

PEMBUATAN *TOOL* PEMODELAN BANDUL MATEMATIS DENGAN PENGONTROLAN PANJANG TALI OTOMATIS UNTUK ANALISIS VIDEO TRACKER

Yani¹⁾, Asrizal²⁾

¹⁾Mahasiswa Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang

²⁾Staf Pengajar Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang
yanijanuari5@gmail.com, asrizal@fmipa.unp.ac.id

ABSTRACT

Physics is an interesting science in the world. The reason is that physics is able to explain physical phenomena and phenomena that occur in the world. One of the phenomena in physics is the simple harmonic motion of the mathematical pendulum. Physical phenomena can be observed through experiments using research instruments. The observation results were indicated there that the pendulum mathematical experimental data was only limited to the oscillation time and the number of swings. In addition, the instruments used today have limitations in mathematical pendulum experiments. One solution to solve this problem is to use a mathematical pendulum experimental modeling tool with automatic string length control. This research aims to determine the accuracy and accuracy of string length control, determine the performance specifications of mathematical pendulum modeling tool performance, determine the accuracy and accuracy of mathematical pendulum experiment modeling tools, and determine the effect of string length changes on the mathematical pendulum modeling tool. This research was a type of engineering research which is a non-routine design activity, so that there are new contributions, both in the form of processes and products. Data collection were done in two ways, namely direct and indirect measurement. Direct measurement was done by varying the length of the rope in the mathematical pendulum experiment modeling tool. Indirect measurement to determine the accuracy and accuracy of the mathematical pendulum experiment modeling tool. Data were analyzed with descriptive statistics in the form of tables and graphs. Based on data analysis four research results can be stated. First, the average accuracy of controlling rope length is 99.40% with an average error percentage of 0.59%. The average accuracy is obtained by 99,81% with an average error of 0,70%. Second, the performance of the mathematical pendulum modeling modeling tool is a mathematical pendulum modeling modeling tool measuring 1.0 x 0.7 m with controlling the length of the rope using a stepper motor. Third, the average accuracy of the pendulum mathematical experimental modeling tool is 97.53% with an average error of 2.45%. The average of the pendulum mathematical experimental modeling tool is 98.83% with an average error of 1.19%. Fourth, the longer the rope used the greater the period obtained, it is inversely proportional to the smaller frequency. Meanwhile, the average acceleration of gravity is obtained at 9.95 m/s² with an average error of 1.50%.

Keywords : *Modeling tool, Simple harmonic motion, Mathematical pendulum, Tracker software*



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

Fisika merupakan cabang ilmu yang menarik dipelajari, alasannya karena konsep fisika dapat menjelaskan bagaimana kerja dunia. Disisi lain, keterkaitan besaran-besaran yang ada secara nyata juga dapat dijelaskan melalui fisika^[1]. Memahami fisika dapat dilakukan secara langsung maupun melalui eksperimen. Pengamatan langsung ditandai dengan penggunaan alat indra untuk mengamati gejala fisika. Pengamatan eksperimen dilakukan dengan membuat kondisi sedemikian rupa sehingga dapat mewakili keadaan nyata dari gejala fisika yang akan diamati. Dalam memperoleh keadaan nyata yang sesuai dibutuhkan instrumen sebagai penunjang eksperimen sehingga diperoleh hasil eksperimen yang benar.

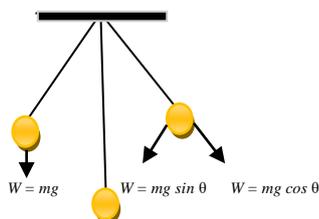
Fisika adalah suatu ilmu pengetahuan eksperimental^[2]. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi telah mampu menghasilkan berbagai

instrumen yang teliti dan praktis^[3]. Hal penting yang harus ada saat melakukan eksperimen ialah adanya instrumen. Instrumen adalah alat bantu yang digunakan untuk mengumpulkan, mengolah, menganalisis, dan menyajikan data hasil penelitian secara sistematis serta objektif bertujuan untuk memecahkan suatu persoalan atau menguji suatu hipotesis.

Salah satu gejala fisika yang sering dilakukan eksperimen adalah eksperimen gerak harmonis pada bandul matematis. Instrumen yang digunakan pada eksperimen ini terdiri dari sebuah beban yang digantung pada ujung tali dengan ketinggian tertentu. Beban dibuat dalam kondisi setimbang kemudian diberi sudut simpangan sebesar θ . Selanjutnya beban dilepas, karena adanya gaya pemulih membuat beban bergerak secara harmonis. Gerak harmonis yang terjadi pada bandul dapat diamati secara langsung.

Gerak Harmonis Sederhana (GHS) merupakan gerak bolak-balik suatu beban melalui titik keseimbangan tertentu dengan banyaknya getaran

benda dalam setiap detik selalu konstan^[4]. Gerak harmonis menyebabkan benda atau sistem mekanik beresilasi melalui suatu titik keseimbangan. Sistem mekanik dapat beresilasi akibat adanya gaya pemulih yang bekerja pada sistem tersebut. Gaya pemulih yang bekerja adalah sebanding terhadap kedudukan relatif massa sistem terhadap titik keseimbangan dan selalu berarah menuju titik keseimbangan^[5].



