



**DESAIN RANCANG BANGUN *TRAINER KIT* UNTUK MENENTUKAN
PENGARUH JENIS BAHAN TALI TERHADAP CEPAT RAMBAT
GELOMBANG TALI**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Pendidikan Fisika (S1) dan mencapai gelar Sarjana Pendidikan

Oleh:

Linggar Ayu Octaviani

170210102103

**PROGAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
JURUSAN PENDIDIKAN MIPA
FAKULTAS KEGURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS JEMBER**

2021

PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah SWT serta sholawat dan salam kepada Rasulullah Muhammad SAW, saya persembahkan skripsi ini untuk :

1. Kedua orangtua, Ayah Sutompo, Ibu Lestari dan Ibu Nanik Purwati. Terimakasih atas segala do'a, *support*, dan kasih sayang yang diberikan selama ini;
2. Bapak ibu guru dan dosen yang telah memberikan ilmu dan membimbing dengan sabar;
3. Almamater Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

MOTTO

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”

(Q.S. Al-Insyirah : 5)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Linggar Ayu Octaviani

NIM : 170210102103

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “**Desain Rancang Bangun *Trainer Kit* Untuk Menentukan Pengaruh Jenis Bahan Tali Terhadap Cepat Rambat Gelombang Tali**” merupakan benar hasil karya saya sendiri kecuali kutipan yang telah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun, serta bersedia mendapat sanksi apabila dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 10 Februari 2021

Yang Menyatakan,

Linggar Ayu Octaviani

NIM 170210102103

SKRIPSI

**DESAIN RANCANG BANGUN *TRAINER KIT* UNTUK MENENTUKAN
PENGARUH JENIS BAHAN TALI TERHADAP CEPAT RAMBAT
GELOMBANG TALI**

Oleh:

Linggar Ayu Octaviani

170210102103

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Drs. Sri Handono Budi P., M.Si

Dosen Pembimbing Anggota : Firdha Kusuma Ayu A., S.Si., M.Si

Dosen Penguji Utama : Drs. Alex Harijanto, M.Si

Dosen Penguji Anggota : Dr. Rif'ati Dina H., S.Pd., M.Si

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Desain Rancang Bangun *Trainer Kit* Untuk Menentukan Pengaruh Jenis Bahan Tali Terhadap Cepat Rambat Gelombang Tali” karya Linggar Ayu Octaviani telah diuji dan di sahkan pada :

Hari, tanggal : Selasa, 09 Maret 2021

Tempat : Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember

Tim penguji

Ketua,

Sekretaris,

Dr. Drs. Sri Handono B.P., M.Si.
NIP. 195803181985031004

Firdha Kusuma A. A. S.Si., M.Si.
NIP. 199102112019032016

Anggota I,

Anggota II,

Drs. Alex Harijanto, M.Si.
NIP. 196411171991031001

Dr. Rif’ati Dina H. S.Pd., M.Si
NIP. 198102052006042001

Mengesahkan,

Dekan,

Prof. Dr. Bambang Soepeno, M.Pd
NIP. 196006121987021001

RINGKASAN

Desain Rancang Bangun Trainer Kit Untuk Menentukan Pengaruh Jenis Bahan Tali Terhadap Cepat Rambat Gelombang Tali; Linggar Ayu Octaviani; 170210102103; 2021; 91 halaman; Program Studi Pendidikan Fisika Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Menurut Tipler (1998 : 471) gerak gelombang merupakan perpindahan energi dan momentum di dalam ruang ke titik lain tanpa pemindahan materi. Sedangkan menurut Giancoli (2001 : 383) gelombang yaitu getaran yang merambat pada suatu medium atau tanpa medium namun medium rambatnya tidak ikut serta mengalami perambatan. Salah satu peristiwa gelombang yang dapat diamati oleh indra yaitu panjang gelombang tali. Tetapi proses pengamatannya memerlukan ketelitian. Oleh karena itu terkadang sering terjadi kesalahan dalam pengukuran yang mengakibatkan kesalahan pada proses pengukuran.

Ditinjau dari studi pendahuluan, pada praktikum Fisika Dasar II tentang percobaan Melde di Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember masih menggunakan alat praktikum Melde sederhana. Pada alat praktikum tersebut masih ditemukan kesulitan dalam pengukuran panjang gelombang tali karena gerakan gelombang tali yang sangat cepat dan membuat mata tidak fokus saat mengamati letak simpul gelombangnya. Selain itu, pada saat praktikum dilakukan hanya menggunakan satu jenis bahan tali saja, variabel yang dirubah hanya massa beban gantung saja. Hal ini hanya menunjukkan bahwa perubahan massa beban gantung berpengaruh terhadap gaya tegang tali dan cepat rambat gelombang tali. Tetapi belum menunjukkan bahwa adanya perubahan rapat massa tali (μ) juga berpengaruh terhadap cepat rambat gelombang talinya. Sedangkan pada teori berdasarkan Giancoli (2014) disebutkan bahwa faktor yang mempengaruhi cepat rambat gelombang tali adalah gaya tegang tali (F) dan rapat massa tali (μ).

Dari uraian di atas diperoleh tujuan dari penelitian ini adalah : (1) Mendeskripsikan validitas rancang bangun *trainer kit* untuk menentukan pengaruh jenis bahan tali terhadap cepat rambat gelombang tali. (2) Menguji pengaruh massa dari jenis bahan tali terhadap cepat rambat gelombang tali. Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan dengan menggunakan desain pengembangan menurut Nieveen, McKenney & Akker (2006) dan Plomp (2010) meliputi: (1) *preliminary research*, (2) *prototyping stage*, (3) *assessment stage* untuk menghasilkan suatu produk desain rancang bangun *trainer kit* untuk menentukan pengaruh jenis bahan tali terhadap cepat rambat gelombang tali.

Berdasarkan hasil analisis data yang telah dilakukan oleh peneliti setelah melaksanakan penelitian, *trainer kit* hasil rancangan peneliti telah layak digunakan sebagai alat praktikum pengaruh jenis bahan tali terhadap cepat rambat gelombang tali setelah dilakukan kalibrasi dengan alat standar buatan pabrik dengan tingkat kesalahan atau nilai *error* sebesar 0,02% s/d 0,07% dibandingkan alat buatan pabrik. Selanjutnya, data pengaruh jenis bahan tali terhadap cepat rambat gelombang tali yang dihasilkan oleh *trainer kit* rancangan peneliti telah sesuai dengan dasar teori yang ada sebelumnya, yaitu berbanding terbalik.

Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa : (1) Desain rancang bangun *trainer kit* untuk menentukan pengaruh jenis bahan tali terhadap cepat rambat gelombang tali hasil rancangan peneliti dikembangkan dengan menggunakan mikrokontroler Arduino UNO dilengkapi dengan sensor jarak HC-SR04 untuk mengukur panjang gelombang tali yang dihasilkan dari gelombang tali. (2) Dari hasil uji lapang *trainer kit* rancangan peneliti diperoleh bahwa ada pengaruh rapat massa jenis bahan tali nilon, tali rafia, tali polyester, tali rami dan tali satin cina terhadap cepat rambat gelombang tali yaitu berbanding terbalik.

Berdasarkan hasil pengembangan *trainer kit* ini peneliti berharap *trainer kit* ini dapat digunakan sebagai alat praktikum Fisika pada materi gelombang tali atau percobaan Melde berbantuan Arduino UNO dan dapat menjadi acuan dalam mengembangkan penelitian yang berhubungan dengan pengembangan *trainer kit*.

PRAKATA

Puji Syukur kehadirat Allah SWT. atas segala limpahan berkah, rahmat serta hidayah-Nya serta junjungan Nabi Besar Muhammad SAW. sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Desain Rancang Bangun *Trainer Kit* Untuk Menentukan Pengaruh Jenis Bahan Tali Terhadap Cepat Rambat Gelombang Tali”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) pada Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Dalam penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan terimakasih kepada :

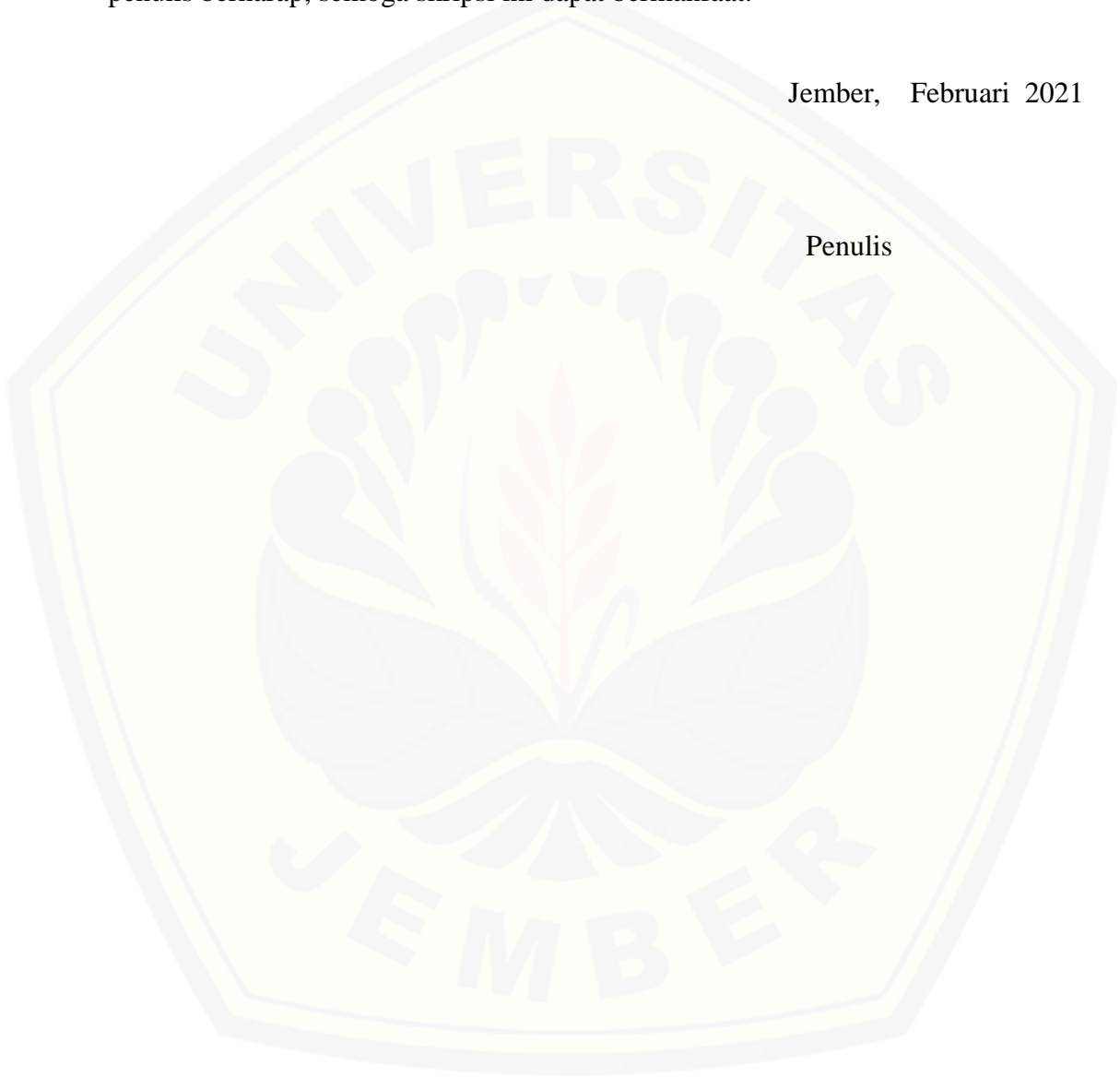
1. Bapak Prof. Dr. Bambang Soepeno, M.Pd selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
2. Ibu Dr. Dwi Wahyuni, M.Kes selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
3. Bapak Drs. Bambang Supriadi, M.Sc selaku Koordinator Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
4. Bapak Dr. Drs. Sri Handono Budi Prastowo, M.Si selaku Dosen Pembimbing Utama dan Ibu Firdha Kusuma Ayu A., S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Anggota;
5. Bapak Drs. Alex Harijanto, M.Si serta Ibu Dr. Rif’ati Dina Handayani, S.Pd., M.Si selaku Dosen Penguji Utama dan Dosen Penguji Anggota;
6. Ibu Lailatul Nuraini, S.Pd., M.Pd selaku Dosen Pembimbing Akademik dan seluruh Bapak dan Ibu dosen Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;
7. Bapak Sutompo, Ibu Nanik Purwati dan Ibu Listari serta seluruh Keluarga Besar Bani Karno;
8. Seluruh teman-teman Program Studi Pendidikan Fisika Angkatan 2017;

9. Seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan dan semangat.

Besar harapan penulis bila segenap pembaca memberikan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan selanjutnya. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, Februari 2021

Penulis



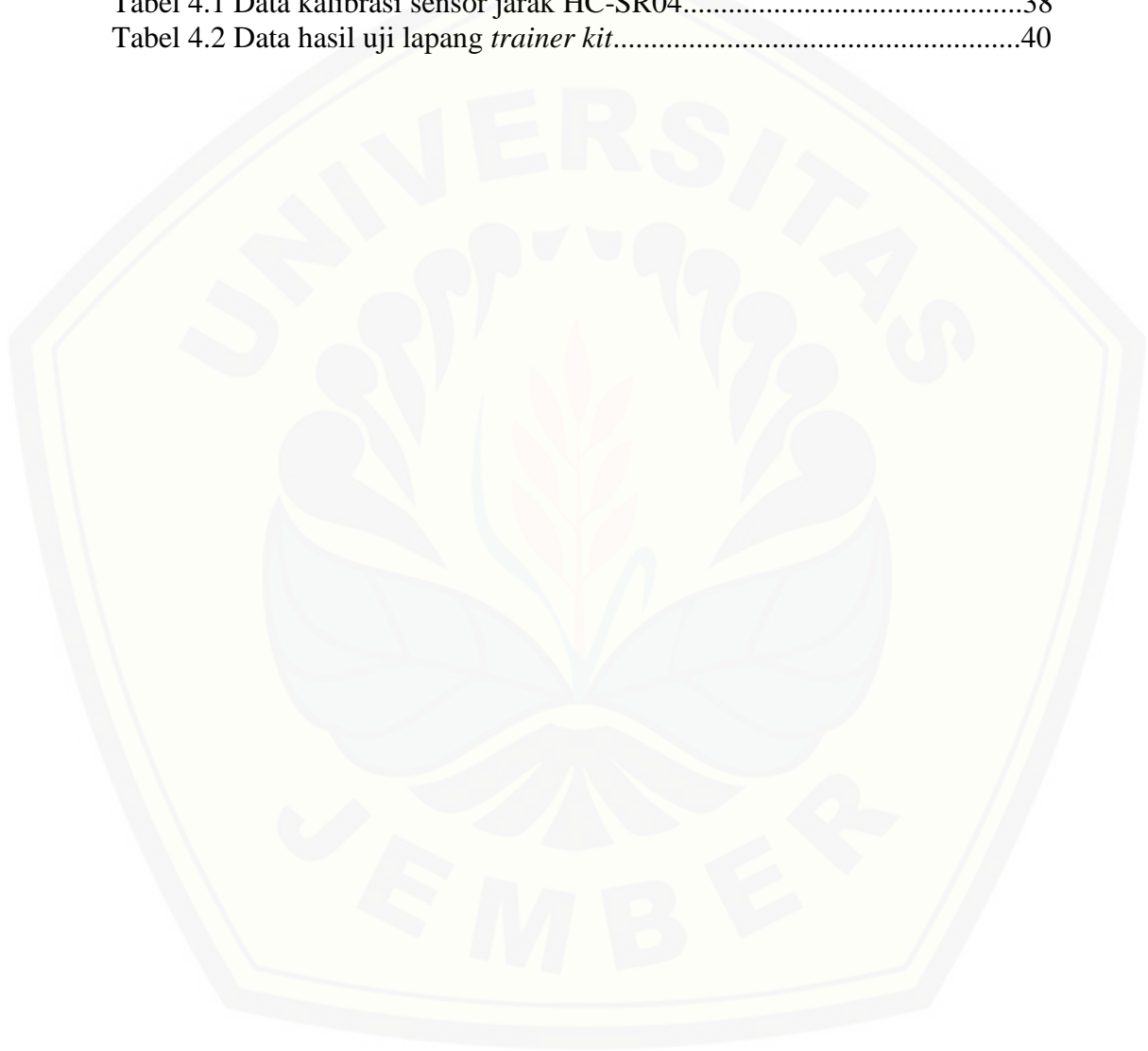
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
PRAKATA	viii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Gelombang	6
2.1.1 Gelombang Tali.....	7
2.1.2 Faktor yang mempengaruhi cepat rambat gelombang tali	8
2.1.3 Cepat rambat gelombang tali	9
2.2 Jenis Bahan Tali	10
2.3 Percobaan Melde	12
2.4 Trainer Kit	13
2.5 Arduino UNO	14
2.6 Mikrokontroler ATmega 328	16
2.7 Sensor Jarak (Ultrasonik HC-SR04)	16
2.8 Penelitian Yang Relevan	18

2.9	Desain Nieveen	19
BAB 3.	METODOLOGI PENELITIAN	21
3.1	Jenis dan Desain Penelitian	21
3.1.1	Jenis penelitian.....	21
3.1.2	Desain penelitian.....	21
3.2	Tempat dan Waktu Uji Pengembangan	22
3.3	Variabel Penelitian dan Definisi Operasional Variabel.....	22
3.3.1	Variabel penelitian	22
3.3.2	Definisi operasional variabel	23
3.4	Prosedur Pengembangan	24
3.4.1	Tahap studi pendahuluan (<i>preliminary research</i>).....	24
3.4.2	Tahap perancangan (<i>Prototyping Stage</i>).....	25
3.4.3	Tahap penilaian (<i>Assessment Stage</i>)	28
3.5	Teknik Analisis Data	29
3.5.1	Tabel penyajian data	29
3.5.2	Analisis data.....	30
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1	Hasil Penelitian	32
4.1.1	Prosedur pembuatan rancang bangun <i>trainer kit</i>	34
4.1.2	Validitas prototype.....	37
4.1.3	Data uji coba lapang <i>trainer kit</i>	39
4.2	Pembahasan	42
BAB 5.	PENUTUP	47
5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran.....	48
DAFTAR PUSTAKA	49	
LAMPIRAN.....	46	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Tahapan pengembangan prototyping.....	20
Tabel 3.1 Penyajian data kalibrasi sensor ultrasonik HC-SR04.....	29
Tabel 3.2 Penyajian data hasil ukur trainer kit rancangan.....	29
Tabel 4.1 Data kalibrasi sensor jarak HC-SR04.....	38
Tabel 4.2 Data hasil uji lapang <i>trainer kit</i>	40

