8	3,24	9,74
4	8	14,65	14,35	1,83	3,35	9,5
5	9	15,98	16,15	1,77	3,13	10,08

Tabel 3 merupakan data waktu osilasi dengan variasi jumlah osilasi. Jumlah osilasi dapat mempengaruhi waktu osilasi yang didapatkan. Untuk lebih jelas dapat terlihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Hubungan antara Jumlah Osilasi dengan Waktu Pengukuran dan Waktu Perhitungan

Gambar 13 merupakan data hasil pengukuran waktu osilasi oleh sistem dan perhitungan, waktu osilasi tidak jauh berbeda. Hasil yang diperoleh untuk

pengukuran waktu osilasi persentase kesalahan sistem cukup kecil yaitu mulai dari 0,32 % sampai 2,09 % atau ketepatan sistem dari 97,91 % sampai 99,68 %, dan dapat disimpulkan alat memiliki ketepatan yang cukup tinggi. Ketepatan relatif rata-rata pengukuran adalah 99,00 %. Kesalahan rata-rata yang terjadi adalah 1,00 %.

2) Uji Ketelitian

Penentuan ketelitian sistem dapat diketahui dengan cara melakukan pengukuran berulang, yaitu pengukuran waktu osilasi bandul sebanyak 10 kali. Berdasarkan hal tersebut dapat ditentukan nilai rata-rata, standar deviasi, persentase kesalahan dan ketelitian. Ketelitian pengukuran terhadap waktu osilasi bandul ini diperoleh dengan melakukan 3 variasi variabel yang digunakan dan 10 kali perulangan. Ketelitian untuk set eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul ini divariasikan menjadi dua yaitu variasi panjang tali dan variasi jumlah osilasi.

Ketelitian untuk pengukuran set eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul untuk variasi panjang tali yaitu didapatkan rata-rata ketelitian adalah 0,9972 dengan standar deviasi 0,0163 dan kesalahan relatif 0,17%. Pada Tabel 4 terdapat data statistik pengukuran ketelitian sistem untuk variasi panjang tali.

Tabel 4. Data Statistik Hasil Pengukuran Ketelitian Sistem untuk Variasi Panjang Tali

No	L (m)	Rata-rata	Ketelitian	Δt	KR (%)
1	1	10,33	0,999	0,003	0,035
2	0,95	10,024	0,998	0,003	0,030
3	0,9	9,57	0,996	0,044	0,443
4	0,85	9,293	0,997	0,011	0,119
5	0,8	8,646	0,996	0,025	0,257

Tabel 4 merupakan hasil rata-rata dari pengukuran ketelitian waktu osilasi dengan variasi panjang tali dengan pengukuran berulang sebanyak 10 kali pengulangan.

Selanjutnya data ketelitian untuk pengukuran set eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul untuk variasi jumlah osilasi yaitu didapatkan rata-rata ketelitian adalah 0,996 dengan standar deviasi 0,0249 dan kesalahan relatif 0,2015 %. Pada Tabel 5 terdapat data statistik pengukuran ketelitian sistem untuk variasi panjang tali.

Tabel 5. Data Statistik Hasil Pengukuran Ketelitian Sistem untuk Variasi Jumlah Osilasi

No	n	Rata-rata	Ketelitian	Δt	KR (%)
1	5	8,937	0,999	0,0056	0,063
2	10	10,747	0,991	0,0494	0,463
3	15	12,591	0,999	0,0075	0,060
4	20	14,546	0,992	0,0472	0,326
	25	15,994	0,999	0,0149	0,093

Tabel 5 merupakan hasil rata-rata dari pengukuran ketelitian waktu osilasi dengan variasi jumlah osilasi dengan pengukuran berulang sebanyak 10 kali pengulangan.

Pada tahap selanjutnya yang dilakukan setelah meninjau performansi alat adalah meminta tenaga ahli untuk melakukan validasi. Proses validasi dilakukan dengan memberikan lembaran validasi kepada tenaga ahli. Hasil validasi yang diperoleh dari tenaga ahli untuk alat praktikum secara umum sangat valid namun, secara rinci dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 6. Hasil Validasi alat praktikum tekanan hidrostatik

No	Aspek Penilaian	Nilai Validitas (%)	Kriteria
1	<i>Accuracy</i>	90	Sangat valid
2	<i>Precision</i>	90	Sangat valid
3	Sensitivitas	80	Valid
	Rata-rata	86,66	Sangat valid

Tabel 6 merupakan nilai rata-rata validitas set eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul adalah 86,66 % dengan kriteria sangat valid. Set eksperimen dari aspek validasi *accuracy* dan *precision* berada dalam kategori sangat valid sedangkan pada aspek sensitivitas berada pada kategori valid. Hal ini menunjukkan bahwa set eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul yang telah dikembangkan secara umum berada pada kriteria sangat valid.