Gambar 1. Bandul Matematis

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

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

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

Dengan:

g = tetapan gravitasi (m/s^2)

L = panjang tali (m)

T = periode (s)

f = frekuensi (Hz)

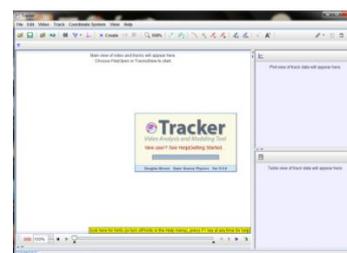
Eksperimen gerak harmonis sederhana pada bandul matematis ternyata masih terbatas dalam parameter hasil pengukuran. Hal ini ditandai dengan parameter hasil pengukuran langsung hanya terbatas pada jumlah ayunan dan waktu osilasi. Selain itu, eksperimen bandul matematis masih menggunakan instrumen manual. Sebagai solusi dari permasalahan yaitu dengan pembuatan *tool* pemodelan bandul matematis dengan pengontrolan panjang tali otomatis. Hal ini dapat mengatasi kesalahan pengaturan panjang tali pada bandul matematis.

Kehadiran *tool* pemodelan bandul matematis dengan pengontrolan panjang tali otomatis sangat membantu kegiatan eksperimen bandul matematis. Kelebihan dari *tool* pemodelan bandul matematis dengan pengontrolan panjang tali otomatis ialah dapat meminimalisir kesalahan pengukuran panjang tali terutama pada pengukuran berulang. Selain itu, hasil pengukuran lebih akurat disamping waktu eksperimen yang lebih cepat.

Kegiatan analisis merupakan kegiatan menguraikan struktur secara terperinci. Tujuannya adalah untuk memahami konsep dengan cara menguraikan suatu struktur^[6]. Proses analisis data hasil eksperimen bandul matematis memanfaatkan *software tracker*. *Tracker* merupakan *software* yang menganalisis video dan *tool* pemodelan yang bekerja pada fisika sumber terbuka memanfaatkan java^[7]. *Software tracker* akan menganalisis gerak benda

didalam video dilakukan dengan membuat jejak mengikuti gerak benda di dalam video tersebut^[8]. Topik yang berkaitan dengan kinematika dan fenomena gerak secara umum paling sesuai untuk *software tracker*^[9]. Pengembangan eksperimen pada fisika dengan menganalisis video serta *tool* pemodelan menggunakan *tracker* adalah salah satu solusi yang dianggap relevan pada abad ke-21. Solusi ini memanfaatkan teknologi digital untuk memahami fisika dan dapat menghasilkan data parameter gerak yang lebih akurat sehingga eksperimen gerak parabola bisa terlaksana dengan baik dan efektif^[10].

Software tracker merupakan aplikasi analisa dan pemodelan video dari *Open Source Physics* berbasis Java. *Software tracker* sudah banyak digunakan untuk menganalisis parameter objek yang bergerak^[11]. *Software tracker* bekerja dengan melakukan pelacakan terhadap gerak objek yang ada didalam video. *Tracker* menganalisis video yang terinput ke dalam *software tracker*. Sebelum diinput video tersebut dapat menjelaskan tentang *tool* pemodelan^[12]. Tampilan dari *software tracker* dapat diperhatikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tampilan Software Tracker

Software tracker terdiri dari beberapa *tool*. *Tool* tersebut diantaranya *create*, *clip setting*, *new*, dan *save*. *Create* untuk memasukan parameter analisis, *clip setting* untuk mengatur awal dan akhir video, *new* untuk membuka video baru, dan *save* untuk menyimpan video hasil analisis.

Pengontrolan panjang tali pada *tool* pemodelan bandul matematis menggunakan motor *stepper* yang diprogram menggunakan arduino UNO. Jika nilai panjang tali diinput melalui *keypad*, maka arduino UNO akan memproses sinyal yang masuk sehingga menggerakkan motor *stepper* untuk membuka gulungan tali sesuai nilai inputan. Nilai panjang tali yang diinputkan ditampilkan pada LCD. Alat, bahan, dan komponen pendukung dari *tool* pemodelan eksperimen bandul matematis terdiri dari arduino UNO, motor *stepper*, *driver stepper motor*, *keypad*, dan LCD.

Arduino merupakan sebuah papan rangkaian elektronik *open source* yang terdapat komponen utama didalamnya yaitu sebuah chip mikrokontroler. Mikrokontroler itu sendiri merupakan sebuah chip atau *Integrated circuit* yang bisa diprogram menggunakan computer. Program pada IC tersebut direkam yang tujuannya agar *input* terbaca pada rangkaian, diproses, dan kemudian menghasilkan

output sesuai dengan yang diinginkan^[13]. Mikrokontroler memiliki keunggulan terutama dalam pengontrolan masukan terprogram, pemanipulasian data, pengiriman, keluaran^[14]. Mikrokontroler arduino UNO merupakan mikro kontroler jenis AVR dari perusahaan Atmel yang sudah terintegrasi dengan mikrokontroler ATmega 328. Mikrokontroler ATmega328 terdiri dari 14 pin input/output digital terbagi menjadi 6 pin untuk output PWM, 6 pin untuk input analog, dan beberapa perangkat lainnya. Penggunaan mikrokontroler ini dapat dihubungkan langsung dengan komputer menggunakan kabel USB tanpa ada perangkat tambahan lainnya^[15].