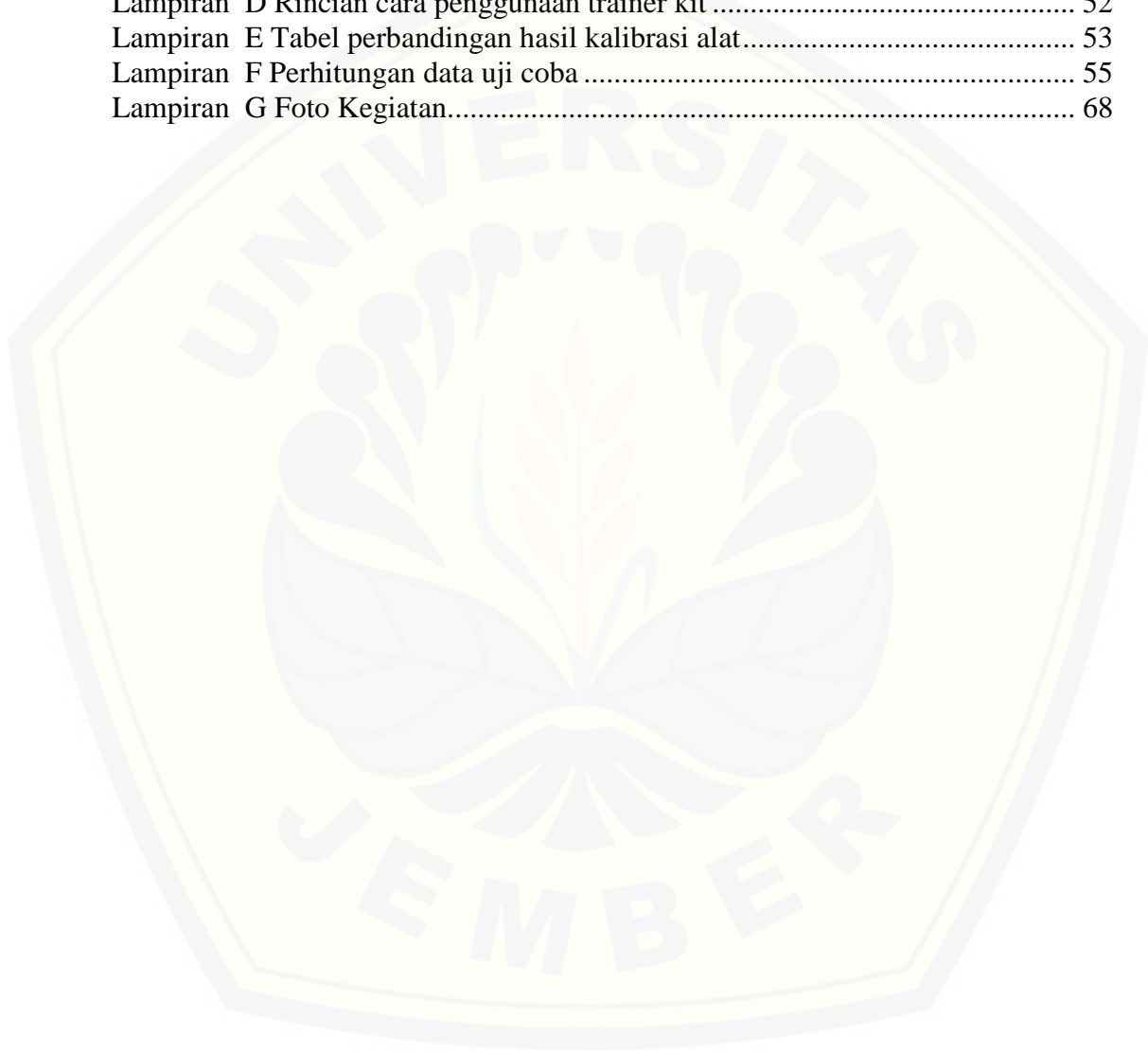


DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 (a) Gelombang Elektromagnetik, (b) Gelombang Mekanik , (c) Gelombang Materi	7
Gambar 2.2 Gelombang Pada Tali.....	7
Gambar 2.3 Gelombang yang terbentuk pada Percobaan Melde.....	12
Gambar 2.4 Tampilan muka software IDE Arduino.....	14
Gambar 2.5 Arduino UNO	15
Gambar 2.6 Konfigurasi pin ATmega 328 pada Arduino	16
Gambar 2.7 Sensor ultrasonik HC-SR04	17
Gambar 3.1 Bagan modifikasi model pengembangan Nieveen	24
Gambar 3.2 Rancang Bangun Trainer kit	26
Gambar 3.3 Skema rangkaian sistem sensor trainer kit di lengkapi sensor sensor jarak HC-SR04 dan LCD LM016L (16x2).....	26
Gambar 3.4 Desain blok perancangan alat.....	27
Gambar 3.5 Flowchart sistem alat.....	27
Gambar 3.6 Grafik pengaruh jenis bahan tali terhadap cepat rambat gelombang	29
Gambar 4.1 Trainer Kit rancangan peneliti	33
Gambar 4.2 Rangkaian Arduino UNO dan sensor.....	34
Gambar 4.3 Proses kalibrasi sensor HC-SR04.....	37
Gambar 4.4 Grafik regresi linier data kalibrasi sensor jarak HC-SR04.....	39
Gambar 4.5 Uji coba lapang trainer kit.....	40

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A Matrik Penelitian	46
Lampiran B Langkah-Langkah Perakitan Trainer Kit	48
Lampiran C Kode Program IDE Arduino	51
Lampiran D Rincian cara penggunaan trainer kit	52
Lampiran E Tabel perbandingan hasil kalibrasi alat.....	53
Lampiran F Perhitungan data uji coba	55
Lampiran G Foto Kegiatan.....	68



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gerak gelombang dapat disebut sebagai perpindahan energi dan momentum dari satu titik di dalam ruang ke titik lain tanpa pemindahan materi (Tipler,1998:471). Sedangkan menurut Giancoli (2001) gelombang didefinisikan sebagai getaran yang merambat pada suatu medium atau tanpa medium tetapi bagian mediumnya tidak ikut serta mengalami perambatan. Sumber terbentuknya suatu gelombang adalah adanya getaran. Getaran tersebut akan merambat dan membentuk suatu gelombang yang memiliki kecepatan rambat gelombang. Kecepatan gelombang bergantung medium gelombang tersebut merambat. Berdasarkan pernyataan tersebut, gelombang merupakan suatu getaran yang merambat dan memiliki kecepatan yang bergantung pada medium rambatnya.

Peristiwa gelombang tali merupakan salah satu fenomena yang dapat diamati melalui indra penglihatan, tetapi dalam pengamatannya membutuhkan ketelitian. Salah satu yang dapat diamati adalah jumlah gelombangnya. Dari jumlah gelombang tersebut dapat diperoleh nilai frekuensi dan periode gelombang serta gaya tegang tali. Gaya tegang tali diperoleh dari massa beban yang ada pada ujung tali dengan percepatan gaya gravitasi bumi. Untuk mempermudah dalam pengamatan dan penghitungan cepat rambat gelombang tali dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat mikrokontroler Arduino UNO agar data yang diperoleh lebih valid dan teliti.

Pada kegiatan praktikum Fisika Dasar tentang percobaan Melde yang diadakan di Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Jember masih menggunakan alat praktikum Melde sederhana. Tetapi pada praktikum tersebut sulit untuk menentukan panjang gelombang tali karena gerakan tali yang sangat cepat, sehingga sulit menentukan simpulnya. Selain itu, pada praktikum tersebut hanya menggunakan satu jenis bahan tali saja, yang dirubah hanya massa beban yang digantung pada ujung tali. Hal itu hanya menjelaskan bahwa perubahan massa beban yang digantung pada ujung tali tersebut dapat mempengaruhi gaya

tegang tali (F) serta cepat rambat gelombang tali (v), tetapi belum menjelaskan bahwa rapat massa tali juga mempengaruhi cepat rambat gelombang tali. Sedangkan pada teori gelombang tali berdasarkan Giancoli (2013) disebutkan bahwa faktor yang dapat mempengaruhi cepat rambat gelombang tali adalah gaya tegang tali (F) dan rapat massa tali (μ). Rapat massa tali diperoleh dari massa tali dibagi dengan panjang tali. Jika jenis bahan talinya berbeda, maka rapat massa tali juga berbeda. Oleh karena itu, diperlukan sebuah *trainer kit* atau alat peraga yang mampu menjelaskan pengaruh tersebut berupa alat bantu berbasis mikrokontroler Arduino UNO.

Media pembelajaran fisika saat ini sangat bervariasi salah satunya menggunakan alat peraga atau alat praktikum. Alat peraga yang digunakan juga semakin berkembang selaras dengan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi (IPTEK) yang semakin maju. Alat peraga dalam pembelajaran fisika memungkinkan menjadi salah satu alternatif untuk meningkatkan kualitas dalam pembelajaran. Alat praktikum dapat menunjang motivasi untuk belajar, khususnya pembelajaran fisika (Prabowo dan Sucahyo, 2018:165). Menurut Danim (2011) media pembelajaran berbasis teknologi dapat membuat pembelajaran lebih powerful dan komunikasi antar individu yang ditunjang oleh teknologi dapat memberi nilai tambah dalam kemampuan berkomunikasi. Penggunaan media pembelajaran dapat berfungsi sebagai alat bantu untuk mewujudkan situasi belajar yang aktif, efektif dan menyenangkan.

Menurut Prastyo dan Yundra (2018) disebutkan alat peraga simulasi (*trainer*) adalah salah satu media pembelajaran yang dapat digunakan dalam proses pembelajaran. *Trainer* yaitu suatu alat berupa simulasi yang terdiri dari beberapa komponen untuk mempermudah simulasi berupa fisik. Sehingga *trainer kit* atau alat peraga merupakan sesuatu yang dapat digunakan dan dimanfaatkan untuk menjelaskan konsep pembelajaran dari materi yang bersifat abstrak menjadi nyata dan jelas sehingga dapat merangsang pikiran, perasaan, perhatian serta minat belajar siswa agar terjadi proses pembelajaran yang baik. Alasan digunakannya mikrokontroler Arduino UNO karena untuk menjelaskan pengaruh jenis bahan tali terhadap cepat rambat gelombang tali perlu menggunakan sensor.

Penggunaan mikrokontroler Arduino UNO dipilih karena mudah pengoperasiannya dan dapat menjalankan sensor secara bersamaan sehingga lebih efisien.

Sudah ada beberapa penelitian yang dilakukan untuk mengembangkan alat peraga untuk mengetahui cepat rambat gelombang tali. Salah satunya dilakukan oleh Agustianti et al. (2015) tentang pengembangan alat praktikum Melde sebagai media pembelajaran fisika SMA yang diperoleh dengan menambahkan pengatur frekuensi dan dapat menampilkan grafik pada komputer. Grafik yang ditampilkan berupa gelombang yang terbentuk dari alat praktikum Melde yang nilai frekuensinya dapat diubah-ubah. Selain Agustianti et al. (2015), penelitian lain juga dilakukan oleh Khomsatun dan Prabowo (2019) tentang pengembangan alat peraga hukum Melde untuk menentukan cepat rambat gelombang sebagai media pembelajaran fisika pada materi gelombang stasioner yang diperoleh bahwa alat peraga hukum Melde yang dikembangkan memiliki persentase kelayakan 86% dan memiliki kriteria sangat layak digunakan sebagai media pembelajaran gelombang stasioner. Namun alat hasil pengembangan baik oleh Agustianti et al. (2015) maupun Khomsatun dan Prabowo (2019) belum menunjukkan apakah jenis bahan tali yang digunakan dapat mempengaruhi cepat rambat gelombang talinya.

Berdasarkan uraian tentang gelombang tali dan hasil penelitian sebelumnya, maka peneliti tertarik melakukan sebuah penelitian mengenai rancang bangun alat peraga atau *trainer kit* yang dapat menjelaskan atau menunjukkan pengaruh jenis bahan tali terhadap kecepatan gelombang tali. Oleh karena itu, peneliti membuat judul “Desain Rancang Bangun *Trainer Kit* Untuk Menentukan Pengaruh Jenis Bahan Tali Terhadap Cepat Rambat Gelombang Tali”. Diharapkan dengan adanya desain rancang bangun tersebut maka dapat mempermudah dalam melakukan percobaan dan perhitungan cepat rambat gelombang tali serta hasil yang diperoleh lebih valid dan teliti.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang diperoleh rumusan masalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana validitas rancang bangun *trainer kit* untuk menentukan pengaruh jenis bahan tali terhadap cepat rambat gelombang tali ?
- b. Bagaimana pengaruh rapat massa dari jenis bahan tali nilon, tali rafia, tali polyester, tali rami dan tali satin cina terhadap cepat rambat gelombang tali?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun maka penelitian ini bertujuan untuk:

- a. Mendeskripsikan validitas rancang bangun *trainer kit* untuk menentukan pengaruh jenis bahan tali terhadap cepat rambat gelombang tali.
- b. Menguji pengaruh rapat massa dari jenis bahan tali nilon, tali polyester, tali cina, tali rafia dan tali rami terhadap cepat rambat gelombang tali.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Pemilihan bahan tali berdasarkan banyaknya masyarakat yang menggunakan bahan tali dan massa dari jenis bahan tali tersebut yang berbeda-beda.
- b. Penelitian hanya dilakukan pada percobaan Melde.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

- a. Bagi peneliti, sebagai acuan dalam mengembangkan penelitian yang berhubungan dengan pengembangan *trainer kit* sebagai alat belajar siswa.

- b. Bagi mahasiswa, sebagai pengembangan alat praktikum Fisika Dasar II pada materi gelombang tali atau percobaan Melde.

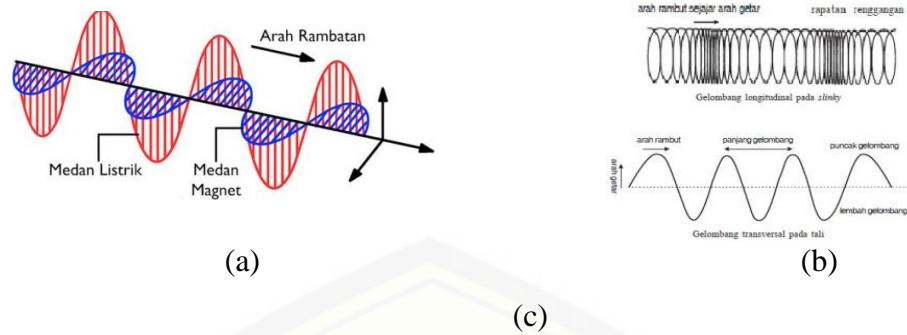


BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang

Gerak gelombang dapat disebut sebagai perpindahan energi dan momentum dari satu titik dalam ruang ke titik lain tanpa menggerakkan materi (Tipler, 1998: 471). Gelombang juga dapat didefinisikan sebagai getaran yang merambat pada medium atau tanpa medium tetapi bagian dari medium itu tidak ikut serta dalam perambatan. Sumber pembentukan gelombang adalah getaran. Kecepatan gerak gelombang tergantung pada medium yang dirambat gelombang tersebut (Giancoli, 2001: 383). Oleh karena itu, gelombang merupakan getaran yang merambat dan memiliki kecepatan yang bergantung pada medium perambatannya.

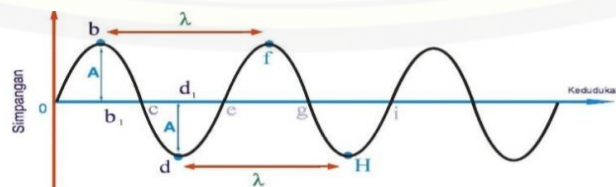
Menurut Halliday (2010), gelombang dapat terjadi karena adanya pergeseran atau osilasi. Terdapat tiga jenis osilasi yakni osilasi kedudukan, osilasi rapatan atau regangan, dan osilasi medan elektromagnetik. Pergeseran atau getaran ini akan berjalan melalui medium rambat. Gelombang terdiri dari dua energi, yaitu energi kinetik dan energi potensial dari medium. Perambatan energi terjadi ketika gelombang melalui suatu medium ke medium yang lain. Pengelompokan gelombang dibagi menjadi tiga golongan tipe utama yaitu gelombang mekanik, gelombang elektromagnetik, dan gelombang materi. Gelombang mekanik merupakan gelombang yang paling sering kita jumpai hampir setiap hari, contohnya yaitu gelombang riak air, gelombang suara, dan lain-lain. Gelombang elektromagnetik yaitu gelombang yang dapat merambat melalui ruang hampa, misalnya gelombang radio dan gelombang radar. Sedangkan gelombang materi yaitu gelombang yang berkaitan dengan elektron, proton dan partikel dasar lainnya. Gambar dari gelombang mekanik, gelombang elektromagnetik, dan gelombang materi dapat dilihat pada Gambar 2.1 di bawah ini :



Gambar 2.1 (a) Gelombang Elektromagnetik, (b) Gelombang Mekanik , (c) Gelombang Materi (Sumber : fisikazone.com)

2.1.1 Gelombang Tali

Gelombang yang dikirim sepanjang tali yang diregangkan dan kencang adalah gelombang mekanik yang paling sederhana. Jika satu ujung tali terentang dan bergerak naik turun, gelombang dalam bentuk pulsa bergerak di sepanjang tali. Gelombang tali merupakan gelombang transversal. Gelombang transversal dapat dipelajari dengan memantau bentuk gelombang saat bergerak ke kanan dan gerakan elemen tali berosilasi naik dan turun saat gelombang melewatinya (Haliday, 2011 : 413). Gambar gelombang pada tali ditunjukkan pada Gambar 2.2 berikut ini.



Gambar 2.2 Gelombang Pada Tali (Sumber : Haliday, 2011 : 413).

Kecepatan perambatan gelombang transversal dalam tali dapat diketahui dengan menggunakan hukum mekanika. Faktor – faktor yang mempengaruhi kecepatan rambat gelombang berdasarkan Halpern (1998:5) yaitu :

1. Semakin cepat suatu molekul merespons perubahan posisi molekul yang berdekatan, semakin cepat kecepatan rambat gelombangnya.
2. Gaya tegang tali, semakin besar tegangan tali maka semakin kuat kekuatan luar, sehingga kecepatan rambatnya semakin cepat juga.
3. Semakin besar massa tali maka semakin susah untuk bergerak naik turun.

2.1.2 Faktor yang mempengaruhi cepat rambat gelombang tali

Terdapat dua jenis kecepatan gelombang yaitu kecepatan gelombang bolak balik di sekitar titik setimbang, dan kecepatan gelombang untuk menjalar. Kecepatan gelombang biasanya dipengaruhi oleh medium yang digunakan. Gelombang tali merambat dengan tali sebagai medium rambatnya. Oleh karena itu, cepat rambat gelombang tali dipengaruhi oleh tegangan tali dan rapat massa talinya (Ishaq, 2007). Berdasarkan Halpern (1998:5) kecepatan perambatan gelombang transversal dalam tali dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya sebagai berikut :

1. Semakin cepat suatu molekul merespons perubahan posisi molekul yang berdekatan, semakin cepat kecepatan rambat gelombangnya.
2. Semakin besar gaya tegang tali semakin kuat kekuatan luar, sehingga kecepatan rambat gelombangnya semakin cepat.
3. Semakin besar tali semakin susah untuk bergerak naik turun.

Berdasarkan Giancoli (2001: 383) setiap benda yang bergerak memiliki kecepatan. Kecepatan rambat gelombang tergantung pada sifat medium gelombang tersebut merambat. Cepat rambat gelombang tali yang terentang maupun pada dawai bergantung pada tegangan tali dan rapat massa tali. Kecepatan inilah yang mempengaruhi frekuensi pada gelombang. Seperti

dituliskan Jumini (2015) bahwa faktor yang mempengaruhi cepat rambat gelombang diantaranya, yaitu massa beban, panjang tali, dan rapat massa tali.