B. Pembahasan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan yaitu penelitian dan pengembangan maka terdapat beberapa tahap yaitu tahap pendefinisian pembuatan desain dan pengembangan yang dilakukan yaitu

validasi terhadap data yang didapatkan dengan bantuan dari tenaga ahli, selanjutnya melakukan penyebaran, namun pada penelitian ini hanya sampai pada tahap pengembangan. Pada tahap pendefinisian dilakukan analisis baik secara grafik maupun statistik yang dapat memberikan hasil penelitian sesuai dengan tujuan, tahap ini juga melakukan analisis alat yang sudah ada sebelumnya serta mengembangkan. Sedangkan pada tahap pengembangan ini yang dilakukan yaitu menentukan spesifikasi performansi sistem dan spesifikasi desain sistem, sehingga diperoleh ketelitian dan ketepatan alat yang dibuat.

Spesifikasi performansi set eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul ini merupakan pengidentifikasian atau pengukuran fungsi setiap bagian pembentuk sistem. Set eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul ini terdiri dari satu set statif yang mencakup dasar statif dan batang statif. Serta juga dilengkapi dengan box berukuran 20x16x8 cm yang terdiri dari rangkaian sensor *photogate*, rangkaian sensor ping, rangkaian LCD dan mikrokontroler arduino uno. Sedangkan untuk sensor *photogate* terletak pada bagian batang statif yang dihubungkan dengan baut dan untuk sensor ping dilekatkan menyatu dengan tali yang digantungkan dengan massa beban.

Set eksperimen ini menentukan jumlah osilasi bandul, waktu yang dibutuhkan bandul berosilasi dan panjang tali. Prinsip kerja dari set eksperimen gerak harmonis sederhana ini adalah bermula dari mengantungkan massa beban pada statif yang terhubung dengan sensor ping. Beban diletakkan sejajar dengan sensor *photogate*, untuk mengatur supaya sensor *photogate* sejajar dengan beban bisa dengan cara menggeser baut yang terdapat pada sensor *photogate*. Beban ditarik sejauh besar sudut yang diinginkan dan bandul akan berosilasi sesuai dengan jumlah osilasi yang diset, jika jumlah osilasi telah sama dengan yang diset maka waktu osilasi akan berhenti. Sedangkan sensor *photogate* akan mendeteksi jumlah cacahan selama bandul berosilasi, apabila bandul sejajar dengan sensor *photogate* maka tegangan keluaran sensor akan berlogika low. Sinyal keluaran sensor *photogate* akan diprogram pada sebuah mikrokontroler sehingga menghasilkan jumlah cacahan osilasi bandul dan waktu yang dibutuhkan oleh bandul berosilasi. Mikrokontroler juga memprogram sinyal keluaran dari sensor ping yang dilekatkan dengan massa beban untuk mengetahui panjang tali yang digunakan.

Sensor yang digunakan pada penelitian ini dua, yaitu sensor *photogate* dan ping. Sensor *photogate* memiliki tegangan keluaran 0 Volt (low) dalam keadaan tidak terhalang dan 5 Volt (high) dalam keadaan terhalang. Besar tegangan keluaran *photogate* saat terang dipengaruhi oleh nilai resistor yang digunakan pada rangkaian. Sensor ping memiliki pulsa keluaran dengan periode 10 ms. Semakin jauh jarak sensor terhadap bidang datar,

maka semakin besar nilai T1 (waktu pulsa tinggi) keluaran sensor ping.

Berdasarkan hasil validasi oleh tenaga ahli bahwa produk yang dihasilkan secara umum berada pada kategori sangat valid baik untuk produk berupa set eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul. Walaupun berdasarkan validasi tenaga ahli alat praktikum yang dikembangkan dalam kategori sangat valid namun, sensitivitas dari alat tersebut masih perlu ditingkatkan. Dalam beberapa kali pengukuran masih terdapat beberapa penyimpangan. Selain itu, setiap dilakukan pengulangan pengukuran ditemukan beberapa data yang menyimpang.