Motor *stepper* merupakan motor DC yang tidak mempunyai komutator. Umumnya motor *stepper* hanya mempunyai kumparan pada bagian *stator* sedangkan pada bagian *rotor* merupakan magnet permanen dari bahan *ferromagnetic*^[16]. Motor *stepper* dapat didefinisikan sebagai motor DC yang tidak mempunyai komutator yang mampu mengubah pulsa elektronik menjadi gerakan mekanik diskrit. Motor *stepper* bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor. Ada beberapa teknik yang digunakan untuk mengontrol kelajuan motor yaitu dengan mengubah jumlah kutub motor, pengaturan tahanan luar, mengubah tegangan yang diberikan ke motor, dan mengubah frekuensi yang diberikan ke motor^[17].

Motor *stepper* memiliki beberapa kelebihan dibandingkan motor DC jenis lainnya. Pertama, perputaran motor *stepper* relatif stabil. Kedua, memiliki respon yang sangat baik terhadap mulai, stop, dan berbalik (perputaran). Ketiga, sangat *reliable* karena tidak adanya sikat yang bersentuhan dengan rotor seperti pada motor DC. Keempat, frekuensi perputaran dapat ditentukan secara bebas dan mudah pada jangkauan yang luas.

Keypad digunakan untuk penginputan data yang berbasis mikrokontroler. *Keypad* terdiri dari sejumlah saklar yang didalamnya terhubung sebagai baris dan kolom. Agar mikrokontroler dapat melakukan *scan keypad*, maka *port* mengeluarkan salah satu bit dari 3 bit yang terhubung pada kolom dengan logika low "0" dan selanjutnya membaca 4 bit pada baris untuk menguji jika ada tombol yang ditekan pada kolom tersebut. Selama tidak ada tombol yang ditekan, maka mikrokontroler akan melihat sebagai logika *high* "1" pada setiap pin yang terhubung ke baris^[18].

LCD adalah *display* elektronik yang dibuat dengan teknologi CMOS *logic* yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya tapi memantulkan cahaya yang ada terhadap *front-lit* atau mentransmisikan cahaya dari *back-lit*. LCD terbuat dari lapisan campuran organik antara lapisan kaca bening dengan elektroda transparan *idium oksida* yang berbentuk tampilan *seven segment* dan lapisan elektroda pada kaca belakang. LCD yang digunakan mempunyai lebar *display* 2 baris 16 kolom atau disebut juga sebagai LCD karakter 16x2 dengan 16 pin konektor

yang berfungsi sebagai penampil karakter yang diinput melalui *keypad*^[19].

Power supply atau catu daya adalah suatu sistem yang mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC. Catu daya dilengkapi IC regulator. Seri IC regulator diantaranya seri IC 78XX dan IC 79XX, dimana IC ini akan memberikan regulator tegangan sesuai yang diinginkan. Regulator IC 78XX merupakan regulator dengan tegangan positif XX Volt, sedangkan IC 79XX merupakan regulator dengan tegangan negatif XX Volt.

Personal Computer (PC) adalah seperangkat komputer yang digunakan oleh satu orang saja pribadi pribadi. Dewasa ini, PC telah dapat digunakan oleh siapa saja dan kapan saja. Fungsi utama dari PC adalah untuk mengolah data input dan menghasilkan output berupa data/informasi sesuai dengan keinginan user. PC yang digunakan untuk analisis video eksperimen bandul matematis telah terinstal *software tracker* didalamnya.

Semua komponen elektronik dari *tool* pemodelan bandul matematis terintegrasi satu sama lain. Susunan dari komponen elektronik yang digunakan disesuaikan dengan fungsi dari masing-masing komponen. Secara umum komponen elektronik tersebut terbagi menjadi 2 bagian yakni kerangka bandul matematis dan box rangkaian. Pada kerangka bandul matematis hanya terdapat motor *stepper* dan beban. Box rangkaian berisi LCD, *keypad*, arduino UNO, dan *driver stepper motor*.

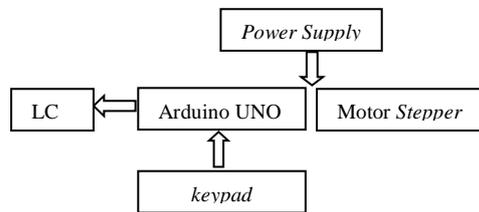
Berdasarkan keterbatasan dan kekurangan yang telah diuraikan, peneliti tertarik membuat suatu *tool* pemodelan bandul matematis dengan pengontrolan panjang tali otomatis. Tujuan penelitian ini adalah menentukan ketepatan dan ketelitian pengontrolan panjang tali, spesifikasi performansi dari *tool* pemodelan bandul matematis, ketelitian dan ketepatan *tool* pemodelan bandul matematis, dan pengaruh panjang tali pada bandul matematis. Hasil analisis akan dibandingkan dengan hasil teoritis sehingga diperoleh nilai ketepatan dan ketelitian dari *tool* pemodelan bandul matematis.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang. Penelitian ini dimulai dari bulan Februari 2019 dan akan diselesaikan sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan. Penelitian ini tergolong kedalam penelitian rekayasa. Kegiatan perancangan pada penelitian rekayasa melibatkan hal-hal yang relatif baru. Langkah-langkah dalam melakukan penelitian rekayasa meliputi ide-ide dan kejelasan tugas, konseptual rancangan, susunan, geometri, kefungsiannya, rancangan detail, pembuatan *tool* pemodelan, dan pengujian.