2.1.3 Cepat rambat gelombang tali

Jika gelombang yang terbatas pada ruang seperti gelombang tali pada percobaan Melde, terdapat refleksi di kedua ujungnya sehingga ada gelombang yang bergerak pada kedua arah. Gelombang bergabung sesuai dengan prinsip superposisi. Pada suatu tali dengan nilai frekuensi tertentu yang membentuk superposisi pola getaran stasioner disebut gelombang berdiri (Haliday, 2007 : 380).

Cepat rambat gelombang transversal pada tali yang terbentang tergantung pada ketegangan tali (F_T) dan rapat massa tali (μ). Maka dapat dituliskan rapat massa tali menggunakan persamaan berikut :

$$\mu = \frac{m}{l} \quad (2.1)$$

Huruf m adalah massa dari tali dan l adalah panjang tali. Untuk menentukan cepat rambat gelombang tali berdasarkan Giancoli (2001 : 386) menggunakan persamaan berikut :

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}} \text{ atau } v = \sqrt{\frac{F_T}{\frac{m_t}{l}}} \text{ atau } v = \sqrt{\frac{F_T \cdot l}{m_t}} \quad (2.2)$$

Persamaan 2.2 di atas menunjukkan bahwa cepat rambat gelombang tali bergantung pada gaya tegang tali dan rapat massa tali. Hubungan cepat rambat gelombang tali berbanding terbalik dengan rapat massa tali. Berdasarkan Jumini (2015 : 153) apabila menggunakan persamaan $v = \lambda \times f$ dan $F_T = m_b \times g$, maka dapat diperoleh :

$$\lambda \times f = \sqrt{\frac{m_b \times g \times l}{m_t}} \quad (2.3)$$

Keterangan :

v = cepat rambat gelombang (m/s^2)

F = gaya berat (N)

F_T = Gaya tegang tali (N)

l = panjang tali (m)

m_t = massa tali (kg)

λ = panjang gelombang (m)

f = frekuensi (Hz)

m_b = massa beban (kg)

g = percepatan gaya gravitasi bumi (m/s^2)

2.2 Jenis Bahan Tali

Tali merupakan suatu kumpulan benang yang digabungkan dengan tujuan agar menjadi lebih besar dan kuat sehingga dapat digunakan untuk menarik suatu beban. Ada banyak sekali jenis tali yang terbuat dari berbagai macam bahan. Bisa yang terbuat dari serat alami maupun buatan (Padukata, 2020) .

Menurut Sari (2020) tali merupakan suatu benda yang panjang dan terbuat dari berbagai macam bahan yang biasanya ada yang dipintal ada pula yang tidak dipintal. Tali terdiri dari lapisan benang yang dikepang bersama untuk menggabungkan dalam bentuk yang lebih besar dan lebih kuat. Tali memiliki beberapa fungsi salah satunya yaitu untuk mengikat suatu benda. Jenis bahan tali dibagi menjadi beberapa kelompok diantaranya yaitu tali nilon, tali polyester, tali rami, tali rafia dan tali satin cina. Tali nilon merupakan tali yang berbahan dasar dari serat nilon. Sedangkan tali polyester merupakan tali yang berbahan dasar dari serat polyester. Sementara itu tali rami merupakan tali yang berbahan dasar dari serat tumbuhan rami. Lalu tali satin cina atau bisa disebut juga tali cina merupakan gabungan dari serat polyester dan satin sehingga pada permukaan tali cina mengkilap dan licin. Kemudian tali rafia merupakan tali berbahan dasar plastik dengan kualitas tinggi yang tidak memiliki serebut seperti tali-tali yang lain. Tali tersebut banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

Tali nilon yang sering dipasarkan adalah nilon 66. Tali nilon memiliki kekuatan yang tinggi, tahan terhadap panas dan modulus elastisitas yang tinggi. Tali nilon memiliki sifat mekanis yang lebih unggul pada kekuatan tarik dan

kekuatan *impact* dan bahan tali nilon memiliki massa jenis yang kecil dengan koefisien gesek yang sangat tinggi (Sari dan Sinarep, 2011).

Serat rami merupakan salah satu serat alami yang berasal dari serat tumbuhan yang dihasilkan oleh tanaman rami. Serat rami biasanya dipintal menjadi benang yang memiliki karakter yang hampir sama dengan kapas tetapi rami lebih mengkilap, kuat dan dapat menyerap air dengan sangat baik (Sarudin *et al.*, 2019). Serat tali rami memiliki kekuatan yang tinggi namun cenderung kaku (Novarini dan Sukardan, 2015). Oleh karena itu, tali rami merupakan salah satu jenis tali yang berasal dari serat alami yang dipintal dan memiliki kekuatan yang tinggi namun cenderung kaku.

Tali rafia merupakan salah satu bahan yang tergolong dalam *polypropylene* yang berbahan plastik (*American Society for Testing and Material*, 1995). Tali rafia berbentuk pipih, tipis, licin dan tidak menyerap air. Tali jenis ini mudah didapatkan dimana saja dengan harga yang relatif murah (Fajri, 2020). Dari pernyataan tersebut tali rafia merupakan salah satu bahan tali yang terbuat dari plastik sehingga berbentuk tipis, licin dan tidak menyerap air serta dapat diperoleh dimana saja dengan harga yang relatif murah.

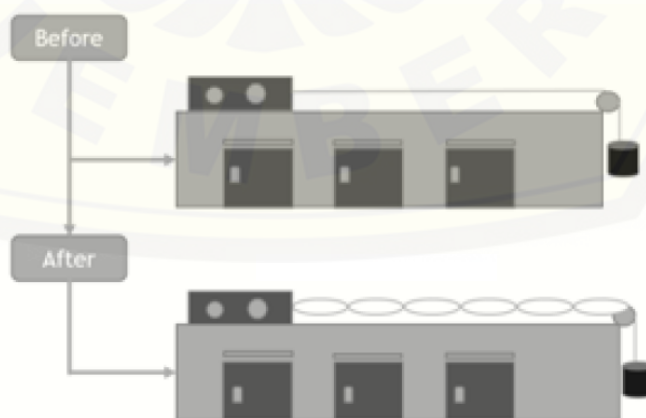
Tali polyester biasanya diproduksi dalam aneka warna yang terang. Tali jenis ini memiliki tekstur halus dan sedikit mengkilap (Ginting, 2002). Tali polyester biasa digunakan sebagai benang jahit (Erdamansyah *et al.*, 2013). Berdasarkan kedua sumber tersebut tali polyester merupakan tali yang digunakan sebagai benang jahit biasanya diproduksi dalam aneka warna yang memiliki tekstur halus dan sedikit mengkilap.

Tali satin cina merupakan tali yang terbuat dari gabungan serat polyester melalui proses tenun. Tali ini memiliki bentuk bulat dengan permukaan yang mengkilap dan licin sehingga biasa digunakan untuk makrame (Fauziana dan Suhartiningsih, 2019). Karakteristik tali ini adalah kuat dan tidak mudah rusak serta memiliki daya serap yang rendah dan mudah kering apabila terkena air (Hanik dan Russanti, 2020).

2.3 Percobaan Melde

Percobaan fisika yang membuktikan hubungan cepat rambat gelombang pada lintasan lurus disebut percobaan Melde. Contohnya gelombang tali, tegangan tali dan besaran fisik lainnya. Percobaan ini pertama kali dilakukan oleh Melde yang menemukan bahwa kecepatan rambat gelombang pada tali sebanding dengan gaya tegangan akar tali dan berbanding terbalik dengan akar per rapat massanya. Pada awalnya alat yang digunakan untuk membuktikan cepat rambat gelombang tali digunakan prinsip gitar sederhana yang disebut sonometer. Sonometer adalah sebuah alat yang terdiri dari tali atau kawat yang diikat erat ke suatu beban yang berfungsi untuk mengukur dan mengontrol tegangan tali dan kotak yang terbuat dari kayu yang berguna untuk memperkuat suara (Pramono *et al.*, 2013).

Menurut Jumini (2015) prinsip kerja dari percobaan Melde yaitu pada tali sepanjang l meter dan salah satu ujung terhubung ke *ticker timer* yang berfungsi sebagai vibrator dan ujung lainnya diikat ke beban gantung. Gelombang pertama yang dikirim oleh *timer ticker* bergetar di sepanjang tali pada jarak l dari ujung yang diikat ke beban gantung, gelombang tersebut mengalami refleksi kemudian merambat kembali ke arah *timer ticker* dan dipantulkan kembali pada *timer ticker*. Gambar gelombang yang terbentuk pada percobaan Melde ditunjukkan pada Gambar 2.3 berikut.



Gambar 2.3 Gelombang yang terbentuk pada Percobaan Melde

(Sumber : Umam *et al.*, 2020)

Tali yang terhubung dengan *ticker timer* akan bergetar ketika *power supply* dihidupkan, sehingga tali akan merambat dan membentuk gelombang transversal. Apabila *ticker timer* digeser secara perlahan maka akan muncul gelombang stasioner. Setelah itu, dapat diukur panjang gelombang (λ) dan jika frekuensinya sama dengan f maka cepat rambat gelombang dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut.

$$v = f \cdot \lambda \quad (2.4)$$

2.4 *Trainer Kit*

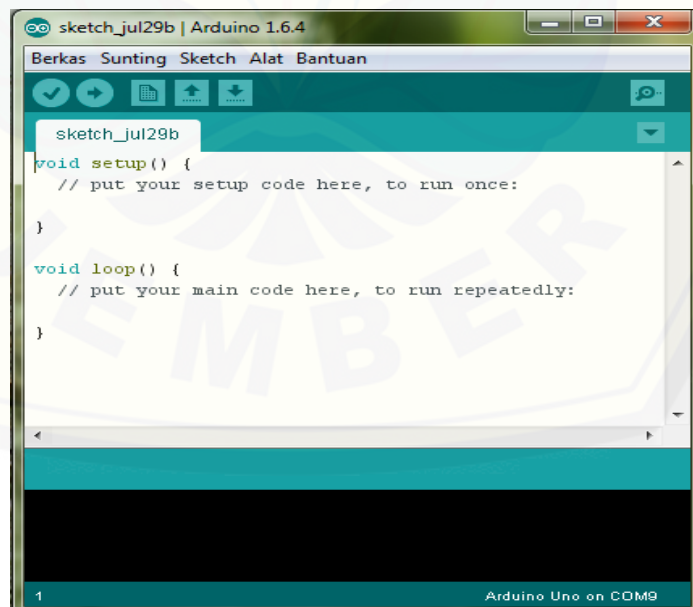
Menurut Prasetyo dan Yundra (2018) *trainer* yaitu suatu alat bantu yang berupa simulasi terdiri dari beberapa komponen untuk memudahkan simulasi fisik dan dapat digunakan untuk menjelaskan konsep pembelajaran dari materi yang abstrak menjadi nyata dan jelas sehingga dapat merangsang pemikiran, perasaan, perhatian siswa serta minat belajar siswa agar dapat terjadi proses pembelajaran yang baik. Tujuan dari penggunaan *trainer kit* ini untuk memberikan wujud yang nyata pada materi pelajaran. *Trainer kit* yang digunakan dalam proses pembelajaran bermanfaat menambahkan kegiatan belajar para siswa, menghemat waktu belajar, memberikan alasan yang wajar untuk belajar karena dapat membangkitkan minat belajar dan aktivitas siswa. Menurut Widianti (2018) *Trainer kit* dapat dirancang sesuai dengan kebutuhan pada laboratorium sehingga percobaan yang dirancang dapat lebih fokus untuk memudahkan dalam melakukan percobaan.

Trainer kit merupakan salah satu media pembelajaran praktikum yang dapat membantu mahasiswa merangkai, mengukur dan menganalisis sebuah rangkaian atau percobaan tertentu sesuai dengan karakteristik materi pelajaran. *Trainer kit* dapat membantu pelaksanaan proses pembelajaran menjadi optimal baik dari segi pelaksanaan ataupun dari segi pencapaian tujuan pembelajaran. Ketersediaan *trainer kit* yang sesuai dengan karakteristik pembelajaran dapat mempermudah

mahasiswa melaksanakan praktikum dan memahami materi pembelajaran (Yanto *et al.*, 2019).

2.5 Arduino UNO

Arduino adalah sebuah bentuk pengendali mikro *single-board* diturunkan oleh *Wiring Platform* dan memiliki sifat *open-source*. Arduino dirancang untuk mempermudah dalam menggunakan alat elektronik dalam berbagai bidang. *Hardware*-nya memiliki prosesor Atmel AVR (*Automatic Voltage Regulator*) atau Atmel ARM (*Acorn RISC Machine*). *Software* Arduino memiliki bahasa pemrograman sendiri (Renstra *et al.*, 2017). Arduino bersifat *open source* yang berarti dapat diakses oleh siapa saja dalam bereksperimen secara bebas dan gratis dalam bidang (Dinata, 2014). Arduino terdiri atas sebuah papan kontroler gabungan *hardware* dan *software* berupa *Integrated Development Environment* (IDE) yang canggih. *Software* IDE memiliki peran untuk menulis program Arduino, meng-*compile* menjadi biner dan meng-*upload* ke dalam *memory* mikrokontroler. Tampilan antar muka *software* IDE Arduino pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Tampilan muka *software* IDE Arduino

Dalam tulisan Artanto (2012) tombol pada *toolbar software* pada Arduino memiliki fungsi, diantaranya :

- a. *Verify* berfungsi untuk melihat apakah ada kesalahan pada kode program yang dibuat.
- b. *Upload* berfungsi untuk mengirim kode program ke board Arduino.
- c. *New* berfungsi untuk membuat kode program baru.
- d. *Open* berfungsi untuk membuka program yang telah ada.
- e. *Save* berfungsi untuk menyimpan program yang telah di buat sebelumnya.
- f. *Serial monitor* berfungsi sebagai penampil data yang dikirim dan diterima melalui komunikasi serial.

Arduino memiliki dua bagian yaitu perangkat keras dan perangkat lunak. Papan *input / output* adalah bagian dari perangkat keras, sedangkan bagian perangkat lunak mencakup IDE untuk menulis program Arduino, driver untuk koneksi dengan komputer, misalnya program dan *library* untuk mengembangkan program. Arduino UNO merupakan perangkat keras yang diproduksi dan dikeluarkan oleh Arduino Italy yang menggunakan mikrokontroler ATmega328.

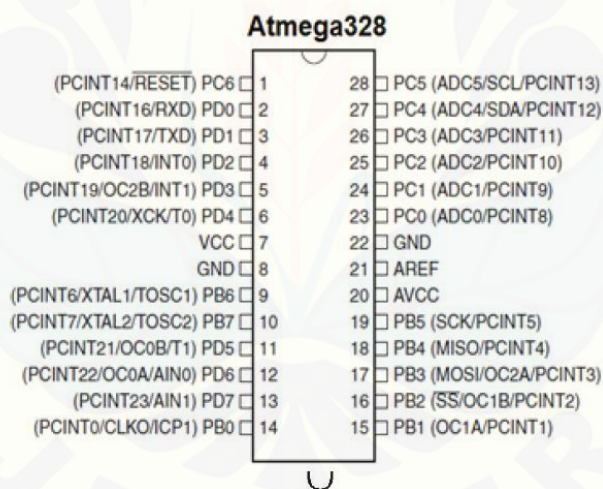
Mikrokontroler Arduino UNO memiliki 14 pin digital antara lain 6 pin yang dapat digunakan sebagai *output Pulse Width Modulation* (PWM) dan 6 pin untuk *input analog*. Menggunakan osilator 16 MHz, koneksi USB, *header ICSP* dan tombol *reset*. Berikut bentuk fisik mikrokontroler Arduino UNO pada gambar 2.5 dibawah ini.



Gambar 2 5 Arduino UNO (Sumber : Sokop *et al.*, 2016)

2.6 Mikrokontroler ATmega 328

Pada penelitian yang akan dilakukan ini menggunakan mikrokontroler ATmega 328 karena mikrokontroler Arduino UNO lebih cocok menggunakan mikrokontroler ATmega 328. Disebutkan pada *Arduino Home Page* dalam jurnal (Guntoro *et al.*, 2016) bahwa Arduino UNO merupakan mikrokontroler berbasis ATmega 328 yang memiliki 14 pin input dan output digital serta 6 pin *input* tersebut sebagai *output* PWM (*Pulse Widht Modulation*) dan 6 pin *input* analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, ICSP header, *jack power* dan tombol *reset*. Mikrokontroler dapat digunakan hanya dengan menghubungkan *board* Arduino UNO ke komputer dengan menggunakan kabel USB dan AC adaptor sebagai baterai untuk menjalankannya. Konfigurasi pin ATmega 328 terdapat pada Gambar 2.6 berikut.



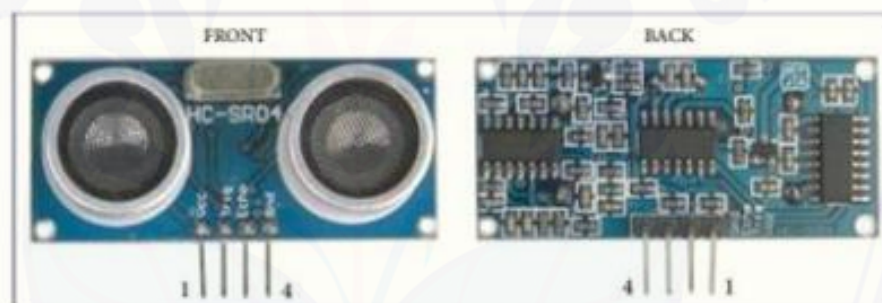
Gambar 2.6 Konfigurasi pin ATmega 328 pada Arduino (Sumber : Manikandan dan Hussain (2017))

2.7 Sensor Jarak (Ultrasonik HC-SR04)

Sensor jarak HCSR-04 merupakan salah satu jenis sensor jarak yang menggunakan gelombang ultrasonik. Dalam Renstra *et al.* (2017) disebutkan bahwa sensor ultrasonik adalah sensor yang dapat mengubah besaran fisik suara menjadi besaran listrik dan sebaliknya. Sensor ini bekerja dengan memanfaatkan

prinsip pantulan gelombang suara sehingga dapat menginterpretasikan jarak suatu benda. Gelombang yang dipancarkan berupa gelombang suara ultrasonik dengan frekuensi tertentu. Sensor ini akan menembakkan gelombang ultrasonik pada benda yang dituju, lalu benda akan memantulkannya kembali. Sensor akan menangkap kembali gelombang yang dipantulkan oleh benda. Gelombang pantulan yang ditangkap sensor akan dihitung selisih waktu dari gelombang yang ditembakkan.

Menurut Yandra et al. (2016) disebutkan bahwa sensor jarak HC-SR04 dapat bekerja pada tegangan 5 V dengan kuat arus listrik 15 mA. Jarak yang dapat diukur oleh sensor ini yaitu antara 2 cm sampai dengan 300 cm. Gambar 2.7 di bawah ini merupakan bentuk fisik sensor ultrasonik HC-SR04.



Gambar 2.7 Sensor ultrasonik HC-SR04 (Sumber : Yudha dan Sani (2017))

Dapat dilihat pada gambar 2.6 bahwa sensor ultrasonik memiliki 4 pin yaitu *Vcc*, *Trigger pin*, *Echo pin*, dan *GND*. Cara kerja sensor jarak ini adalah sebagai berikut :

1. Sensor mendeteksi jarak yang dituju suatu objek yang dengan memancarkan gelombang ultrasonik (40 KHz) selama t_{burst} (200 μ s) kemudian mendeteksi pantulan gelombang ultrasonik tersebut.
2. Sensor akan memancarkan gelombang ultrasonik sesuai dengan kontrol dari mikrokontroler pengendali yang digunakan memicu pulsa dengan waktu keluaran minimal 2 μ s dan merambat melalui

udara dengan kecepatan 344 m/s pada benda dan kemudian dipantulkan kembali ke sensor.