Penentuan ketepatan dari pengukuran set eksperimen ini dilakukan dengan membandingkan pengukuran waktu osilasi oleh set eksperimen dengan perhitungan secara teori. Ketepatan yang diperoleh cukup tinggi. Namun, masih terdapat perbedaan pengukuran perioda oleh set eksperimen dan perhitungan secara teori. Kesalahan rata-rata yang terjadi adalah 2,02 % untuk variasi panjang tali, sedangkan kesalahan rata-rata untuk variasi besar sudut adalah 1,36 % dan kesalahan rata-rata untuk variasi jumlah osilasi adalah 1,00 %. Hal ini disebabkan banyak kesalahan yang mungkin terjadi saat pengukuran diantaranya kinerja sensor yang mulai melemah karena panas dan pemrograman mikrokontroler yang kurang sempurna.

Berdasarkan saran-saran oleh tenaga ahli dan permasalahan yang ditemukan pada saat proses validasi dilakukan revisi terhadap alat. Set eksperimen yang telah divalidasi ditinjau kembali kondisinya untuk menemukan permasalahan yang terjadi pada alat serta melakukan perbaikan terhadap alat agar alat memang seutuhnya dapat digunakan dalam melaksanakan kegiatan eksperimen.

KESIMPULAN

1. Hasil spesifikasi performansi dari sistem gerak harmonis sederhana pada bandul secara digital ini terdiri dari sistem mekanik yang didukung oleh sistem elektroniknya. Rangkaian elektronik pembangun sistem dari set eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul terdiri dari rangkaian sensor *photogate*, sensor ping, rangkaian LCD dan sistem mikrokontroler arduino uno. *Photogate* bersifat low ketika terhalang dan bersifat high ketika tidak terhalang. Selain itu juga terdapat sensor ping yang berfungsi untuk menentukan panjang tali dari bandul.
2. Hasil dari spesifikasi desain set eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul adalah sebagai berikut:
 - a. Ketepatan dari sistem yaitu ketepatan pengukuran waktu osilasi bandul untuk variasi panjang tali menggunakan set eksperimen didapatkan ketepatan rata-

ratanya adalah 0,9796, untuk variasi besar sudut dengan menggunakan set eksperimen didapatkan ketepatan rata-ratanya adalah 0,9866 dan untuk variasi jumlah osilasi menggunakan set eksperimen didapatkan ketepatan rata-ratanya adalah 0,9899.

- b. Pengukuran waktu osilasi bandul untuk variasi panjang tali menggunakan set eksperimen didapatkan ketelitian rata-ratanya adalah 0,9972, untuk variasi besar sudut menggunakan set eksperimen didapatkan ketelitian rata-ratanya adalah 0,999 dan untuk variasi jumlah osilasi menggunakan set eksperimen didapatkan ketelitian rata-ratanya adalah 0,996
3. Validasi dari set eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul berada pada kategori sangat valid dengan nilai rata-rata validasi tenaga ahli adalah 86,66 %.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Giancoli.c.Douglas.1999. Fisika Edisi ke 5. Jakarta: Erlangga.
- [2] PING Ultrasonic Distance Sensor (#28015), 2006, (Online), (<http://www.parallax.com/Portals/O/Downloads/docs/prod/acc/28015-PING-v1.5.pdf>, 12 September 2017, 09:15 WIB).
- [3] Sarjani, Farah, Yohandri, Zulhendri Kamus. (2017). Pembuatan Set Eksperimen Gerak Parabola Digital Berbasis Mikrokontroler Atmega328 Untuk Mengukur Parameter Gerak. *Pillar of Physics*, Vol. 10. Oktober 2017, 23-30.
- [4] Sugiyono.2015. Metode Penelitian dan Pengembangan. Alfabeta: Bandung.
- [5] Thiagarajan, S., Semmel, D. S & Semmel, M. I. 1974. *Instructional Development for Training Teachers of Exceptional Children*. Minneapolis, Minnesota: Leadership Training Institute/Special Education, University of Minnesota.
- [6] Tipler, P. A. 1991. Fisika Untuk Sains dan Teknik Jilid 2 (alih bahasa Dr.Bambang Soegijono). Penerbit Erlangga: Jakarta.
- [7] Yohandri, 2013. Mikrokontroler dan Antar Muka. Padang : Universitas Negeri Padang.
- [8] Yulkifli. 2013. Sistem Sensor dan Aplikasinya. Padang : Universitas Negeri Padang.
- [9] Yulkifli & Yohandri. 2016. Pengembangan Teknologi Sensor Menjadi Alat-Alat Praktikum Fisika Dalam Mendukung Implementasi Kurikulum 2013. Prosiding Semirata, 22-23 Mei 2016 Palembang. ISBN 978-60271798-1-3.