Perancangan blok diagram merupakan hal terpenting yang dilakukan dalam pembuatan *tool*

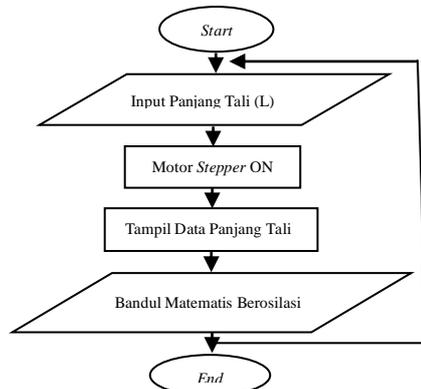
pemodelan bandul matematis. Blok diagram berisi perancangan elektronik yang akan sangat mempengaruhi kinerja dan hasil akhir *tool* pemodelan bandul matematis. Blok diagram dari *tool* pemodelan bandul matematis dapat di perhatikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Blok diagram

Blok diagram dari *tool* pemodelan bandul matematis terdiri dari *power supply* sebagai catu daya bagi arduino UNO. Motor *stepper* digunakan untuk membuka dan menggulung tali bekerja berdasarkan program yang diinputkan ke arduino UNO. LCD akan menampilkan panjang tali yang digunakan. Panjang tali pada bandul matematis dikontrol melalui motor *stepper* dan nilai panjang tali ditampilkan melalui LCD. Perancangan blok diagram merupakan bagian terpenting dalam pembuatan *tool* pemodelan bandul matematis.

Perancangan perangkat lunak berfungsi sebagai instruksi untuk menjalankan mikrokontroler Arduino UNO. Intruksi yang diberikan berupa inputan nilai panjang tali untuk selanjutnya diproses. Pemograman bertujuan agar sistem pada *tool* pemodelan bandul matematis bekerja dengan baik. Desain perangkat lunak seperti pada Gambar 4.

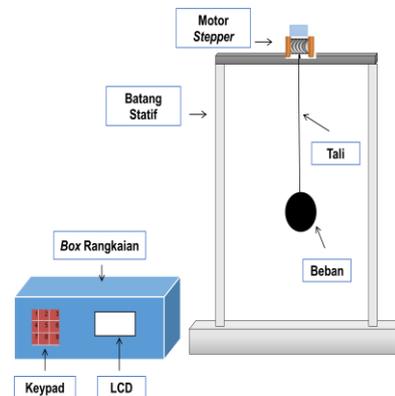


Gambar 4. Desain Perangkat Lunak

Desain perangkat lunak yang digunakan pada *tool* pemodelan bandul matematis dengan pengontrolan panjang tali otomatis seperti pada Gambar 4. Kerja sistem dimulai dengan penginputan panjang tali (L) kemudian ditampilkan melalui LCD. Selanjutnya arduino UNO akan memproses nilai input yang diberikan dan menginstruksikan motor *stepper* bergerak sesuai dengan nilai inputan. Motor *stepper* yang bergerak akan membuka dan menggulung tali. Panjang untaian tali sesuai dengan nilai inputan. Selanjutnya beban ditarik membentuk

sudut simpangan sebesar θ , dan akan beresilasi ketika dilepas akibat adanya gaya pemulih.

Tool pemodelan bandul matematis ini menggunakan motor *stepper* untuk pengontrolan panjang tali. Desain mekanik dari *tool* pemodelan bandul matematis seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Desain Mekanik *Tool* Pemodelan Bandul Matematis

Desain mekanik *tool* pemodelan bandul matematis dengan pengontrolan panjang tali otomatis seperti Gambar 5. Motor *stepper* terletak pada bagian atas batang statif horizontal. Motor *stepper* terhubung dengan lilitan tali dan sebuah beban yang berada diujungnya. Semua rangkaian elektronik dari perancangan *hardware* terletak didalam box rangkaian yang terpisah dengan bagian utama bandul matematis.

Gerak harmonik sederhana yang terjadi pada bandul selanjutnya direkam menggunakan kamera. Selama proses perekaman kamera harus dipastikan dalam kondisi tetap dan tidak goyang untuk memperoleh kondisi tersebut dapat dengan memanfaatkan *tripod*. Kamera harus dipastikan pada posisi yang sejajar dengan bandul matematis. *Background* harus kontras dengan *tool* pemodelan sehingga gerak harmonis sederhana yang terjadi terlihat jelas. Video hasil perekaman selanjutnya dianalisis menggunakan PC yang telah terinstal *software tracker*.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Kajian teori dan penelitian yang telah dilakukan menghasilkan sebuah *tool* pemodelan bandul matematis dengan pengontrolan panjang tali otomatis. Hasil dari penelitian ini tidak jauh berbeda dari rancangan yang telah penulis kemukakan. Melalui pengolahan data dapat dilihat hubungan antara variabel-variabel yang diukur. Analisis data yang dilakukan baik secara pengukuran maupun ketepatan dan ketelitian dari alat ini. Penyajian data yang diperoleh dinyatakan dalam bentuk tabel dan dalam bentuk grafik.