3. Lama waktu tempuh gelombang menyesuaikan dengan lebar pulsa t_{in} untuk dua kali ukur jarak dengan objek.

2.8 Penelitian Yang Relevan

Judul penelitian yang akan dilakukan memiliki kaitan dan hubungan dengan beberapa penelitian yang dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya, antara lain :

- 1 Penelitian Jumini (2015) yang berjudul “Pengaruh cepat rambat gelombang terhadap frekuensi pada tali” menyatakan bahwa kecepatan gelombang pada tali yang diregangkan dan gelombang pada tali yang bergantung pada tegangan tali dan rapat massa tali. Kecepatan ini akan mempengaruhi frekuensi pada tali yang digunakan.
- 2 Penelitian Agustianti et al. (2015) yang berjudul “Pengembangan alat praktikum Melde sebagai media pembelajaran fisika SMA” menjelaskan bahwa siswa dapat terlibat secara langsung dalam proses belajar agar memperoleh kemampuan yang bertahan lebih lama. Salah satu metode untuk memberikan pengalaman secara langsung adalah melalui kegiatan praktikum di laboratorium. Tersedianya alat bantu praktikum dapat memberikan kemudahan bagi siswa untuk mempelajari materi pelajaran. Sehingga perlu adanya optimalisasi penggunaan alat praktikum dalam pembelajaran fisika.
- 3 Penelitian Prasetyo dan Yundra (2018) yang berjudul “Pengembangan *trainer kit* berbasis ATMega 16 pada mata pelajaran teknik pemrograman di SMKN 1 Arosbaya” menerangkan bahwa alat peraga simulasi (*trainer*) adalah salah satu media pembelajaran yang dapat digunakan dalam proses pembelajaran. *Trainer* yaitu suatu alat berupa simulasi yang terdiri dari beberapa komponen untuk mempermudah simulasi berupa fisik. Sehingga *trainer kit* atau alat peraga merupakan sesuatu yang dapat dimanfaatkan

untuk menjelaskan suatu konsep pembelajaran dari materi yang bersifat abstrak menjadi nyata dan jelas sehingga dapat merangsang pikiran, perasaan, perhatian serta minat belajar siswa agar terjadi proses pembelajaran yang baik.

4. Penelitian Khomsatun dan Prabowo (2019) yang berjudul “Pengembangan alat peraga hukum Melde untuk menentukan cepat rambat gelombang sebagai media pembelajaran fisika pada materi gelombang stasioner” menerangkan bahwa percobaan Melde pada materi gelombang stasioner dapat dijelaskan dengan menggunakan alat peraga. Gelombang stasioner merupakan salah satu konsep abstrak dalam fisika. Siswa hanya bisa membayangkan bagaimana konsep dari gelombang stasioner tanpa terlibat langsung dalam sebuah praktikum.

2.9 Desain Nieveen

Menurut Nieveen, McKenney & Akker (2006) langkah dalam studi pengembangan meliputi beberapa tahap yang harus dilalui diantaranya adalah (1) *preliminary research*, (2) *prototyping stage*, (3) *assesment stage*, (4) *systematic reflection and documentation*. Ketiga tahap *prototyping* pengembangan tersebut dijelaskan sebagai berikut.

a. *Preliminary research* (Study Pendahuluan)

Pada tahap penelitian pendahuluan ini dilakukan analisis masalah dan pengembangan analisis konseptual dilakukan berdasarkan studi literatur dan penelitian sebelumnya. Hasil studi pendahuluan ini akan menjadi desain pertama dalam tahap pengembangan.

b. *Prototyping stage* (Tahap *Prototyping*)

Pada tahap ini yaitu merancang *prototype* lalu diujicobakan, dievaluasi dan direvisi. Uji coba pada tahap ini dimaksudkan untuk uji coba oleh ahli untuk selanjutnya melakukan evaluasi. Evaluasi yang dilakukan adalah evaluasi kevalidan dan kepraktisan dari *prototype*.

c. *Assessment Stage* (Tahap Penilaian)

Tahap ini adalah tahap penilaian dan tahap revisi yang selanjutnya diuji cobakan dalam pembelajaran untuk dinilai kepraktisan dari penggunaan alat tersebut beserta keefektifannya.

d. *Systematic reflection and documentation* (Refleksi dan Dokumentasi)

Tahap refleksi dan dokumentasi merupakan kegiatan yang berulang pada tahap yang ada dalam proses pengembangan ini. Secara tidak langsung tahap yang keempat ini telah berada pada ketiga bagian tahap pengembangan sebelumnya. Sehingga tahap ini otomatis sudah masuk kedalam ketiga tahap sehingga tidak perlu dilakukan secara terpisah.

Dengan demikian tahapan yang ada pada model pengembangan *prototyping* terdiri atas *preliminary stage*, *prototyping stage* dan *assessment stage*. Sependapat dengan tahap - tahap tersebut, Plomp (2010) menekankan kriteria penilaian pada setiap tahap pengembangan *prototyping*, yang dijelaskan Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Tahapan pengembangan *prototyping*

Tahap	Kriteria	Deskripsi Singkat Kegiatan
<i>Preliminary Stage</i>	Terutama menekankan pada <i>content validity</i> .	Mengkaji literatur dari penelitian-penelitian yang terkait
<i>Prototyping Stage</i>	Menekankan pada consistency (<i>construct validity</i>) dan <i>practicality</i>	Mengembangkan <i>prototype</i> , diujicoba dan dievaluasi.
<i>Assessment stage</i>	<i>Practicality</i> dan <i>efficiency</i>	Mengevaluasi apakah pengguna dapat menggunakan produk dalam pembelajaran (kepraktisan) dan mengevaluasi apakah produk efektif.

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis dan Desain Penelitian

Dalam penelitian yang akan dilakukan terdapat jenis dan desain penelitian. Jenis penelitian yang akan digunakan adalah penelitian pengembangan dan desain penelitian yang akan digunakan adalah desain Nieveen.

3.1.1 Jenis penelitian

Jenis penelitian yang akan digunakan adalah penelitian pengembangan (*Research and Development*) yang bertujuan untuk mengembangkan *trainer kit* sebagai produk *trainer kit* yang valid dan dapat digunakan sebagai alat yang memiliki standar laboratorium. Metode penelitian dan pengembangan (*Research and Development*) yaitu sebuah metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan sebuah produk, dan menguji keefektifan produk tersebut (Sugiyono, 2013).

3.1.2 Desain penelitian

Dalam penelitian ini menggunakan prosedur penelitian dan pengembangan menurut Nieveen (2006) tahapanya adalah sebagai berikut: (1) *Preliminary research*, (2) *Prototyping stage*, dan (3) *Assessment stage (summative evaluation)*. Desain yang digunakan pada tahap penilaian atau *assessment (Assessment stage)* terhadap produk yang akan dikembangkan adalah menggunakan regresi linier. Regresi linier ini digunakan untuk mengetahui bagaimana presisi atau keakuratan dari alat peraga (*trainer kit*) yang dikembangkan.

3.2 Tempat dan Waktu Uji Pengembangan

Penelitian yang berjudul “Desain Rancang Bangun *Trainer Kit* Untuk Menentukan Pengaruh Jenis Bahan Tali Terhadap Cepat Rambat Gelombang Tali” akan dilakukan di Laboratorium Fisika Dasar Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember. Waktu penelitian akan dilaksanakan pada semester ganjil tahun ajaran 2020/2021.

3.3 Variabel Penelitian dan Definisi Operasional Variabel

Variabel yang digunakan beserta definisi operasionalnya dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

3.3.1 Variabel penelitian

- a. Variabel bebas adalah variabel yang menjadi sebab atau memberikan pengaruh mengenai perubahan variabel lain (Sugiyono, 2013). Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini yaitu :
 1. Jenis bahan tali
 2. Rapat massa tali (μ)
- b. Variabel kontrol adalah variabel yang dibuat konstan atau dikendalikan (Sugiyono, 2013). Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah:
 1. Gaya tegang tali.
 2. *Trainer kit* hasil rancangan peneliti.
 3. Massa beban.
 4. Panjang tali.
- c. Variabel terikat adalah variabel yang timbul akibat adanya pengaruh dari variabel bebas atau variabel yang menjadi akibat adanya variabel bebas (Sugiyono, 2013). Variabel terikat dalam penelitian ini adalah cepat rambat gelombang tali.

3.3.2 Definisi operasional variabel

Definisi operasional variabel digunakan untuk memberikan suatu gambaran dari variabel-variabel yang akan diukur dan bagaimana cara mengukurnya. Untuk menghindari perbedaan persepsi dalam penelitian ini, maka diperlukan adanya penjelasan dari definisi operasional variabel. Penjelasan dari variabel-variabel tersebut antara lain:

a. Cepat rambat gelombang tali

Cepat rambat gelombang tali dalam penelitian ini diperoleh dari perhitungan data hasil pengukuran. Data yang diperoleh dan dihitung adalah gaya tegangan tali dan rapat massa tali.

b. Gaya tegangan tali

Gaya tegangan tali diperoleh dari perhitungan massa beban pada ujung tali dan percepatan gaya gravitasi bumi. Data yang diperoleh berupa gaya tegangan tali dengan satuan newton (N).

c. *Trainer kit*

Penelitian ini menggunakan alat yaitu *trainer kit* hasil rancangan peneliti. Sebelum digunakan, *trainer kit* diuji keakuratannya dengan membandingkan data hasil pengukuran dengan alat ukur panjang yaitu meteran dan dilakukan validasi alat dengan analisis regresi.

d. Jenis bahan tali

Jenis bahan tali yang digunakan yaitu tali nilon, tali polyester, tali satin cina, tali rafia, dan tali rami. Penggunaan jenis bahan tali tersebut karena rapat massa tali (μ) pada bahan tali nilon, tali polyester, tali satin cina, tali rafia, dan tali rami berbeda. Selain itu, juga berdasarkan pada elastisitas dari bahan baku tali yang digunakan. Elastisitas dari tali dengan jenis bahan yang telah disebutkan hampir mendekati sama. Jenis bahan tali ini ditetapkan untuk memperoleh rapat massa tali (μ).

e. Panjang tali

Panjang tali diukur menggunakan satuan panjang yang telah diukur oleh meteran. Panjang tali yang digunakan pada masing – masing jenis bahan tali adalah sama yaitu 70 cm.

f. Panjang gelombang tali

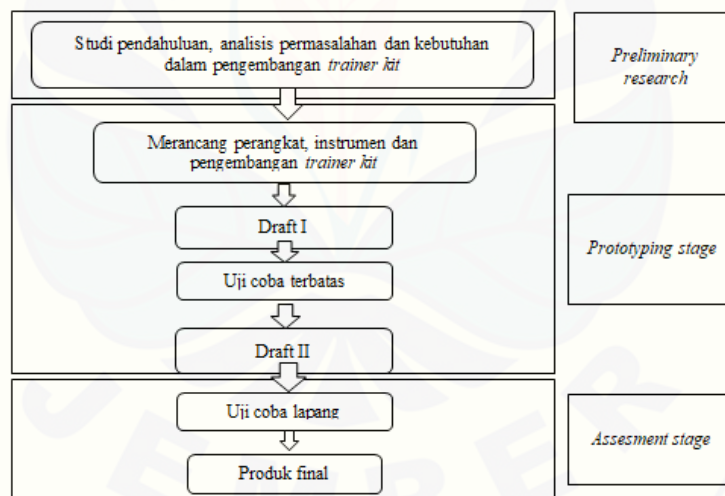
Panjang gelombang tali diukur dari simpul bukit ke simpul lembah dengan menggeser sensor jarak HC-SR04 dan pembatasnya.

g. Rapat massa tali

Rapat massa tali merupakan nilai hasil pembagian massa tali dengan panjang tali atau biasa disebut massa per satuan panjang tali (kg/m)

3.4 Prosedur Pengembangan

Pada penelitian pengembangan *trainer kit* ini menggunakan prosedur pengembangan menurut Nieveen (2006) yang terdiri dari :1) *Preliminary research*, 2) *Prototyping stage*, dan 3) *Assesment stage (summative evaluation)*. Secara sistematis model penelitian pengembangan Nieveen ditunjukkan pada Gambar 3.1 sebagai berikut.



Gambar 3.1 Bagan modifikasi model pengembangan Nieveen

3.4.1 Tahap studi pendahuluan (*preliminary research*)

Pada tahap studi pendahuluan ini bertujuan untuk mendapatkan gambaran awal terkait dengan pelaksanaan penelitian. Pada tahap ini peneliti melakukan studi pustaka yang dilanjutkan dengan menganalisis masalah dan kebutuhan

dalam pengembangan *trainer kit*. Pada tahap ini peneliti menghimpun kajian teori dari berbagai hasil penelitian yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan. Selanjutnya dilakukan pengembangan *trainer kit* tentang pengaruh jenis bahan tali terhadap gelombang tali.

3.4.2 Tahap perancangan (*Prototyping Stage*)

Tahap perancangan pada penelitian ini terdiri dari beberapa persiapan diantaranya :

a. Alat dan Bahan

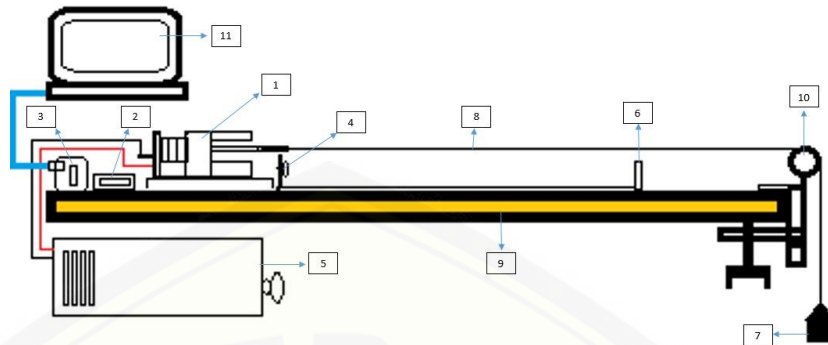
Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian Desain Rancang Bangun *Trainer Kit* Untuk Menentukan Pengaruh Jenis Bahan Tali Terhadap Cepat Rambat Gelombang Tali adalah sebagai berikut :

- 1) *Ticker Timer*
- 2) *Power Supply*
- 3) Tali
- 4) Katrol
- 5) Beban
- 6) Kayu
- 7) Arduino UNO
- 8) Sensor Jarak HC-SR04
- 9) Kabel port USB dan kabel *jumper female to male*
- 10) Laptop
- 11) LCD LM016L (16x2)
- 12) *I2C Interface LCD 16x2*

b. Desain produk

Dalam penelitian ini desain *trainer kit* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.2 berikut.

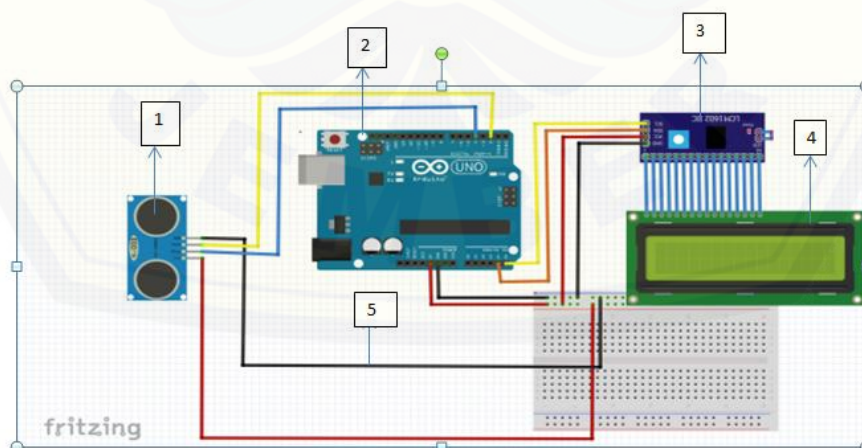
1) Rancang bangun alat



Keterangan : Gambar 3.2 Rancang Bangun *Trainer kit*

1. *Vibrator / ticker timer*
2. LCD LM016L (16x2) dan I2C *Interface* LCD sebagai output panjang gelombang
3. Arduino UNO sebagai mikrokontroler yang digunakan untuk memberi perintah pada sensor.
4. Sensor jarak HC-SR04 sebagai pendeteksi panjang gelombang tali.
5. *Power Supply* sebagai sumber tegangan
6. Batas sensor sebagai batas ukur dari sensor ultrasonik.
7. Beban gantung
8. Tali sebagai medium rambat gelombang
9. Papan percobaan
10. Katrol
11. Laptop

2) Rangkaian sistem sensor *trainer kit* ditunjukkan pada Gambar 3.3 berikut.



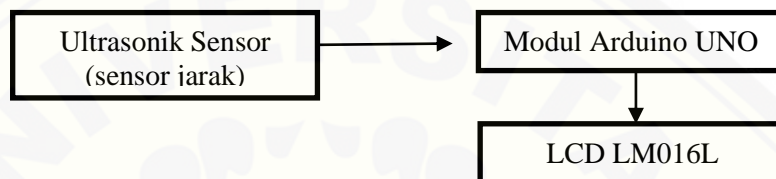
Gambar 3.3 Skema rangkaian sistem sensor *trainer kit* di lengkapi sensor jarak HC-SR04 dan LCD LM016L (16x2).

Keterangan :

- 1 = Sensor jarak HC-SR04
- 2 = Arduino UNO
- 3 = I2C LCD Interface
- 4 = LCD
- 5 = Kabel jumper

3) Desain blok perancangan alat

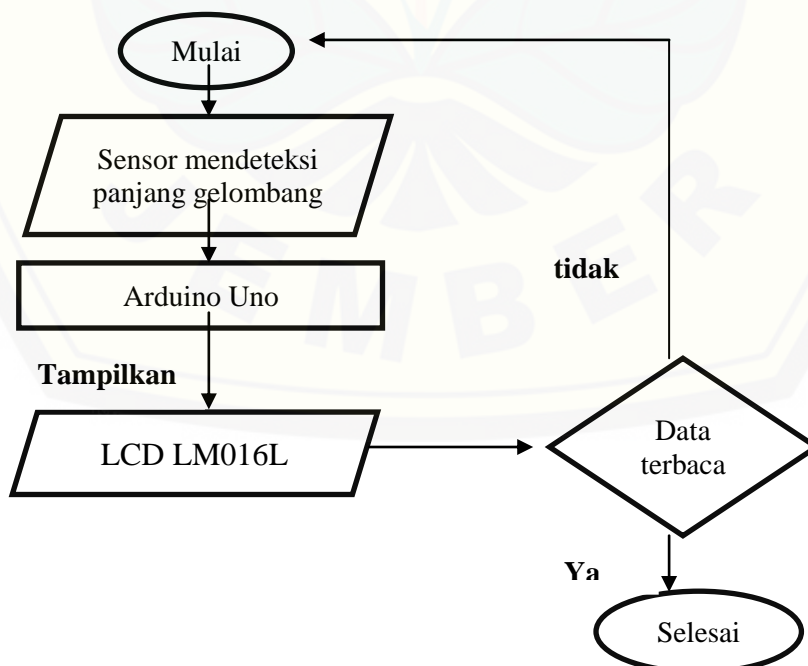
Secara umum diagram blok perancangan alat dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Desain blok perancangan alat

Rancangan alat terdiri dari sensor ultrasonik sebagai pendeteksi jarak, Arduino UNO sebagai pengendali rangkaian, dan LCD LM016L sebagai *output* penampil data yang didapat selama pengukuran.

4) *Flowchart* bagan sistem alat dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.



Gambar 3.5 *Flowchart* sistem alat

c. Uji coba terbatas

Hasil rancangan *trainer kit* perlu diuji terlebih dahulu sebelum digunakan untuk mengambil data. Pengujian alat ini dilakukan pada masing-masing komponen rangkaian pendukung dari keseluruhan sistem alat. Proses uji coba yang dilakukan yaitu menguji rangkaian sistem *trainer kit* untuk mengetahui apakah rangkaian sensor berjalan dengan baik dan mendapatkan hasil data yang akurat. Selanjutnya, melakukan uji kalibrasi sensor dengan membandingkan alat yang berasal dari buatan pabrik untuk mengetahui kevalidan pembacaan yang dilakukan oleh sensor.

d. Evaluasi dan revisi

Evaluasi bertujuan untuk menguji kevalidan alat yang berdasarkan analisis menggunakan persamaan regresi linier. Analisis regresi ini akan menganalisis draf I yang telah dibuat pada tahapan desain produk yang nantinya dianalisis linier dan disajikan dalam grafik.

Jika hasil yang diperoleh dari evaluasi dan revisi pada draf I dinyatakan valid, maka produk dapat digunakan untuk tahap selanjutnya. Jika masih belum valid, maka dikatakan belum layak dan harus direvisi. Hasil dari revisi harus dilakukan validasi ulang hingga didapat sebuah produk yang sudah valid dan layak (draf II).

3.4.3 Tahap penilaian (*Assessment Stage*)

Pada tahap ini dilakukan uji coba lapang terhadap draf II yang diperoleh dari tahap pengembangan sebelumnya dengan menjalankan *trainer kit* yang telah dirancang. Hal ini dilakukan untuk mengetahui berhasil tidaknya penggunaan produk pengembangan. Kemudian melakukan analisis pada hasil yang diperoleh dari produk pada uji coba. Jika hasil yang didapatkan sesuai dengan teori cepat rambat gelombang tali, maka dihasilkan produk akhir. Jika masih belum sesuai dengan teori, maka akan dilakukan revisi produk dan diujicobakan kembali

hingga mendapatkan produk revisi yang sesuai dengan teori. Kemudian membuat kesimpulan mengenai *trainer kit* dari data yang didapatkan .

3.5 Teknik Analisis Data

Cara menganalisis data penelitian, termasuk alat – alat statistik yang relevan digunakan untuk penelitian termasuk dalam teknik analisis data (Noor, 2011:163). Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

3.5.1 Tabel penyajian data

Hasil data yang didapatkan dari hasil eksperimen *trainer kit* dimasukkan ke dalam Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 berikut ini :

Tabel 3.1 Penyajian data kalibrasi sensor HC-SR04

No	X (cm)	Y (cm)	Nilai <i>error</i> (%)
1			
2			
3			
4			
5			

X = data pembacaan alat ukur mistar pabrikan

Y = data pembacaan sensor sensor ultrasonik HC-SR04

$$*Nilai Error (\%) = \frac{\text{nilai data eksperimen alat rancangan} - \text{nilai data alat pabrik}}{\text{nilai data alat pabrik}} \times 100\%$$

Tabel 3.2 Penyajian data hasil ukur *trainer kit* rancangan

Jenis Bahan Tali	Panjang Tali (m)	Massa Beban gantung (kg)	Gaya Tegang Tali (N)	Rapat Massa tali (kg/m)	Panjang Gelombang (m)	Cepat Rambat Gelombang (m/s)
Nilon	0,7 m	0,02 kg				
Polyester	0,7 m	0,02 kg				
Cina	0,7 m	0,02 kg				
Rafia	0,7 m	0,02 kg				
Rami	0,7 m	0,02 kg				

3.5.2 Analisis data

a. Analisis validitas alat

Analisis data *trainer kit* dilakukan dengan membandingkan data yang dihasilkan sensor terhadap alat buatan pabrik yang bertujuan untuk mengetahui validitas alat. Perbandingan kedua alat ini digunakan untuk mengkalibrasi produk *trainer kit*. Analisis kalibrasi sensor ultrasonik HC-SR04 hasil produk rancangan menggunakan regresi linier dengan bantuan *Microsoft Excel 2010*. Persamaan grafik regresi linier mempunyai model sebagai berikut:

$$Y' = a + bX$$

Dengan x adalah variabel independen atau variabel bebas yang terletak pada sumbu datar dan y adalah variabel dependen atau variabel terikat yang terletak pada sumbu tegak. Sedangkan a adalah harga Y bila $X=0$ atau titik potong garis lurus dengan sumbu tegak dan b adalah angka arah atau koefisien regresi (Sugiyono, 2006).

b. Analisis data hasil *trainer kit*

Analisis data yang dihasilkan *trainer kit* dilakukan sesuai ketentuan pengisian tabel sebagai berikut:

- 1) Pada kolom massa, diisi nilai dari pengukuran massa beban gantung dengan menggunakan neraca digital. Massa beban gantung yang digunakan adalah 20 gram.
- 2) Pada kolom panjang tali, diisi nilai dari pengukuran panjang tali berupa satuan panjang yang telah diukur oleh meteran. Masing-masing bahan tali menggunakan panjang yang sama yaitu 70 cm (0,7 m) agar bisa membentuk minimal satu gelombang penuh.
- 3) Pada kolom jenis bahan tali, diisi jenis bahan tali yang digunakan dalam penelitian, yaitu tali nilon, rafia, polyester, rami dan satin cina.
- 4) Pada kolom rapat massa tali, diisi nilai dari perhitungan massa tali (yang telah diukur dengan neraca digital) dibagi panjang tali atau bisa dituliskan massa tali per satuan panjang (kg/m). Pengukuran rapat massa tali ini dilakukan sebanyak 5 kali pada masing-masing jenis bahan tali.

- 5) Pada kolom panjang gelombang, diisi nilai dari pengukuran panjang gelombang berupa satuan panjang yang telah diukur oleh sensor jarak HC-SR04. Pengukuran panjang gelombang tali diukur dari simpul bukit sampai simpul lembah (atau sebaliknya) dengan menggeser sensor jarak sampai di simpul bukit dan batas sensor jarak di simpul lembah (atau sebaliknya). Pengukuran panjang gelombang ini dilakukan secara berulang sebanyak 5 kali pengukuran pada masing-masing jenis bahan tali.
- 6) Pada kolom gaya tegang tali, diisi nilai dari perhitungan menggunakan persamaan :

$$F = W = m \cdot g$$

- 7) Kemudian pada kolom cepat rambat gelombang (v) dapat diketahui nilai kecepatan gelombang tali dengan menggunakan persamaan :

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

- 8) Setelah ditemukan nilai kecepatan rambat gelombang tali kemudian dibandingkan dengan jenis bahan yang digunakan. Apakah kecepatan rambat gelombang tali sesuai dengan teori yang digunakan?

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Tahap awal dari penelitian yang dilakukan peneliti yaitu tahap *Preliminary research* yaitu dengan menganalisis berbagai literatur sehingga peneliti memutuskan untuk membuat sebuah rancang bangun *trainer kit*. Rancang bangun *trainer kit* yang diteliti terkait cepat rambat gelombang tali berbantuan mikrokontroler. Rancang bangun *trainer kit* digunakan untuk mengetahui pengaruh perubahan jenis bahan tali terhadap cepat rambat gelombang tali.

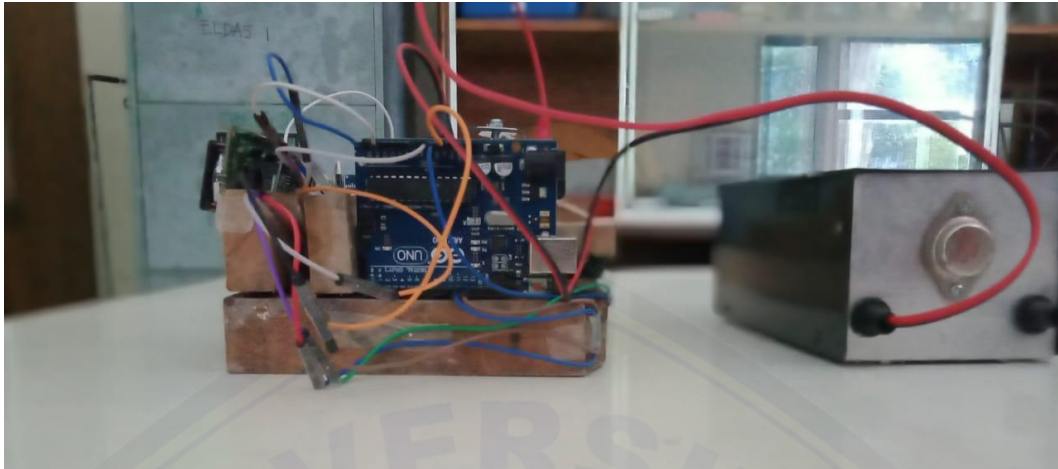
Tahap selanjutnya yaitu *Prototyping stage* atau perancangan dan pembuatan *trainer kit* untuk menentukan pengaruh jenis bahan tali terhadap cepat rambat gelombang tali yang dilakukan di Laboratorium Fisika Dasar Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember. Perancangan dan pembuatan *trainer kit* dilakukan pada bulan November-Desember 2020 sedangkan pengambilan data dilakukan pada bulan Desember 2020. Dari penelitian desain rancang bangun *trainer kit* untuk menentukan pengaruh jenis bahan tali terhadap cepat rambat gelombang tali ini terdapat 3 hasil penelitian. Hasil penelitian yang pertama yaitu prosedur pembuatan rancang bangun *trainer kit*. Hasil penelitian yang kedua adalah validitas *prototype* yang dilakukan dengan menggunakan kalibrator alat buatan pabrik. Hasil penelitian ketiga berupa data uji coba lapang *trainer kit* untuk menentukan pengaruh jenis bahan tali terhadap cepat rambat gelombang tali yang dihasilkan oleh *trainer kit* rancangan peneliti. Gambar rancang bangun *trainer kit* untuk menentukan pengaruh jenis bahan tali terhadap cepat rambat gelombang tali ditunjukkan pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 *Trainer Kit* rancangan peneliti

Pada Gambar 4.1 ditunjukkan *trainer kit* rancangan peneliti terdiri dari papan kayu sepanjang 85 cm sebagai media pada penelitian. Di samping papan kayu terdapat *power supply* sebagai sumber tegangan, selanjutnya sambungkan dengan *ticker timer* yang diletakkan di atas papan kayu sebagai penggerak atau penghasil getaran. *Ticker timer* disambungkan dengan tali sepanjang 70 cm, kemudian di ujung tali digantungkan beban sebesar 20 gram. Di ujung tali terdapat katrol untuk menggantungkan tali yang di ikat pada beban gantung.

Selanjutnya pada rangkaian sistem sensor terdiri dari sensor jarak HC-SR04 sebagai pendeteksi panjang gelombang tali. Sensor jarak HC-SR04 tersebut dihubungkan dengan Arduino UNO sebagai pengendali utama sistem sensor dan dihubungkan juga dengan I2C *Interface* LCD sebagai *output* dari pembacaan panjang gelombang tali. Gambar rangkaian sistem sensor dan Arduino UNO ditunjukkan pada Gambar 4.2 berikut ini.



Gambar 4. 2 Rangkaian Arduino UNO dan sensor

4.1.1 Prosedur pembuatan rancang bangun *trainer kit*

Pada tahap *Prototyping stage* terdapat dua rancangan, yaitu rancangan sistem sensor dan rancangan bangun alat. Pertama pada pembuatan desain *prototype* rangkaian sistem alat menggunakan *software fritzing* 0.9.3b. Selanjutnya peneliti melakukan perancangan sistem sensor sesuai desain yang telah dibuat menggunakan *software fritzing* tersebut. Pada rancangan sistem sensor menggunakan sebuah Mikrokontroler ATmega 328p sebagai *hardware* yang akan menjadi pengendali utama pada rangkaian sistem sensor alat yang dirancang oleh peneliti. Mikrokontroler ATmega 328p telah terpasang menjadi satu kesatuan di dalam papan Arduino UNO sehingga sangat praktis dan mudah untuk perakitannya. Adapun *hardware* yang digunakan pada rangkaian ini adalah Arduino UNO, sensor jarak HC-SR04, dan I2C Interface LCD LM016L. Sedangkan *software* yang digunakan adalah *Integrated Development Environment* (IDE) Arduino sebagai alat pemrograman. Rancangan sistem sensor *trainer kit* dapat dilihat pada Bab 3 Gambar 3.3. Komponen rancangan sistem sensor pada Gambar 3.3 dapat dijelaskan sebagai berikut :

a. Arduino UNO

Rancangan sistem sensor pada *trainer kit* ini menggunakan Arduino UNO sebagai pengontrol utama yang dihasilkan oleh sensor yang terpasang. Adapun pin pada arduino UNO dibagi menjadi 3 pin utama yaitu :

1) Pin Power

Pin-pin power pada arduino UNO berfungsi sebagai pemberi supply kepada sensor jarak dan I2C LCD.

2) Pin Analog In

Pin Analog In adalah pin yang digunakan sebagai input data hasil dari konversi data sensor jarak dan I2C LCD. Pin Analog In ini terdiri dari 6 pin yaitu pin A0, A1, A2, A3, A4, A5.

3) Pin Digital

Pin digital berfungsi sebagai *input* atau *output* yang dapat diatur oleh program pin digital memiliki 14 pin *input* dan *output* dimana 6 pin *input* dapat digunakan sebagai *output* PWM (*Pulse Width Modulation*).

b. Sensor jarak (HC-SR04)

Sensor jarak HC-SR04 adalah suatu sensor yang memanfaatkan gelombang ultrasonik sebagai alat ukur jarak. Sensor ini juga sering disebut sensor ultrasonik. Sensor jarak memiliki 4 kaki utama yang digunakan, yaitu :

1) Kaki VCC

Kaki VCC atau pin VCC adalah pin yang harus dihubungkan pada pin VCC pada Arduino UNO dengan tegangan 3 atau 5 Volt sebagai sumber tegangan positif.

2) Kaki Trig

Kaki Trig atau *trigger pin* merupakan pin penyulut yang berfungsi untuk membangkitkan sinyal ultrasonik. Pin ini dihubungkan dengan pin digital 12 pada Arduino UNO.

3) Kaki Echo

Kaki Echo atau *Echo Pin* atau *pin receive* merupakan pin yang digunakan pendeteksi sinyal pantulan ultrasonik. Pin *echo* dihubungkan dengan pin digital 11 pada Arduino UNO.

4) Kaki GND

Kaki GND atau pin GND yaitu kaki *ground* yang dihubungkan dengan pin GND pada Arduino UNO sebagai sumber tegangan negatif.

Rancangan yang kedua yaitu rancangan bangun *trainer kit* yang merupakan rancangan akhir dari *trainer kit*. Rancangan sistem sensor digabungkan ke dalam rancangan bangun *trainer kit*. Pada rancang bangun ini terdiri dari 3 komponen utama yaitu rancangan sistem sensor, rancangan bangun *trainer kit* dan laptop sebagai pengendali utama. Pada rancangan bangun *trainer kit* terdiri *power supply* dan *ticker timer* sebagai sumber getaran gelombang. Selanjutnya terdapat papan kayu sebagai media untuk meletakkan *ticker timer*, rangkaian sistem sensor dan Arduino UNO serta katrol diujung papan kayu. Rancangan bangun *trainer kit* dapat dilihat pada Bab 3 Gambar 3.2. Beberapa komponen pada rancangan bangun *trainer kit* yaitu :

- a. Papan kayu sepanjang 85 cm sebagai tempat diletakkannya rancangan bangun dan rancangan sistem sensor.
- b. *Power supply* berfungsi sebagai sumber tegangan yang disambungkan pada *vibrator* atau *ticker timer*. Tegangan yang digunakan sebesar 9 V dengan arus sebesar 6 A.
- c. *Ticker timer* berfungsi sebagai sumber getaran pada tali yang dihubungkan dengan *power supply* sebagai sumber tegangannya.
- d. Katrol berfungsi sebagai tempat dudukan tali diantara *ticker timer* dan beban gantung.
- e. Tali berfungsi sebagai medium rambat gelombang. Adapun tali yang digunakan yaitu tali nilon, polyester, rami, rafia dan rami.
- f. Beban gantung berfungsi sebagai pemberat pada tali sehingga tali memiliki gaya tegang tali yang tetap. Beban gantung yang digunakan sebesar 20 gram.
- g. Arduino UNO berfungsi sebagai mikrokontroler yang digunakan untuk memberi perintah pada sensor jarak HC-SR04 dan *I2C Interface LCD*.
- h. Sensor jarak HC-SR04 berfungsi sebagai pendeteksi panjang gelombang pada tali. Sensor jarak bisa digeser sesuai letak simpul gelombang.

- i. Batas sensor berfungsi sebagai batas ukur sensor jarak HC-SR04. Batas sensor berupa balok yang bisa digeser sesuai letak simpul gelombang.
- j. *I2C Interface* dan LCD LM016 berfungsi untuk menampilkan hasil pengukuran panjang gelombang tali hasil pengukuran sensor HC-SR04.
- k. Laptop berfungsi sebagai pengendali utama *trainer kit*. Laptop berperan untuk menjalankan *software IDE (Integrated Development Environment)* Arduino sebagai program sensor.

4.1.2 Validitas *prototype*

Untuk menguji validitas *trainer kit* yang telah dirancang maka dilakukan uji coba terbatas. Uji coba terbatas dilakukan untuk mengetahui validitas sensor dan alat dengan menggunakan alat ukur standar buatan pabrik. Alat ukur buatan pabrik digunakan sebagai pembanding. Dari *trainer kit* yang telah dirancang diperoleh hasil data kalibrasi dari sensor jarak HC-SR04. Kalibrasi sensor jarak HC-SR04 dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor jarak HC-SR04 dengan alat ukur standar yaitu mistar. Sensor jarak HC-SR04 dan mistar diletakkan di suatu bidang datar atau papan kayu. Setelah itu peneliti menggerakkan benda ditempatkan pada jarak dari 3 cm hingga 20 cm di depan sensor jarak HC-SR04. Lalu peneliti melakukan perbandingan hasil yang dibaca sensor jarak HC-SR04 dengan jarak yang tertera pada mistar. Proses kalibrasi sensor jarak HC-SR04 ditunjukkan seperti pada Gambar 4.3 berikut ini.