1. Hasil Penelitian

a. Ketepatan dan ketelitian pengontrolan panjang tali

Ketepatan pengukuran panjang tali dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dari motor *stepper* dengan hasil pengukuran alat ukur standar yaitu meteran. Data hasil pengukuran ketepatan panjang tali menggunakan motor *stepper* ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ketepatan Pengukuran Panjang Tali dengan Kontrol Motor *Stepper*

No.	Panjang Tali (m)		Persentase Ketepatan (%)	Persentase Kesalahan (%)
	Motor <i>stepper</i>	Meteran		
1	0,45	0,447	99,33	0,67
2	0,50	0,495	98,99	1,01
3	0,55	0,547	99,46	0,54
4	0,60	0,598	99,67	0,33
5	0,65	0,647	99,54	0,46
6	0,70	0,695	99,29	0,71
7	0,75	0,745	99,33	0,67
8	0,80	0,797	99,63	0,37
9	0,85	0,844	99,29	0,71
10	0,90	0,896	99,56	0,44
Rata-rata			99,40	0,59

Tool pemodelan bandul matematis menggunakan beban 0,05 kg dari jenis metal. Tali yang digunakan dari jenis senar dengan panjang berkisar antara 0,45 m – 0,90 m. Dari 10 variasi panjang tali, diperoleh ketepatan rata-rata pengontrolan panjang tali sebesar 99,40%. Persentase kesalahan dari pengontrolan panjang tali berkisar antara 0,33% hingga 1,01% dengan persentase kesalahan rata-rata sebesar 0,59%. Hal ini membuktikan bahwa motor *stepper* bekerja cukup baik dalam pengontrolan panjang tali.

Ketelitian pengaturan panjang tali diperoleh melalui pengukuran berulang sebanyak 10 kali. Pengukuran berulang yang dilakukan dengan memvariasikan beberapa panjang tali yaitu panjang tali 0,50 m. Data ketelitian pengaturan panjang tali menggunakan motor *stepper* yang diperoleh cukup tinggi pada panjang tali 0,50 m. Nilai ketelitian berkisar antara 99,59% hingga 100% dengan nilai persentase rata-rata sebesar 99,81%. Persentase kesalahan berkisar antara 0,00% hingga 0,40% dengan nilai rata-rata 0,18%.

b. Spesifikasi performansi dari *tool* pemodelan eksperimen bandul matematis

Spesifikasi performansi meliputi fungsi-fungsi dari setiap bagian *tool* pemodelan bandul matematis. Semua bagian dari *tool* pemodelan bandul matematis memiliki fungsi tersendiri. Spesifikasi performansi *tool* pemodelan bandul matematis secara umum

terbagi 2 yakni box rangkaian dan kerangka bandul matematis. Box rangkaian dari *tool* pemodelan bandul matematis seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Box Rangkaian

Box rangkaian *tool* pemodelan bandul matematis yang terdiri dari *power supply*, arduino UNO, dan *driver stepper motor*. *Power supply* yang digunakan memiliki tegangan keluaran 12 V dengan arus 3 A. Arduino UNO digunakan untuk memprogram motor *stepper*. *Driver stepper motor* yang digunakan merupakan tipe A3978 dengan *voltage operating* 8 V - 50 V. Tegangan dari *power supply* menjadi catu daya bagi arduino UNO dan *driver stepper motor*. Pada bagian luar dari box rangkaian terdapat LCD dan *keypad* yang terletak berdampingan. Pin 7 – 13 dari Arduino UNO terhubung dengan *keypad*, pin GND dan 5 V terhubung ke LCD. *Keypad* digunakan untuk menginput nilai panjang tali. Pada LCD ditampilkan nilai panjang tali yang diinputkan melalui *keypad*. Adapun *keypad* yang digunakan ialah *keypad* 3x4 dengan LCD 16x2. Kerangka dari *tool* pemodelan bandul matematis seperti pada Gambar 7 berikut.

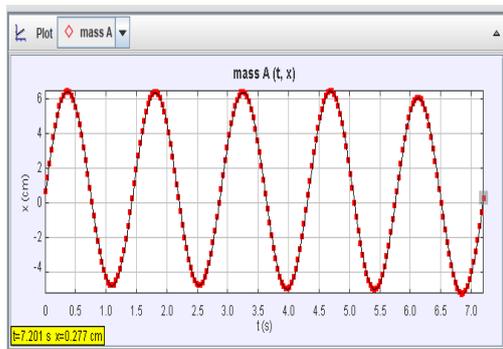


Gambar 7. Kerangka *Tool* Pemodelan Bandul Matematis

Tool pemodelan bandul matematis terdiri atas kerangka statif. Kerangka statif merupakan tempat menggantungkan beban. Kerangka statif memiliki ukuran tinggi 1,0 m dengan lebar 0,7 m. Box rangkaian memiliki 2 bagian yakni bagian dalam dan bagian luar.

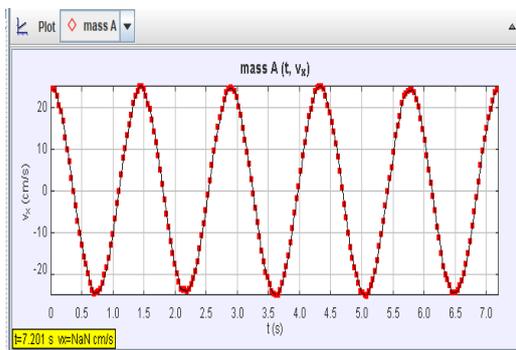
c. Ketepatan dan Ketelitian dari *Tool* Pemodelan Bandul Matematis

Ketepatan *tool* pemodelan bandul matematis diperoleh dari pengukuran dan analisis video. Pengukuran dilakukan dengan 10 variasi panjang tali dari 0,45 m hingga 0,90 m. Beban yang digunakan dalam eksperimen ini bermassa 0,05 kg dari jenis metal. Hasil pengukuran diperoleh beberapa besaran fisis dari bandul matematis diantaranya waktu osilasi, periode, frekuensi, dan percepatan gravitasi. Tampilan pada *software tracker* terhadap hasil analisis video menggunakan panjang tali 0,50 m pada Gambar 8.