Gambar 4. 3 Proses kalibrasi sensor HC-SR04

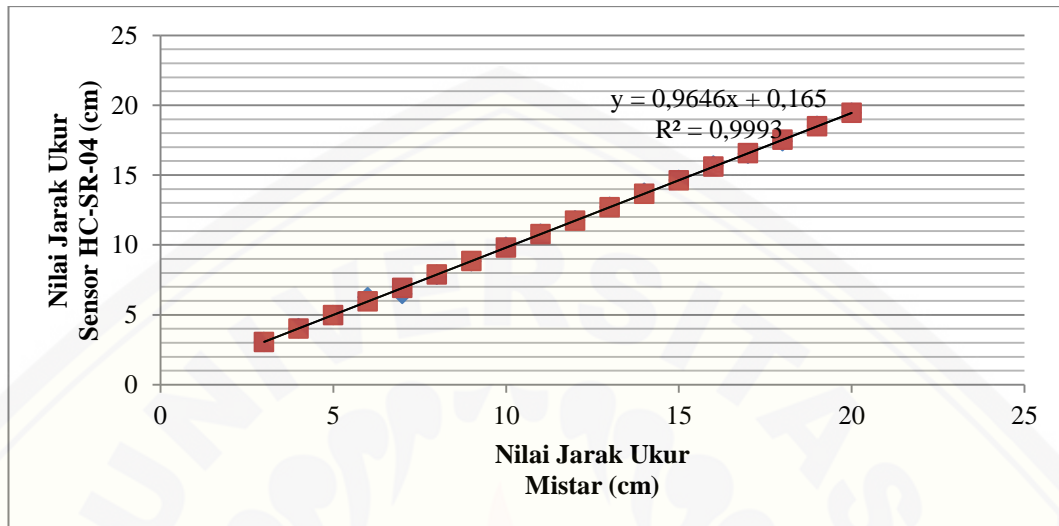
Selanjutnya data yang diperoleh dari hasil kalibrasi sensor HC-SR04 akan dianalisis untuk mengetahui kevalidan dari *trainer kit* rancangan. Data hasil kalibrasi sensor jarak (HC-SR04) telah diperoleh data yang tertera pada Tabel 4.1 sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data kalibrasi sensor jarak HC-SR04

No	Nilai Jarak Ukur Mistar (cm)	Nilai Jarak Ukur Sensor HC-SR-04 (cm)	Error (%)
1	3,00	3,06	0,02
2	4,00	4,03	0,01
3	5,00	4,99	0,00
4	6,00	6,26	0,04
5	7,00	6,49	-0,07
6	8,00	7,86	-0,02
7	9,00	8,83	-0,02
8	10,00	9,86	-0,01
9	11,00	10,80	-0,02
10	12,00	11,77	-0,02
11	13,00	12,73	-0,02
12	14,00	13,74	-0,02
13	15,00	14,64	-0,02
14	16,00	15,67	-0,02
15	17,00	16,53	-0,03
16	18,00	17,43	-0,03
17	19,00	18,51	-0,03
18	20,00	19,45	-0,03

Data pada tabel di atas menunjukkan hasil kalibrasi sensor jarak HC-SR04. Kalibrasi sensor jarak HC-SR04 menggunakan alat ukur buatan pabrik yaitu mistar. Pada saat proses kalibrasi, sensor jarak HC-SR04 dan mistar diletakkan sejajar pada suatu papan kayu dan menggunakan balok kayu sebagai objek yang di gerakkan pada papan kayu. Balok kayu diletakkan dari jarak 3 cm di depan sensor hingga jarak 20 cm dari depan sensor sehingga diperoleh 18 data. Setelah memperoleh data kalibrasi sensor dan nilai *error* <1% maka dapat dilakukan

analisis regresi menggunakan *Microsoft Excel 2010* dan diperoleh grafik regresi seperti ditunjukkan pada Gambar 4.4 di bawah ini.



Gambar 4. 4 Grafik regresi linier data kalibrasi sensor jarak HC-SR04

Data pada Tabel 4.1 hasil kalibrasi sensor jarak HC-SR04 telah diolah dengan analisis regresi linier menggunakan *Microsoft Excel 2010*. Dari hasil pengolahan analisis regresi linier diperoleh nilai *R Square* sebesar $R^2 = 0,9993$. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.4 grafik dari hasil regresi linier data kalibrasi sensor jarak HCSR-04 artinya dari keseluruhan data hasil kalibrasi sensor jarak HC-SR04 dapat dijelaskan dengan regresi dan diperoleh nilai 99,93%. Tetapi masih tersisa 0,07% yang menunjukkan kesalahan pembacaan nilai pada sensor jarak HC-SR04. Hal ini menunjukkan bahwa sensor jarak HC-SR04 telah valid dan memiliki tingkat ketelitian yang sesuai dengan alat ukur standar buatan pabrik sehingga dapat menghasilkan data pengukuran yang benar.

4.1.3 Data uji coba lapang *trainer kit*

Uji coba lapang terdapat pada tahap *Assessment Stage*. Uji coba lapang dilakukan di ruang Laboratorium Fisika Dasar Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember. Pengujian dilakukan menggunakan 5 jenis bahan tali

yang berbeda. Gambar uji coba lapang *trainer kit* ditunjukkan pada Gambar 4.5 berikut ini.



Gambar 4. 5 Uji coba lapang *trainer kit*

Uji coba lapang *trainer kit* dilakukan secara berulang sebanyak 5 kali pada masing-masing jenis bahan tali. Dari hasil uji coba lapang *trainer kit* diperoleh data yang ditunjukkan pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Data hasil uji lapang *trainer kit*

Jenis Bahan Tali	Panjang Tali (m)	Massa Beban Gantung (kg)	Gaya Tegang Tali (N)	Rapat Massa Tali (kg/m)	Panjang Gelombang (m)	Cepat Rambat Gelombang (m/s)
Nilon	0,7	0,02	0,196	0,000495	0,5737	19,8987
	0,7	0,02	0,196	0,000495	0,5757	19,8987
	0,7	0,02	0,196	0,000495	0,5762	19,8987
	0,7	0,02	0,196	0,000495	0,5769	19,8987
	0,7	0,02	0,196	0,000498	0,5769	19,8487
Rafia	0,7	0,02	0,196	0,001104	0,4875	13,3243
	0,7	0,02	0,196	0,001096	0,4885	13,3728
	0,7	0,02	0,196	0,001104	0,4873	13,3243
	0,7	0,02	0,196	0,001100	0,4885	13,3485
	0,7	0,02	0,196	0,001092	0,4873	13,3973
Polyester	0,7	0,02	0,196	0,001140	0,4255	13,1122
	0,7	0,02	0,196	0,001137	0,4245	13,1314
	0,7	0,02	0,196	0,001143	0,4257	13,0931
	0,7	0,02	0,196	0,001143	0,4255	13,0931

	0,7	0,02	0,196	0,001147	0,4245	13,0740
Rami	0,7	0,02	0,196	0,001407	0,3932	11,8041
	0,7	0,02	0,196	0,001407	0,393	11,8041
	0,7	0,02	0,196	0,001407	0,3948	11,8041
	0,7	0,02	0,196	0,001407	0,392	11,8041
	0,7	0,02	0,196	0,001410	0,3922	11,7901
Satin Cina	0,7	0,02	0,196	0,001913	0,2719	10,1212
	0,7	0,02	0,196	0,001913	0,2719	10,1212
	0,7	0,02	0,196	0,001913	0,2775	10,1212
	0,7	0,02	0,196	0,001913	0,2732	10,1212
	0,7	0,02	0,196	0,001913	0,2721	10,1212

Pada tabel di atas telah diperoleh data panjang gelombang dan cepat rambat gelombang tali pada masing-masing jenis bahan tali pada uji coba lapang *trainer kit*. Panjang gelombang tali diperoleh dari pembacaan sensor jarak HC-SR04 yang terdapat pada *trainer kit*. Sensor jarak HC-SR04 diletakkan pada simpul bukit dan batas sensor diletakkan pada simpul lembah (satu gelombang penuh). Pengukuran dilakukan berulang sebanyak 5 kali, sehingga masing-masing jenis bahan tali memperoleh 5 data. Kemudian diulang dengan menggunakan jenis bahan tali yang berbeda, sehingga diperoleh total 25 data. Kemudian data-data yang telah diperoleh dihitung sehingga mendapatkan nilai cepat rambat gelombang tali pada masing-masing jenis bahan tali yang digunakan dalam penelitian.

Pada tabel 4.2 ditunjukkan bahwa masing-masing jenis bahan tali memiliki rapat massa tali yang berbeda. Rapat massa tali pada jenis bahan nilon memiliki rata-rata rapat massa tali sebesar 0,000496 kg/m. Selanjutnya pada jenis bahan tali rafia memiliki rata-rata rapat massa tali sebesar 0,001099 kg/m. Lalu rapat massa tali pada jenis bahan polyester memiliki rata-rata rapat massa tali sebesar 0,001142 kg/m. Pada tali dengan jenis bahan rami memiliki rata-rata rapat massa tali sebesar 0,001408 kg/m. Jenis bahan tali satin cina memiliki rata-rata rapat massa tali sebesar 0,001913 kg/m.

Dari data pengukuran panjang gelombang pada masing – masing jenis bahan tali pada Tabel 4.2 diperoleh hasil bahwa pengaruh jenis bahan tali terhadap panjang gelombang tali adalah berbanding terbalik. Hal ini ditunjukkan pada tali nilon yang memiliki rata-rata rapat massa tali terkecil yaitu sebesar 0,000496

kg/m diperoleh rata-rata panjang gelombang tali yang dihasilkan sepanjang 0,5759 m sedangkan pada jenis bahan tali satin cina yang memiliki rata-rata rapat massa tali terbesar yaitu 0,001913 kg/m diperoleh rata-rata panjang gelombang tali yang dihasilkan sepanjang 0,2733 m.

Dari data perhitungan cepat rambat gelombang tali pada Tabel 4.2 tersebut diperoleh hasil bahwa pengaruh rapat massa jenis bahan tali terhadap cepat rambat gelombang tali adalah berbanding terbalik. Hal ini ditunjukkan pada tali dengan jenis bahan nilon memiliki rapat massa tali paling kecil yaitu sebesar 0,000496 kg/m diperoleh cepat rambat gelombang talinya sebesar 19,8887 m/s sedangkan pada jenis bahan tali satin cina yang memiliki rapat massa tali paling besar yaitu 0,001913 kg/m diperoleh cepat rambat gelombang tali sebesar 10,1212 m/s.

4.2 Pembahasan

Penelitian ini diawali dari tahap *Preliminary Research* yaitu dengan melakukan kajian literatur yang dapat mendukung penelitian. Selanjutnya ke tahap kedua yaitu *Prototyping Stage*. Pada tahap ini peneliti melakukan perancangan *trainer kit*. Pertama, peneliti menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian. Kemudian mulai membuat rancangan bangun *trainer kit* yang terdiri dari rancangan bentuk fisik *trainer kit* berupa papan kayu sepanjang 85 cm yang di hubungkan dengan *power supply* sebagai sumber tegangan *ticker timer* serta terdapat katrol diujungnya, di samping *ticker timer* terdapat rel sebagai tempat berjalannya sensor jarak HCSR04. Setelah rancang bangun fisik selesai, dilanjutkan dengan merancang sistem sensor yang akan diletakkan pada rancang bangun fisik *trainer kit*. Rancangan sistem sensor menggunakan pengendali berupa mikrokontroler Arduino UNO. Arduino akan mengendalikan sensor yang digunakan yaitu sensor jarak HC-SR04. Pada perancangan sistem sensor *trainer kit* dimulai dengan membuat *prototype* rangkaian sistem alat menggunakan *software fritzing* 0.9.3b. Selanjutnya peneliti melakukan perancangan sistem sensor sesuai desain yang telah dibuat menggunakan *software fritzing* tersebut. Kemudian membuat program pada

Arduino UNO menggunakan *software* IDE Arduino. Setelah program yang dibuat telah benar langsung upload program ke dalam papan mikrokontroler Arduino UNO. Pada saat perancangan fisik dan sistem sensor telah sesuai, selanjutnya memasang rancangan sistem sensor pada rancangan bangun *trainer kit* yang dibuat. Lalu melakukan uji coba terbatas untuk mengetahui keakuratan alat yang telah dibuat. Uji coba terbatas dilakukan dengan pengkalibrasian sensor yang digunakan dengan alat standar buatan pabrik.

Sensor yang digunakan pada *trainer kit* rancangan peneliti adalah sensor jarak HC-SR04. Kalibrasi sensor jarak HC-SR04 dilakukan dengan membandingkan alat ukur sensor jarak HC-SR04 dengan alat ukur mistar. Proses kalibrasi sensor dilakukan dengan menempatkan sensor jarak HC-SR04 dan mistar pada satu bidang lurus atau papan kayu. Setelah itu peneliti menggerakkan benda ditempatkan pada jarak dari 3 cm hingga 20 cm di depan sensor jarak HC-SR04. Lalu peneliti melakukan perbandingan hasil yang dibaca sensor jarak HC-SR04 dengan jarak yang tertera pada mistar. Data hasil kalibrasi sensor jarak HC-SR04 ditunjukkan pada Tabel 4.1. Dari hasil kalibrasi peneliti memperoleh 18 data hasil ukur dari sensor jarak HC-SR04 dan mistar. Kalibrasi sensor jarak ini dimulai dari 3 cm karena berdasarkan Yandra *et.al* (2016) sensor jarak HC-SR04 dapat mengukur pada jarak 2 cm sampai 300 cm. Oleh karena itu peneliti mengambil data dari jarak 3 cm hingga 20 cm dan memperoleh sebanyak 18 data. Nilai *error* dari kalibrasi sensor sebesar 0,02% sampai -0,07%. Nilai negatif pada nilai *error* menunjukkan bahwa hasil pengukuran menggunakan sensor jarak HC-SR04 lebih kecil dibandingkan dengan nilai pada alat ukur mistar. Data kalibrasi yang diperoleh kemudian dianalisis regresi dengan menggunakan *Microsoft Excel* 2010 sehingga didapatkan grafik hasil regresi. Pada grafik hasil regresi, data yang diperoleh nilai $R^2 = 0,9993$ artinya dari keseluruhan data kalibrasi sensor jarak HC-SR04 dapat dijelaskan oleh regresi sebesar 99,93% dan sisanya 0,07% menunjukkan persentase kesalahan pada pembacaan sensor jarak HC-SR04. Hal ini menunjukkan bahwa data hasil yang diperoleh sensor jarak sudah sesuai dengan alat standar buatan pabrik yaitu mistar. Oleh karena itu *trainer kit* hasil rancangan peneliti sudah dapat dinyatakan valid sehingga dapat digunakan

sebagai alat yang standar untuk uji coba lapang pengaruh jenis bahan tali terhadap cepat rambat gelombang tali.

Dari hasil kalibrasi yang telah dilakukan peneliti, *trainer kit* rancangan peneliti dapat dinyatakan valid dan dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya. Tahap selanjutnya yaitu *Assesment Stage* yang diawali dengan uji coba lapang. Uji coba lapang dilakukan di Laboratorium Fisika Dasar Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember. Uji coba lapang dilakukan pada tanggal 19 Desember 2020. Uji coba lapang dilakukan dengan 5 variasi jenis bahan tali. Jenis bahan tali yang digunakan antara lain tali nilon, polyester, rami, rafia dan satin cina. Variasi jenis bahan tali digunakan untuk mengetahui pengaruh jenis bahan tali nilon, polyester, rami, rafia dan satin cina terhadap hasil perhitungan cepat rambat gelombang tali.

Pada uji coba *trainer kit* peneliti menetapkan beberapa variabel kontrol diantaranya massa beban gantung yaitu sebesar 20 gram atau 0,02 kg sehingga diperoleh nilai gaya tegang talinya sebesar 0,196 N. Tegangan (V) dari *power supply* yang dihubungkan pada *ticker timer* sebesar 9 V dengan besar arus listrik 6 A, percepatan gravitasi bumi sebesar $9,8 \text{ m/s}^2$ serta panjang tali 70 cm atau 0,7 m. Massa tali diukur menggunakan neraca digital dengan ketelitian 0,01 gram dan dilakukan berulang sebanyak 5 kali pengukuran. Rapat massa tali (μ) diperoleh dari perhitungan menggunakan Persamaan 2.1. Lalu diperoleh rapat massa dari jenis bahan tali nilon, rafia, polyester, rami dan satin cina ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Berdasarkan perhitungan rapat massa tali dari jenis bahan tali diperoleh bahwa rapat massa tali dari masing-masing jenis bahan tali berbeda nilainya. Rapat massa tali terbesar adalah tali dari bahan satin cina dengan rata-rata nilai rapat massa tali 0,001913 kg/m, selanjutnya ada tali rami dengan rata-rata nilai rapat massa tali 0,001408 kg/m, lalu tali polyester dengan rata-rata nilai rapat massa tali 0,001142 kg/m, tali rafia dengan rata-rata nilai rapat massa tali 0,001099 kg/m dan tali nilon dengan rata-rata nilai rapat massa tali 0,000496 kg/m. Selanjutnya tali nilon, rafia, polyester, rami dan satin cina dihubungkan pada *ticker timer* dan ditumpukan pada katrol di ujung dan diberi beban gantung

sebesar 20 gram (dilakukan secara bergantian satu per satu). Ketika *power supply* dihidupkan maka *ticker timer* akan bergetar menggerakkan tali sehingga membentuk gelombang transversal. Selanjutnya, mulai menggeser sensor jarak HC-SR04 lurus dengan simpul bukit dan batas sensor digeser tepat di simpul lembah atau sebaliknya untuk mengukur panjang gelombang tali. Uji pengambilan data awal menggunakan tali nilon. Selanjutnya diulang dengan menggunakan variasi tali yang lain, yaitu polyester, rafia, rami dan satin cina. Data yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 4.2, dapat diamati bahwa dari kelima variasi bahan tali yang digunakan terjadi perubahan pada panjang gelombang tali dan cepat rambatnya. Hasil ini telah sesuai dengan literatur berdasarkan Giancoli (2001: 383) cepat rambat gelombang tali yang terentang maupun pada dawai bergantung pada tegangan tali dan rapat massa talinya.

Pada Tabel 4.2 ditunjukkan hasil data perhitungan cepat rambat gelombang tali pada masing-masing jenis bahan tali. Perhitungan dilakukan sebanyak 5 kali sesuai dengan pengulangan pengukuran rapat massa tali dari masing-masing jenis bahan tali yang digunakan. Tali dengan jenis bahan nilon memiliki rapat massa tali paling kecil yaitu sebesar 0,000496 kg/m diperoleh cepat rambat gelombang talinya sebesar 19,8887 m/s. Selanjutnya jenis bahan tali rafia memiliki rapat massa tali sebesar 0,001099 kg/m memiliki rata-rata cepat rambat gelombang tali sebesar 13,3534 m/s. Lalu pada jenis bahan tali polyester memiliki rapat masa tali sebesar 0,001142 kg/m dengan rata-rata cepat rambat gelombang tali sebesar 13,1008 m/s. Jenis bahan tali rami memiliki rapat massa tali 0,001408 kg/m memiliki rata-rata cepat rambat gelombang tali sebesar 11,8013 m/s sedangkan pada jenis bahan tali satin cina yang memiliki rapat massa tali paling besar yaitu 0,001913 kg/m diperoleh cepat rambat gelombang tali sebesar 10,1212 m/s. Analisis data hasil uji coba *trainer kit* menunjukkan bahwa semakin besar nilai rapat massa tali suatu bahan tali maka cepat rambat gelombang tali akan semakin kecil. Apabila semakin ringan rapat massa tali suatu bahan tali maka cepat rambat gelombang talinya akan semakin cepat. Berdasarkan hal tersebut ditunjukkan bahwa hasil data *trainer kit* rancangan peneliti sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Jumini (2015) yaitu cepat rambat gelombang

pada dawai dipengaruhi oleh rapat massa tali suatu tali sehingga bahwa semakin besar massa tali maka cepat rambat gelombang tali akan semakin kecil.

Selain berpengaruh terhadap cepat rambat gelombang tali, ternyata jenis bahan tali juga berpengaruh terhadap panjang gelombang tali yang dihasilkan. Panjang gelombang tapi diukur menggunakan sensor jarak HC-SR04. Sensor jarak HC-SR04 diletakkan pada simpul bukit dan batas sensor diletakkan pada simpul lembah (satu gelombang penuh). Pengukuran dilakukan berulang sebanyak 5 kali, sehingga masing-masing jenis bahan tali memperoleh 5 data. Kemudian diulang dengan menggunakan jenis bahan tali yang berbeda, sehingga diperoleh total 25 data.

Dari data pengukuran panjang gelombang pada masing – masing jenis bahan tali pada Tabel 4.2 diperoleh hasil bahwa pengaruh jenis bahan tali terhadap panjang gelombang tali adalah berbanding terbalik. Hal ini ditunjukkan pada tali nilon yang memiliki rata-rata rapat massa tali terkecil yaitu sebesar 0,000496 kg/m diperoleh rata-rata panjang gelombang tali yang dihasilkan sepanjang 0,5759 m sedangkan pada jenis bahan tali satin cina yang memiliki rata-rata rapat massa tali terbesar yaitu 0,001913 kg/m diperoleh rata-rata panjang gelombang tali yang dihasilkan sepanjang 0,2733 m. Hal ini sesuai dengan literatur berdasarkan Halpern (1998: 5) bahwa salah satu faktor yang mempengaruhi kecepatan rambat gelombang yaitu semakin besar massa tali maka semakin susah untuk bergerak naik turun sehingga panjang gelombangnya juga semakin pendek.

Pada penelitian yang telah dilakukan terdapat beberapa kekurangan yaitu peneliti belum bisa menggunakan variasi panjang tali yang berbeda pada masing-masing jenis bahan tali. Selain itu, masih belum ada pengukur frekuensi gelombang tali menggunakan Arduino UNO pada *trainer kit* rancangan peneliti. Peneliti berharap hal ini dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya sehingga *trainer kit* rancangan ini dapat digunakan lebih baik.

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dan analisis data yang sudah dilakukan dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- a. Rancang bangun *trainer kit* untuk menentukan pengaruh jenis bahan tali terhadap cepat rambat gelombang tali hasil rancangan peneliti dikembangkan dengan menggunakan mikrokontroler Arduino UNO dilengkapi dengan sensor jarak HC-SR04 untuk mengukur panjang gelombang tali bisa dinyatakan valid dengan validitas sebesar 99,93% dan memiliki tingkat ketelitian yang sesuai dengan alat ukur yang standar sehingga bisa digunakan sebagai *trainer kit* untuk menentukan pengaruh jenis bahan tali terhadap cepat rambat gelombang tali .
- b. Dari hasil uji lapang *trainer kit* rancangan peneliti diperoleh bahwa ada pengaruh rapat massa dari jenis bahan tali nilon, tali rafia, tali polyester, tali rami dan tali satin cina terhadap cepat rambat gelombang tali. Pada tali nilon diperoleh cepat rambat gelombang talinya sebesar 19,8887 m/s, jenis bahan tali rafia memiliki rata-rata cepat rambat gelombang tali sebesar 13,3534 m/s, jenis bahan tali polyester memiliki rata-rata cepat rambat gelombang tali sebesar 13,1008 m/s, jenis bahan tali rami memiliki rata-rata cepat rambat gelombang tali sebesar 11,8013 m/s sedangkan pada jenis bahan tali satin cina yang memiliki cepat rambat gelombang tali sebesar 10,1212 m/s. Hasil penelitian menunjukkan jenis bahan tali yang memiliki rapat massa paling ringan adalah tali nilon, sehingga cepat rambat gelombangnya semakin cepat atau bisa dikatakan bahwa pengaruh rapat massa jenis bahan tali nilon, rafia, polyester, rami dan satin cina terhadap cepat rambat gelombang tali adalah berbanding terbalik.

5.2 Saran

Berdasarkan pada hasil dan pembahasan yang telah dilakukan oleh peneliti, terdapat beberapa saran yaitu :

- 1) Pada pengembangan *trainer kit* telah memvariasikan jenis bahan tali yang digunakan, tetapi belum bisa memvariasikan panjang tali pada masing-masing bahan dan pengukur frekuensi menggunakan Arduino UNO. Oleh karena itu peneliti berharap hal ini bisa disempurnakan pada penelitian selanjutnya ;
- 2) Dalam melakukan percobaan menggunakan *trainer kit* berbantuan Arduino UNO dan sensor jarak HC-SR04 diperlukan kecermatan dan ketelitian saat meletakkan sensor jarak dan pembatasnya agar data yang diperoleh lebih valid.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustianti, D., C. E. Rustana., dan H. Nasbey. 2015. Pengembangan Alat Praktikum Melde Sebagai Media Pembelajaran Fisika SMA. *Prosiding Seminar Nasional Fisika 2015*. Vol. IV. Oktober 2015 : 45-48.
- American Society for Testing and Material (ASTM). 1995. *Concrete and Aggregates, Annual Book of ASTM Standards*. Vol 04.02.1995. Philidelphia : ASTM1995
- Artanto, D. 2012. *Interaksi Arduino dan LabVIEW*. Jakarta: PT Elax Media Komputindo.
- Danim, S. 2011. *Pengembangan Profesi Guru Pra-jabatan, Induksi, ke Professional Madani*. Jakarta: Prenada Media.
- Dinata, Y. Marta. 2014. *Arduino itu Mudah*. Jakarta: PT Elax Media Komputindo.
- Erdansyah, Y., B. Supriyadi., Yushardi. 2013. Pengaruh Panjang Tali Pada Bandul Matematis Terhadap Perhitungan Percepatan Gravitasi. *Jurnal Penelitian Fisika*.
- Fajri. 2020. Pengaruh Penambahan Serat Tali Rafia Terhadap Sifat Mekanis Mortar Geopolimer. *PORTAL Jurnal Teknik Sipil*. 12(2): 73-80.
- Fauziana, R., Suhartiningsih. 2019. Pengaruh Jenis Satin Polyester Terhadap Hasil Jadi Pewarnaan Menggunakan Teknik *Heat Transfer Printing*. *Jurnal Tata Busana*. 8(1).
- Giancoli, D. C. 2001. *Physics : Principle with Aplication*. Edisi 5. United States of America : Prentice Hall. Terjemahan oleh H. H. Wibi, Penyunt., dan Y. Hanum. 2001. *Fisika Jilid 1*. Edisi 5. Jakarta: Erlangga.

- Ginting, M. 2002. Kerajinan Pintal Tali Sebagai Objek Usaha Ekonomis Produktif Bernilai Seni Tinggi. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*. 8(28): 91-102.
- Guntoro, H., Y. Somantri, E. Haritman. 2013. Rancang bangun magnetic door lock menggunakan keypad dan solenoid berbasis mikrokontroler Arduino UNO. *ELECTRANS*. 12(1) : 40.
- Halliday, D., R. Resnick dan J. Walker. 2010. *Fisika Dasar*. Edisi 7. Jakarta : Erlangga.
- Halliday, D. dan R. Resnick. 2007. *Fisika Jilid 1*. Edisi 3. . Jakarta: Erlangga
- Halliday, D., R. Resnick dan J. Walker. 2011. *Fundamental of Physics*. Edisi 9. United States Of America : John Wiley & Sons, Inc.
- Halpern, A., E. Erlbach. 1998. *Schaum's Outline of Theory and Problems of beginning physics II : Waves, Electromagnetism, Optics, and Modern Physics*. United States of America : The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Hanik. S.U., I. Russanti. 2020. Pengaruh Tetapan Benang Kain Poliester Terhadap Hasil Jadi *Ecoprint Hapa Zome* Dengan Bunga Kenikir (*Cosmos Sulphurues*) Pada Scarf. *Jurnal Tata Busana*. 9(3): 70-79.
- Ishaq, M. 2007. *Fisika Dasar 2 Gelombang: Gelombang Tali, Gelombang Berdiri, Superposisi*. Yogyakarta :Graha Ilmu. .
- Jumini, S. 2015. Pengaruh Cepat Rambat Gelombang Terhadap Frekuensi Pada Tali. *Jurnal PPKM III* : 151-158.
- Khomsatun, M. A., Prabowo. 2019. Pengembangan Alat Peraga Hukum Melde Untuk Menentukan Cepat Rambat Gelombang Sebagai Media Pembelajaran Fisika Pada Materi Gelombang Stasioner. *Jurnal IPF : Inovasi Pendidikan Fisika*. 8(3): 784-788.

- Manikandan, J., J. H. Hussain. 2017. Design On Blind Shoe Using ATMega 328 Microcontroller. *International Journal Of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*. 1575-1579.
- Noor, J. 2011. *Metodologi Penelitian : Skripsi, Tesis, Disertasi dan Karya Ilmiah*. Jakarta: Kencana.
- Nieveen, N., McKenney, S., & Akker, J. V. (2006). *Educational design research: the value of variety*. In: Van den Akker, J., Gravemeijer, K, McKenney, S. & Nieveen, N. (Eds). (2006). *Educational design research*. London: Routledge.
- Novarini, E., M. D. Sukardan. 2015. Potensi Serat Rami (*Boehmeria Nivea S. Gaut*) Sebagai Bahan Baku Industri Tekstil dan Produk Tekstil dan Tekstil Teknik. *Arena Tekstil*. 30(2): 113-122.
- Plomp, T. & Nieveen, N. 2010. *An Introduction To Educational Design Research*. Netherlands: Netzdruk Enschede.
- Prabowo, F. L., Sucahyo, I. 2018. Pengembangan Media Hukum Melde Berbasis Aplikasi *Physics Toolbox Sensor Suite* Pada Materi Gelombang Stasioner. *Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika*. 7(2):165-170.
- Pramono, M. E., I. W. Wahyuningsih, G. Prajitno. 2015. Percobaan Mede. *Jurnal Praktikum Gelombang* : 1-8.
- Prastyo A. dan E. Yundra. 2018. Pengembangan *trainer kit* berbasis ATMega 16 pada mata pelajaran teknik pemrograman di smkn 1 arosbaya. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*. 7(2) :127-133.
- Renstra C. G. Tangdiongan, dkk. 2017. Rancang Bangun Alat Bantu Mobilitas Penderita Tunanetra Berbasis *Microcontroller Arduino UNO*. *E-Journal Teknik Elektro dan Komputer*. 6(2) : 80.
- Sugiyono. 2013. *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.

- Sari, N. 2020. Jenis – Jenis Tali Berdasarkan Bahan dan Kegunaan. <https://padukata.com/jenis-jenis-tali/>. [Diakses tanggal 29 Agustus 2020].
- Sari, N. 2020. Jenis Tali Gelang Berdasarkan Bahan dan Kegunaan. <https://padukata.com/jenis-tali-gelang/>. [Diakses tanggal 29 Agustus 2020].
- Sari, N. H., Sinarep. 2011. Analisa Kekuatan Bending Komposit *Epoxy* Dengan Penguatan Serat Nilon. *Dinamika Teknik Mesin: Jurnal Keilmuan dan Terapan Teknik Mesin*. 1(1).
- Sarudin., Sudarsono., Y. Gunawan. 2019. Karakteristik Kekuatan Tarik Pada Komposit Hybrid, Serat Rami, Fiberglass, dan Resin Polyester. *ENTHALPY : Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*. 4(4): 124-128.
- Sokop, S. J., J. D. Mamahit, S. R.U. A. Sompie. 2016. *Trainer* Periferal Antarmuka Berbasis Mikrokontroler Arduino UNO. *E-Journal Teknik Elektro dan Komputer*. 5(3): 13-23.
- Tipler, P. A.1998. *Fisika Untuk Sains dan Teknik*. Edisi 3 Jilid 1.Jakarta : Erlangga.
- Umam, K.A.,R. W. Utami., A. H. Putri., dan G. Antarnusa. 2020. Pengaruh Rapat Massa Tali terhadap Cepat Rambat Gelombang Pada Percobaan Hukum Melde. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Fisika Untirta*. 3(1) : 348-354.
- Widianti, S. Y. 2018. Pembuatan *Trainer Kit* Berbasis Arduino dengan SMS Gateway Sebagai Modul Praktikum. *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhoksumawe*. II(1):263.
- Yandra, E. F., B. P., Lapanporo, M. I., Jumarang. 2016. Rancang Bangun Timbangan Digital Berbasis Sensor Beban 5 kg Menggunakan Mikrokontroler ATmega328. *POSITRON*. VI(1):23-28.
- Yanto, D. T., E. Astrid., R. Hidayat., S. Islami. 2019. Analisis Uji Kelayakan *Trainer Kit* Elektronika Daya: 3 Phase Half-Wave and Full-Wave Uncontrolled Rectifier. *Seminar FORTEI 2019*.

Yudha, P. S. F., R. A. Sani. 2017. Implementasi Sensor Ultrasonik HC-SR04 Sebagai Sensor Parkir Mobil Berbasis Arduino. *JURNAL EINSTEIN*. 5(3) : 19-26.



LAMPIRAN
Lampiran A Matrik Penelitian

MATRIK PENELITIAN

NAMA : Linggar Ayu Octaviani
NIM : 170210102103
RG : 1

JUDUL	TUJUAN PENELITIAN	VARIABEL	SUMBER DATA DAN TEKNIK PENGAMBILAN DATA	METODE PENELITIAN
Desain Rancang Bangun <i>Trainer Kit</i> Untuk Menentukan Pengaruh Jenis Bahan Tali Terhadap Cepat Rambat	<ul style="list-style-type: none"> Mendesain rancang bangun <i>trainer kit</i> untuk menentukan pengaruh jenis bahan tali terhadap cepat rambat gelombang tali. Menguji pengaruh rapat massa dari 	<p>Variabel Bebas</p> <ul style="list-style-type: none"> Jenis bahan tali Rapat massa tali <p>Variabel Terikat</p> <ul style="list-style-type: none"> Cepat Rambat Gelombang tali 	<p>Sumber Data</p> <ul style="list-style-type: none"> Hasil percobaan Pustaka yang relevan <p>Teknik pengambilan data</p> <ul style="list-style-type: none"> Hasil percobaan dan perhitungan 	<p>Metode penelitian :</p> <p>Penelitian pengembangan menggunakan model <i>Nieveen</i> yang terdiri dari :</p> <p>1) <i>Preliminary research</i>, 2) <i>Prototyping stage</i>, dan 3) <i>Assessment stage (sumative evaluation)</i></p> <p>Teknik pengumpulan data :</p> <p>Data didapat dari hasil pengukuran adalah massa beban, jumlah perut, jumlah simpul, panjang tali, dan panjang gelombang. Melalui perhitungan</p> $F = m_{tali} \cdot g, \mu = \frac{m_{tali}}{l} \text{ dan } v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ akan diperoleh data

Gelombang Tali	jenis bahan tali nilon, rafia, polyester, rami dan satin cina terhadap cepat rambat gelombang tali.	Variabel Kontrol <ul style="list-style-type: none">• Panjang gelombang tali• Gaya tegang tali• Massa beban gantung		gaya tegang tali, rapat massa tali dan cepat rambat gelombang.
----------------	---	--	--	--

Menyetujui,
Dosen Pembimbing Utama

Dr. Drs. Sri Handono B.P,M.Si.
NIP 195803181985031004

Menyetujui,
Dosen Pembimbing Anggota

Firdha Kusuma Ayu A., S.Si.,M.Si.
NIP. 199102112019032016

Lampiran B Langkah-Langkah Perakitan Trainer Kit

a. Perakitan kerangka *trainer kit*

1. Persiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan dalam pembuatan *trainer kit* (telah disebutkan pada bab 3).
2. Rakitlah rangka *trainer kit* sesuai dengan desain rancangan pada gambar 3.2 yang telah dibuat (gambar rancangan terdapat pada bab 3).
3. Kemudian rangkai sensor yang akan digunakan dengan Arduino UNO.
4. Gambar desain rangka alat dan sensor dapat dilihat pada gambar 3.2 dan 3.3 (gambar terdapat pada bab 3).

b. Perakitan sensor dengan Arduino UNO pada *trainer kit*

1. Persiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan untuk perakitan sensor dengan papan mikrokontroler Arduino UNO (telah disebutkan pada bab 3).
2. Kemudian lakukan pemasangan sensor jarak (HCSR-04) yang memiliki 4 kaki, dimana 4 kaki tersebut akan dihubungkan dengan papan mikrokontroler Arduino UNO.
3. Hubungkan kaki pin vcc (+) pada sensor HCSR-04 dengan pin 5V yang terdapat pada Arduino UNO menggunakan kabel *jumper male to female*.
4. Hubungkan kaki pin GND pada sensor HCSR-04 dengan pin GND yang terdapat pada Arduino UNO menggunakan kabel *jumper male to female*.
5. Hubungkan kaki *trig* pin pada sensor HCSR-04 dengan digital pin 11 yang terdapat pada Arduino UNO menggunakan kabel *jumper male to female*.
6. Hubungkan kaki *echo* pin pada sensor HCSR-04 dengan digital pin 12 yang terdapat pada Arduino UNO menggunakan kabel *jumper male to female*.
7. Langkah selanjutnya yaitu memasang I2C LCD 16x2 yang memiliki 4 kaki, dimana 4 kaki tersebut akan dihubungkan dengan papan mikrokontroler Arduino UNO.

8. Hubungkan kaki vcc (+) pin pada I2C dengan pin 5V yang terdapat pada Arduino UNO menggunakan kabel *jumper male to female*.
9. Hubungkan kaki pin GND pada I2C dengan pin GND yang terdapat pada Arduino UNO menggunakan kabel *jumper male to female*.
10. Hubungkan kaki *SDA* pin pada I2C dengan analog pin 4 yang terdapat pada Arduino UNO menggunakan kabel *jumper male to female*.
11. Hubungkan kaki *SCL* pin pada I2C dengan analog pin 5 yang terdapat pada Arduino UNO menggunakan kabel *jumper male to female*.
12. Untuk memudahkan pemasangan sensor dengan Arduino dapat dilihat pada gambar 3.3 (terdapat pada bab 3).
13. Kemudian lakukan pemrograman pada papan mikrokontroler Arduino UNO dengan menggunakan *software* IDE Arduino.
14. Langkah terakhir pasang sensor dan Arduino UNO pada trainerkit sesuai gambar 3.2 (pada bab 3).

c. Program Arduino UNO pada *Trainer Kit*

1. Siapkan semua alat dan bahan yang digunakan dalam proses pemrograman Arduino UNO pada *trainer kit*.
2. Program papan mikrokontroler Arduino UNO menggunakan *software* IDE Arduino.
3. Buka *software* IDE Arduino yang telah terinstal pada laptop
4. Karena LCD yang digunakan menggunakan I2C LCD LM016L (16x2), maka perlu menambahkan *library* LiquidCrystal_I2C kedalam *software* IDE Arduino.
5. Klik menu *sketch* , klik *add file* dan masukkan *library* sensor LiquidCrystal_I2C (*library* dapat di *download* di internet secara gratis).
6. Kemudian lakukan pemrograman pada jendela program yang ada pada *software* IDE Arduino menggunakan kode program pada lampiran c.
7. Setelah selesai melakukan pemrograman klik *verify* atau simbol centang (✓) pada menu *software* IDE Arduino.
8. Setelah klik *verify* dan hasilnya menunjukkan *done compiling* maka program siap di *upload* ke dalam papan mikrokontroler Arduino UNO

jika ada kesalahan periksa kembali penulisan program dan lakukan *verivy* ulang sampai program menunjukkan *done compiling*.