Gambar 8. Perubahan Posisi pada Sumbu-X

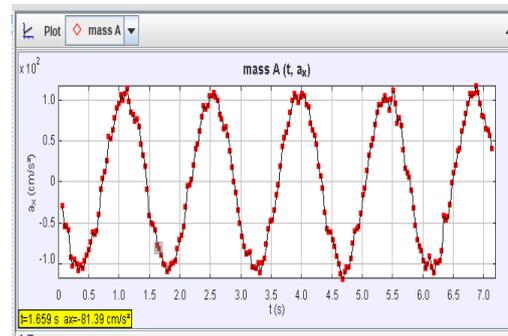
Berdasarkan Gambar 8 tampak grafik hubungan perubahan posisi terhadap waktu osilasi ayunan bandul matematis. Grafik diperoleh dari 5 kali ayunan. Dari besaran fisis tersebut diperoleh grafik berupa sinusoidal. Grafik hasil analisis video pada *software tracker* dengan parameter perubahan kecepatan pada sumbu-X seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Perubahan Kecepatan pada Sumbu-X

Gambar 9 merupakan grafik hubungan kecepatan osilasi terhadap waktu osilasi. Grafik diperoleh dari 5 kali ayunan. Dari besaran fisis tersebut diperoleh grafik berupa sinusoidal. Grafik kecepatan diperoleh sesuai teori dimana percepatan merupakan differensial dari perubahan posisi. Grafik

hasil analisis video pada *software tracker* dengan parameter perubahan percepatan pada sumbu-X seperti pada Gambar 10.



Gambar 10. Perubahan Percepatan pada Sumbu-X

Gambar 10 merupakan grafik perubahan percepatan pada terhadap waktu osilasi. Grafik diperoleh dari 5 kali ayunan. Perubahan percepatan membentuk lintasan yang mengarah kesinusoidal.

Nilai ketepatan untuk hasil pengukuran periode bandul matematis berkisar antara 99,29% hingga 99,39%. Persentase ketepatan rata-rata sebesar 99,34%. Persentase kesalahan pada pengukuran periode dari ayunan bandul matematis berkisar antara 0,60% hingga 0,71%. Persentase kesalahan rata-rata 0,65%.

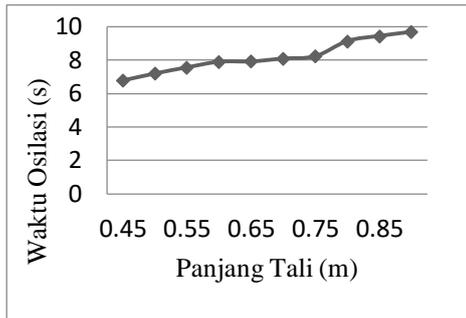
d. Pengaruh Panjang Tali

Penggunaan panjang tali sangat mempengaruhi osilasi yang terjadi pada bandul matematis. Penggunaan tali yang terlalu pendek mengakibatkan tidak terjadinya gerak harmonis sederhana pada bandul matematis. Sementara itu, penggunaan tali yang terlalu panjang mengakibatkan terjadinya ayunan putar. Telah dilakukan eksperimen dengan 10 variasi panjang tali. *Software tracker* menampilkan besaran fisis berupa periode, frekuensi, waktu osilasi, dan percepatan gravitasi. Pengaruh panjang tali pada eksperimen bandul matematis seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengaruh Panjang Tali

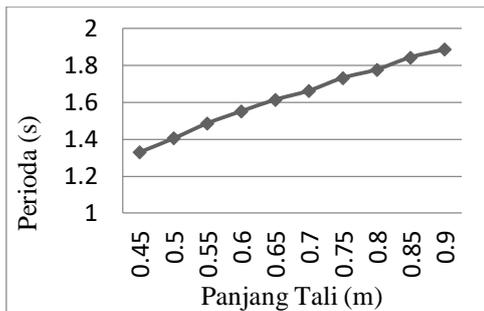
No	L (m)	t (s)	f (Hz)	T (s)	g (m/s ²)
1	0,45	6.821	0.700	1.330	10.07
2	0,50	7.201	0.664	1.404	9.92
3	0,55	7.698	0.633	1.486	9.89
4	0,60	7.897	0.606	1.551	9.97
5	0,65	8.288	0.582	1.613	10.00
6	0,70	7.798	0.561	1.662	9.91
7	0,75	8.222	0.542	1.731	10.01
8	0,80	9.093	0.525	1.776	9.96
9	0,85	9.399	0.495	1.842	9.90
10	0,90	9.705	0.495	1.884	9.92

Hasil pengukuran dengan 10 variasi panjang tali diperoleh beberapa besaran fisika diantaranya waktu osilasi, periode, frekuensi, dan gravitasi. Dari hasil analisis diperoleh percepatan rata-rata sebesar 9,9 m/s². Adapun grafik pengaruh panjang tali terhadap waktu osilasi seperti pada Gambar 11.



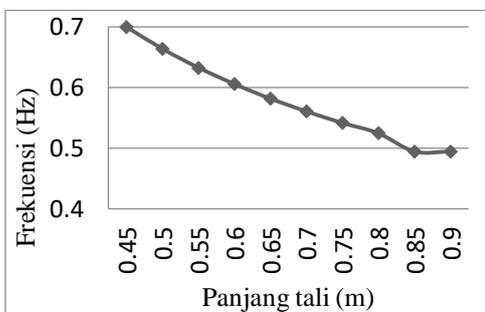
Gambar 11. Pengaruh Panjang Tali terhadap Waktu Osilasi

Waktu tercepat untuk 5 kali ayunan ialah 6,78 s yakni pada panjang tali 0,45 m. Sementara itu, waktu terlama untuk 5 kali ayunan ialah 9,67 s yakni pada panjang tali 0,90 m. Dari hasil grafik hubungan panjang tali terhadap waktu osilasi terlihat bahwa semakin panjang tali yang digunakan akan semakin lama waktu bandul matematis berosilasi. Adapun grafik pengaruh panjang tali terhadap perioda osilasi seperti pada gambar 12.



Gambar 12. Pengaruh Panjang Tali terhadap Perioda

Perioda terbesar diperoleh pada panjang tali 0,90 m yakni sebesar 1,88 s. sementara itu perioda terkecil diperoleh pada panjang tali 0,45 m yakni sebesar 1,33 s. Dari hasil grafik hubungan panjang tali terhadap perioda terlihat bahwa semakin panjang tali yang digunakan akan semakin besar perioda yang diperoleh. Adapun grafik pengaruh panjang tali terhadap frekuensi seperti pada Gambar 13.



Gambar 13. Pengaruh Panjang Tali terhadap Frekuensi

Frekuensi terbesar diperoleh pada panjang tali 0,45 m yakni sebesar 0,70 Hz. Sementara itu, frekuensi terendah diperoleh pada panjang tali 0,90

m yakni sebesar 0,49 Hz. Dari hasil grafik hubungan panjang tali terhadap frekuensi dapat dilihat bahwa semakin panjang tali yang digunakan, semakin kecil frekuensi yang diperoleh.

2. Pembahasan

Hasil pertama yang dicapai adalah ketepatan dan ketelitian pengontrolan panjang tali. Ketepatan rata-rata pengontrolan panjang tali menggunakan motor *stepper* yakni 99,40% dengan ketelitian rata-rata yakni 99,81%. Sistem ini sangat cocok digunakan untuk pengontrolan panjang tali otomatis pada eksperimen bandul matematis. Jika nilai yang sama dari peubah yang terukur, diukur beberapa kali dan memberikan hasil yang kurang-lebih sama, maka alat ukur tersebut dikatakan mempunyai ketelitian atau reproduksibilitas tinggi^[20].

Hasil kedua yang telah dicapai adalah spesifikasi performansi dari *tool* pemodelan bandul matematis. Spesifikasi performansi *tool* pemodelan eksperimen bandul matematis terdiri dari statif dan box rangkaian. Statif *tool* pemodelan eksperimen bandul matematis yang berukuran 1,0 x 0,70 m. Komponen pengontrolan tersusun dari arduino UNO, *keypad* sebagai masukan, dan LCD sebagai *display*. Komponen tersebut ditempatkan didalam box rangkaian. Box rangkaian berukuran 18 x 6 x 11 cm.

Hasil ketiga yang telah dicapai adalah ketepatan dan ketelitian *tool* pemodelan eksperimen bandul matematis. Ketepatan rata-rata dari *tool* pemodelan eksperimen bandul matematis sebesar 97,53% dengan kesalahan rata-rata sebesar 2,45%. Ketelitian rata-rata dari *tool* pemodelan eksperimen bandul matematis sebesar 98,83% dengan kesalahan rata-rata sebesar 1,19%. Dari hasil ketepatan dan ketelitian yang didapat membuktikan bahwa *tracker* layak digunakan dalam percobaan Fisika lainnya yang berhubungan dengan gerak^[21].

Hasil keempat yang telah dicapai adalah pengaruh perubahan panjang tali pada eksperimen bandul matematis. Perioda semakin besar seiring penggunaan tali yang semakin panjang. Sementara itu frekuensi yang diperoleh semakin kecil seiring penggunaan tali yang semakin panjang. Percepatan rata-rata gravitasi sebesar $9,95 \text{ m/s}^2$ dengan kesalahan rata-rata sebesar 1,50%. Perioda tidak bergantung pada massa, maka kita simpulkan bahwa semua bandul sederhana dengan panjang yang sama dan berada pada lokasi yang sama (sehingga g konstan) akan berosilasi dengan periode yang sama pula^[22].

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis video dari *tool* pemodelan eksperimen bandul matematis dengan pengontrolan panjang tali otomatis dapat dikemukakan beberapa kesimpulan yaitu :

1. Ketepatan rata-rata pengontrolan panjang tali menggunakan motor *stepper* sebesar 99,40%

- dengan persentase kesalahan 0,59%. Ketelitian rata-rata pengukuran panjang tali sebesar 99,81% dengan kesalahan rata-rata sebesar 0,17%
2. Spesifikasi performansi *tool* pemodelan eksperimen bandul matematis ini terdiri dari motor *stepper* berfungsi sebagai pengguling tali dan statif sebagai tempat meletakkan motor *stepper*, rangkaian elektronika terdiri dari *power supply*, *driver stepper motor*, LCD, dan *keypad*
 3. Ketepatan rata-rata dari *tool* pemodelan eksperimen bandul matematis sebesar 97,53% dengan kesalahan rata-rata sebesar 2,45%. Ketelitian rata-rata dari *tool* pemodelan eksperimen bandul matematis sebesar 98,83% dengan kesalahan rata-rata sebesar 1,19%
 4. Penggunaan tali yang semakin panjang menghasilkan perioda yang semakin besar tetapi frekuensi semakin kecil. Percepatan rata-rata gravitasi hasil pengukuran sebesar 9,95 m/s² dengan persentase kesalahan rata-rata 1,50%