9. Langkah selanjutnya hubungkan papan mikrokontroler Arduino UNO dengan laptop menggunakan kabel port USB.
10. *Upload* program yang telah selesai dengan klik menu *upload* atau simbol (→) pada menu *software* IDE Arduino.
11. Pastikan *upload* berhasil atau muncul perintah *done uploading*.



Lampiran C Kode Program IDE Arduino

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
const int trigPin = 1; // TRIGGER PIN PADA SENSOR ULTRASONIK
const int echoPin = 2; // ECHO PIN PADA SENSOR ULTRASONIK

long durations;
int distance;

void setup() {
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  pinMode (trigPin, OUTPUT);
  pinMode (echoPin, INPUT);
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  lcd.clear();
  digitalWrite (trigPin, LOW);
  delayMicroseconds (2);

  digitalWrite (trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds (10);
  digitalWrite (trigPin, LOW);

  durations = pulseIn (echoPin, HIGH);
  distance = durations*0.034/2;

  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Jarak = ");
  lcd.print(distance); //MENAMPILKAN JARAK PADA LCD 16x2
  lcd.print(" cm");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print(distance);
  delay(2000);
}
```

Lampiran D Rincian cara penggunaan trainer kit

Cara penggunaan *trainer kit*

Langkah penggunaan *trainer kit* antara lain :

1. Menyiapkan semua alat dan bahan yang akan digunakan (pada bab 3), usahakan laptop sudah terinstal aplikasi Arduino
2. Menghubungkan laptop yang sudah terinstal aplikasi Arduino UNO dengan *trainer kit* yaitu port USB Arduino UNO.
3. Timbang massa benang yang akan digunakan (disebutkan pada bab 3) dengan menggunakan neraca digital.
4. Menghubungkan ujung *ticker timer* dengan tali sepanjang 70 cm yang ujung lainnya diikat dengan beban 10 gram ke katrol yang digantung pada papan percobaan
5. Hidupkan *power supply*, kondisikan tegangan inputnya sebesar 6 Volt lalu mengamati bentuk gelombang stasioner yang terjadi.
6. Tarik sensor HCSR-04 yang terdapat dibawah tali menuju simpul gelombang, dan berikan batas pada 1 simpul gelombang tepat pada 1 gelombang. Catatlah panjang gelombang yang telah diukur oleh sensor HCSR-04 yang tertera pada LCD 16x2.
7. Ulangi langkah 3,4,5 dan 6 menggunakan jenis tali yang lainnya (disebutkan pada bab 3).
8. Setelah selesai, maka carilah cepat rambat gelombang tali pada masing-masing jenis bahan tali. Nilai cepat rambat gelombang tali dapat dihitung dengan cara

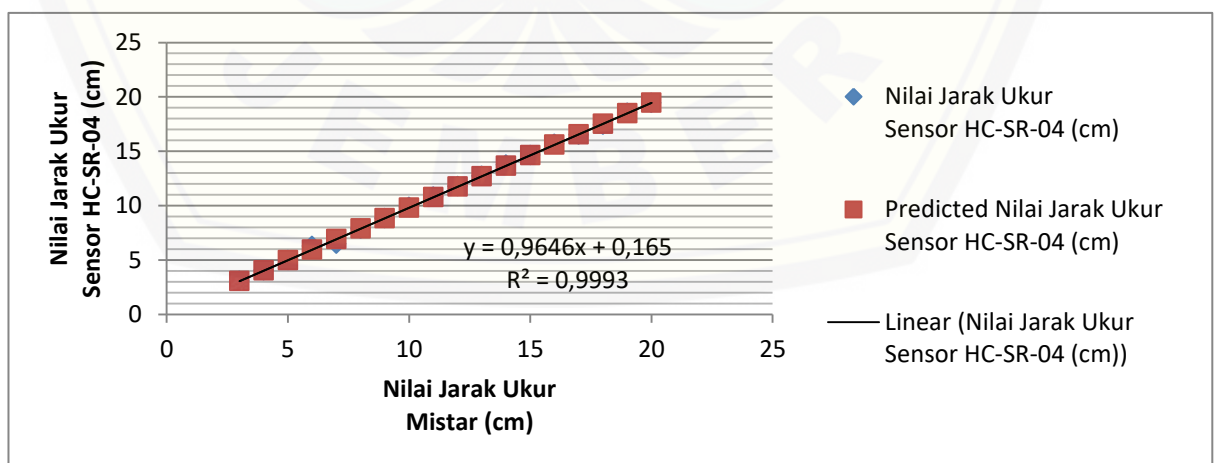
$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

9. Buatlah kesimpulan dari hasil pengamatan dan perhitungan yang telah dilakukan.

Lampiran E Tabel perbandingan hasil kalibrasi alat

1. Tabel perbandingan sensor jarak dengan mistar buatan pabrik

No	Nilai Jarak Ukur Mistar (cm)	Nilai Jarak Ukur Sensor HC-SR-04 (cm)	Error (%)
1	3,00	3,06	0,02
2	4,00	4,03	0,01
3	5,00	4,99	0,00
4	6,00	6,26	0,04
5	7,00	6,49	-0,07
6	8,00	7,86	-0,02
7	9,00	8,83	-0,02
8	10,00	9,86	-0,01
9	11,00	10,80	-0,02
10	12,00	11,77	-0,02
11	13,00	12,73	-0,02
12	14,00	13,74	-0,02
13	15,00	14,64	-0,02
14	16,00	15,67	-0,02
15	17,00	16,53	-0,03
16	18,00	17,43	-0,03
17	19,00	18,51	-0,03
18	20,00	19,45	-0,03



2. Tabel data hasil uji coba lapang *trainer kit*

Jenis Bahan Tali	Rapat Massa Tali (kg/m)	Panjang Tali (m)	Massa Beban Gantung (kg)	Gaya Tegang Tali (N)	Panjang Gelombang (cm)	Cepat Rambat Gelombang (m/s)
Nilon	0,000495	0,7	0,02	0,2	57,37	20,10075631
	0,000495		0,02	0,2	57,57	20,10075631
	0,000495		0,02	0,2	57,16	20,10075631
	0,000495		0,02	0,2	57,62	20,10075631
	0,0004975		0,02	0,2	57,69	20,05018828
Rafia	0,001104	0,7	0,02	0,2	48,75	13,45954755
	0,001096		0,02	0,2	48,85	13,50858067
	0,001104		0,02	0,2	48,73	13,45954755
	0,0011		0,02	0,2	48,85	13,48399725
	0,001092		0,02	0,2	48,73	13,53329905
Polyester	0,00114	0,7	0,02	0,2	42,55	13,24532357
	0,001136667		0,02	0,2	42,45	13,26473065
	0,001143333		0,02	0,2	42,57	13,22600143
	0,001143333		0,02	0,2	42,55	13,22600143
	0,001146667		0,02	0,2	42,45	13,20676359
Rami	0,001406667	0,7	0,02	0,2	39,32	11,9239295
	0,001406667		0,02	0,2	39,3	11,9239295
	0,001406667		0,02	0,2	39,48	11,9239295
	0,001406667		0,02	0,2	39,2	11,9239295
	0,00141		0,02	0,2	39,22	11,90982668
Satin Cina	0,001913333	0,7	0,02	0,2	27,19	10,22397265
	0,001913333		0,02	0,2	27,19	10,22397265
	0,001913333		0,02	0,2	27,75	10,22397265
	0,001913333		0,02	0,2	27,32	10,22397265
	0,001913333		0,02	0,2	27,21	10,22397265

Lampiran F Perhitungan data uji coba

Panjang tali (l) = 70 cm = 0,7 m

massa beban (m) = 20 gram = 0,02 kg

Gaya Tegang Tali (F_T) = W

$$F_T = m \cdot g$$

$$= 0,02 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$= 0,196 \text{ N}$$

1. Tali Nilon

a. $\mu = 0,000495 \text{ kg/m}$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{0,196 \text{ N}}{0,000495 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}}$$

$$v = 19,897 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

b. $\mu = 0,000495 \text{ kg/m}$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{0,196 \text{ N}}{0,000495 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}}$$

$$v = 19,897 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

c. $\mu = 0,000495 \text{ kg/m}$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{0,196 \text{ N}}{0,000495 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}}$$

$$v = 19,897 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

d. $\mu = 0,000495 \text{ kg/m}$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{0,196 \text{ N}}{0,000495 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}}$$

$$v = 19,897 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

e. $\mu = 0,000498 \text{ kg/m}$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{0,196 \text{ N}}{0,000498 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}}$$

$$v = 19,8487 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

2. Tali Polyester

$\mu = 0,00114 \text{ kg/m}$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{0,196 \text{ N}}{0,00114 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}}$$

$$v = 13,3243 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\mu = 0,001137 \text{ kg/m}$$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{0,196 \text{ N}}{0,001137 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}}$$

$$v = 13,3728 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\mu = 0,00114 \text{ kg/m}$$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{0,196 \text{ N}}{0,00114 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}}$$

$$v = 13,0931 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\mu = 0,00114 \text{ kg/m}$$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{0,196 \text{ N}}{0,00114 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}}$$

$$v = 13,0931 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\mu = 0,001137 \text{ kg/m}$$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{0,2 \text{ N}}{0,001137 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}}$$

$$v = 13,0740 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3. Tali Rafia

$$\mu = 0,001104 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{0,196 \text{ N}}{0,001104 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}}$$

$$v = 13,3243 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\mu = 0,001096 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{0,196 \text{ N}}{0,001096 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}}$$

$$v = 13,3728 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\mu = 0,001104 \frac{kg}{m}$$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{0,196 N}{0,001104 \frac{kg}{m}}}$$

$$v = 13,3243 \frac{m}{s}$$

$$\mu = 0,0011 \frac{kg}{m}$$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{0,196 N}{0,00110 \frac{kg}{m}}}$$

$$v = 13,3485 \frac{m}{s}$$

$$\mu = 0,001092 \frac{kg}{m}$$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{0,196 N}{0,001092 \frac{kg}{m}}}$$

$$v = 13,3973 \frac{m}{s}$$

4. Tali Rami

$$\mu = 0,001407 \frac{kg}{m}$$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{0,196 N}{0,001407 \frac{kg}{m}}}$$

$$v = 11,8041 \frac{m}{s}$$

$$\mu = 0,001407 \frac{kg}{m}$$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{0,196 N}{0,001407 \frac{kg}{m}}}$$

$$v = 11,8041 \frac{m}{s}$$

$$\mu = 0,001407 \frac{kg}{m}$$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{0,196 N}{0,001407 \frac{kg}{m}}}$$

$$v = 11,8041 \frac{m}{s}$$

$$\mu = 0,001407 \frac{kg}{m}$$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{0,196 \text{ N}}{0,001407 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}}$$

$$v = 11,8041 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\mu = 0,00141 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{0,196 \text{ N}}{0,00141 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}}$$

$$v = 11,7901 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

5. Tali Satin Cina

$$\mu = 0,001913 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{0,196 \text{ N}}{0,001913 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}}$$

$$v = 10,1212 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\mu = 0,001913 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{0,196 \text{ N}}{0,001913 \frac{\text{kg}}{\text{m}}}}$$

$$v = 10,1212 \frac{m}{s}$$

$$\mu = 0,001913 \frac{kg}{m}$$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{0,196 N}{0,001913 \frac{kg}{m}}}$$

$$v = 10,1212 \frac{m}{s}$$

$$\mu = 0,001913 \frac{kg}{m}$$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{0,196 N}{0,001913 \frac{kg}{m}}}$$

$$v = 10,1212 \frac{m}{s}$$

$$\mu = 0,001913 \frac{kg}{m}$$

$$v = \sqrt{\frac{F_T}{\mu}}$$

$$v = \sqrt{\frac{0,196 N}{0,001913 \frac{kg}{m}}}$$

$$v = 10,1212 \frac{m}{s}$$

Perhitungan Ralat

1.1 Ralat rapat massa tali (μ)

nilon

n	myu	myu - myu rata-rata	(myu - myu rata-rata) ²		
				rata-rata	0,000496
1	0,000495	0,0000	0,0000	kesalahan mutlak	0,0000
2	0,000495	0,0000	0,0000	kesalahan relatif	0,00%
3	0,000495	0,0000	0,0000	keseaksamaan	100,00%
4	0,000495	0,0000	0,0000		
5	0,000498	0,0000	0,0000		
	0,000496		0,0000		

rafia

n	myu	myu - myu rata-rata	(myu - myu rata-rata) ²		
				rata-rata	0,001099
1	0,001104	0,0000	0,0000	kesalahan mutlak	0,0000
2	0,001096	0,0000	0,0000	kesalahan relatif	0,00%
3	0,001104	0,0000	0,0000	keseaksamaan	100,00%
4	0,001100	0,0000	0,0000		
5	0,001092	0,0000	0,0000		
	0,001099		0,0000		

polyester

n	myu	myu - myu rata-rata	(myu - myu rata-rata) ²		
				rata-rata	0,001142
1	0,001140	0,0000	0,0000	kesalahan mutlak	0,0000
2	0,001137	0,0000	0,0000	kesalahan relatif	0,00%
3	0,001143	0,0000	0,0000	keseaksamaan	100,00%
4	0,001143	0,0000	0,0000		
5	0,001147	0,0000	0,0000		
	0,001142		0,0000		

rami

n	myu	myu - myu rata-rata	(myu - myu rata-rata) ²		
				rata-rata	0,001408
1	0,001407	0,0000	0,0000	kesalahan mutlak	0,0000
2	0,001407	0,0000	0,0000	kesalahan relatif	0,00%
3	0,001407	0,0000	0,0000	keseksamaan	100,00%
4	0,001407	0,0000	0,0000		
5	0,00141	0,0000	0,0000		
	0,001408		0,0000		

satin cina

n	myu	myu - myu rata-rata	(myu - myu rata-rata) ²		
				rata-rata	0,001913
1	0,001913	0,0000	0,0000	kesalahan mutlak	0,0000
2	0,001913	0,0000	0,0000	kesalahan relatif	0,00%
3	0,001913	0,0000	0,0000	keseksamaan	100,00%
4	0,001913	0,0000	0,0000		
5	0,001913	0,0000	0,0000		
	0,001913		0,0000		

1.2 Ralat Panjang Gelombang (λ)

nilon

n	lambda	lambda - lambda rata-rata	(lambda - lambda rata-rata) ²		
				rata-rata	0,5759
1	0,5737	-0,0022	0,0000	kesalahan mutlak	0,0000
2	0,5757	-0,0002	0,0000	kesalahan relatif	0,00%
3	0,5762	0,0010	0,0000	keseksamaan	100,00%
4	0,5769	0,0010	0,0000		
5	0,5769	0,0010	0,0000		
	0,5759		0,0000		

rafia

n	lambda	lambda - lambda rata-rata	(lambda - lambda rata-rata)^2		
				rata-rata	0,4878
1	0,4875	-0,0003	0,0000	kesalahan mutlak	0,0000
2	0,4885	0,0007	0,0000	kesalahan relatif	0,00%
3	0,4873	0,0007	0,0000	keeksamaan	100,00%
4	0,4885	0,0007	0,0000		
5	0,4873	-0,0005	0,0000		
	0,4878		0,0000		

polyester

n	lambda	lambda - lambda rata-rata	(lambda - lambda rata-rata)^2		
				rata-rata	0,4251
1	0,4255	0,0004	0,0000	kesalahan mutlak	0,0000
2	0,4245	-0,0006	0,0000	kesalahan relatif	0,00%
3	0,4257	0,0004	0,0000	keeksamaan	100,00%
4	0,4255	0,0004	0,0000		
5	0,4245	-0,0006	0,0000		
	0,4251		0,0000		

rami

n	lambda	lambda - lambda rata-rata	(lambda - lambda rata-rata)^2		
				rata-rata	0,3930
1	0,3932	0,0002	0,0000	kesalahan mutlak	0,0000
2	0,393	0,0000	0,0000	kesalahan relatif	0,00%
3	0,3948	-0,0010	0,0000	keeksamaan	100,00%
4	0,392	-0,0010	0,0000		
5	0,3922	-0,0008	0,0000		
	0,3930		0,0000		

satin cina

n	lambda	lambda - lambda rata-rata	(lambda - lambda rata-rata)^2		
				rata-rata	0,2733
1	0,2719	-0,0014	0,0000	kesalahan mutlak	0,0000
2	0,2719	-0,0014	0,0000	kesalahan relatif	0,00%
3	0,2775	-0,0001	0,0000	keseksamaan	100,00%
4	0,2732	-0,0001	0,0000		
5	0,2721	-0,0012	0,0000		
	0,2733		0,0000		

1.3 Ralat Cepat Rambat Gelombang (v)

nilon

n	v	v - v rata-rata	(v - v rata-rata)^2		
				rata-rata	19,8887
1	19,8987	0,0100	0,0001	kesalahan mutlak	0,0001
2	19,8987	0,0100	0,0001	kesalahan relatif	0,00%
3	19,8987	0,0100	0,0001	keseksamaan	100,00%
4	19,8987	0,0100	0,0001		
5	19,8487	-0,0400	0,0016		
	19,8887		0,0020		

rafia

n	v	v - v rata-rata	(v - v rata-rata)^2		
				rata-rata	13,35344
1	13,3243	-0,0291	0,0008	kesalahan mutlak	0,0002
2	13,3728	0,0194	0,0004	kesalahan relatif	0,00%
3	13,3243	-0,0049	0,0000	keseksamaan	100,00%
4	13,3485	-0,0049	0,0000		
5	13,3973	0,0439	0,0019		
	13,3534		0,0032		

polyester

n	v	v - v rata-rata	(v - v rata-rata) ²		
				rata-rata	13,10076
1	13,1122	0,0114	0,0001	kesalahan mutlak	0,0001
2	13,1314	0,0306	0,0009	kesalahan relatif	0,00%
3	13,0931	-0,0077	0,0001	keseksamaan	100,00%
4	13,0931	-0,0077	0,0001		
5	13,074	-0,0268	0,0007		
	13,1008		0,0019		

rami

n	v	v - v rata-rata	(v - v rata-rata) ²		
				rata-rata	11,8013
1	11,8041	0,0028	0,0000	kesalahan mutlak	0,0000
2	11,8041	0,0028	0,0000	kesalahan relatif	0,00%
3	11,8041	0,0028	0,0000	keseksamaan	100,00%
4	11,8041	0,0028	0,0000		
5	11,7901	-0,0112	0,0001		
	11,8013		0,0002		

satın cina

n	v	v - v rata-rata	(v - v rata-rata) ²		
				rata-rata	10,1212
1	10,1212	0,0000	0,0000	kesalahan mutlak	0,0000
2	10,1212	0,0000	0,0000	kesalahan relatif	0,00%
3	10,1212	0,0000	0,0000	keseksamaan	100,00%
4	10,1212	0,0000	0,0000		
5	10,1212	0,0000	0,0000		
	10,1212		0,0000		

Lampiran G Foto Kegiatan

1. Foto perancangan *trainer kit* dan sistem sensor



2. Kalibrasi sensor jarak HC-SR04



3. Pengambilan data uji coba lapang