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Halliday, David. Resnick, Ribert. Walker, Jearn. 2011. *Fundamental of Physics. 9th Edition*. John Wiley & Sons, Inc, United States of America
- [2] Young, Hugh D. 2012. *College Physics. 9th Edition*, Addison-Wesley
- [3] Pratama, Ridho. Asrizal. Kamus, Zuhendri. 2013. *Pembuatan Sistem Pengukuran Durasi Penyinaran Matahari Berbasis Mikrokontroler ATMEGA8535*. Padang: Universitas Negeri Padang
- [4] Syahrul, John A. Andriana. 2013. *Pengukur Percepatan Gravitasi Menggunakan Gerak Harmonik Sederhana Metode Bandul*. Jakarta: Universitas Komputer Indonesia
- [5] Budi, Esmar. 2015. *Kajian Fisis pada Gerak Osilasi Harmonis*. Jakarta: Universitas Negeri Jakarta
- [6] Harjasujana. 1987. *Proses Belajar Mengajar Membaca*. Bandung: Yayasan BHF
- [7] Brown, Douglas and Cox. Anne J. 2009. *Innovative Uses of Video Analysis. The Physics Teacher Journal*. Vol. 47
- [8] Fitriyanto, Indra. Imam, Suchyo. 2016. *Penerapan Software Tracker Video Analyzer Pada Praktikum Kinematika Gerak*. Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika (JIPF) Vol. 05 No. 03
- [9] Habibullah, M. Madlazim. 2014. *Penerapan Metode Analisis Video Software Tracker Dalam Pembelajaran Fisika Konsep Gerak Jatuh Bebas Untuk Meningkatkan Keterampilan Proses Siswa Kelas X SMAN 1 Sooko Mojokerto*. Jurnal Pendidikan Fisika dan Aplikasinya. Vol. 4(1): 15-22
- [10] Asrizal. Yohandri. Kamus, Zuhendri. 2018. *Studi Hasil Pelatihan Analisis Video dan Tool Pemodelan Tracker pada Guru MGMP Fisika Kabupaten Agam*. dalam Jurnal Eksata Pendidikan (JEP) Vol.2, p-ISSN: 2614-1221e-ISSN: 2579-806. Padang: Universitas Negeri Padang
- [11] Setyadin, Hanif A. Dkk. 2016. *Optimalisasi Bandul Matematis Menggunakan Tracker Dalam Penentuan Perubahan Percepatan Gravitasi Permukaan Bumi (G) Akibat Gerhana Matahari Sebagian (Gms) 9 Maret 2016*. Bandung: Departemen Pendidikan Fisika FPMIPA UPI
- [12] Wee, Loo Kang. 2012. *Using Tracker to Understand 'Toss Up' and Free Fall Motion: a Case Study*. *Physics Education Journal*, 50 (4)
- [13] Windarto. Haekal, Muhammad. 2012. *Aplikasi Pengatur Lampu Lalu Lintas Berbasis Arduino Mega 2560 Menggunakan Light Dependent Resistor (LDR) Dan Laser*. Jakarta Selatan: Universitas Budi Luhur
- [14] Marta, Afdi. Asrizal. Yulkifli. 2014. *Prototipe Sistem Pengontrolan Temperatur Dan Waktu Proses Perebusan Bubur Kedelai Untuk Tahu Berbasis Mikrokontroler At89s52 Dengan Pengindra Ic Lm35*. Padang: Universitas Negeri Padang
- [15] Helmi. 2013. *Rancang Bangun Magnetic Door Lock Menggunakan Keypad Dan Solenoida Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia
- [16] Syahrul, John Adler. Andriana. 2013. *Pengukur Percepatan Gravitasi Menggunakan Gerak Harmonik Sederhana Metode Bandul*. Jakarta: Universitas Komputer Indonesia
- [17] Asrizal. Yulkifli. Melvia, Sovia. 2012. *Penentuan Karakteristik Sistem Pengontrolan Kelajuan Motor DC dengan Sensor Optocoupler Berbasis Mikro kontroler AT89S52*. Padang: Universitas Negeri Padang
- [18] Wijanarko, B. 2017. *Alat Penyaring Kacang Otomatis untuk Bahan Sambil Pecel Ponorogo Berbasis Mikrokontroler Atmega16*. Ponorogo: Universitas Muhammadiyah Ponorogo
- [19] Erlita, Norma. 2015. *Aplikasi Alat Ukur Tubuh Digital Menggunakan Metode Fuzzy Logic Untuk Menentukan Kondisi Ideal Badan Dengan Tampilan LCD Dan Output Suara Untuk Tunanetra*. Jember: Universitas Jember
- [20] Nugraha, Andi. Ramadan, Muhammad Nizar. 2018. *Pengukuran Teknik Dan Instrumentasi (Hmkk314)*. Universitas Lambung Mangkurat
- [21] Brown, Douglas and Cox. Anne J. 2009. *Innovative Uses of Video Analysis. The Physics Teacher Journal*. Vol. 47
- [22] Serway, Raymond A. Jewet, John W. 2009. *FISIKA untuk sains dan teknik*. Jakarta: Salemba Teknika