



**RANCANG BANGUN *TRAINER KIT* : PENGARUH SUHU TERHADAP
CEPAT RAMBAT BUNYI PADA PIPA ORGANA TERTUTUP
BERBANTU MIKROKONTROLER ARDUINO UNO**

SKRIPSI

Oleh:

Wahyu Dian Wisesa

150210102028

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

2019



**RANCANG BANGUN *TRAINER KIT* : PENGARUH SUHU TERHADAP
CEPAT RAMBAT BUNYI PADA PIPA ORGANA TERTUTUP
BERBANTU MIKROKONTROLER ARDUINO UNO**

SKRIPSI

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

Oleh:

Wahyu Dian Wisesa

150210102028

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

2019

PERSEMBAHAN

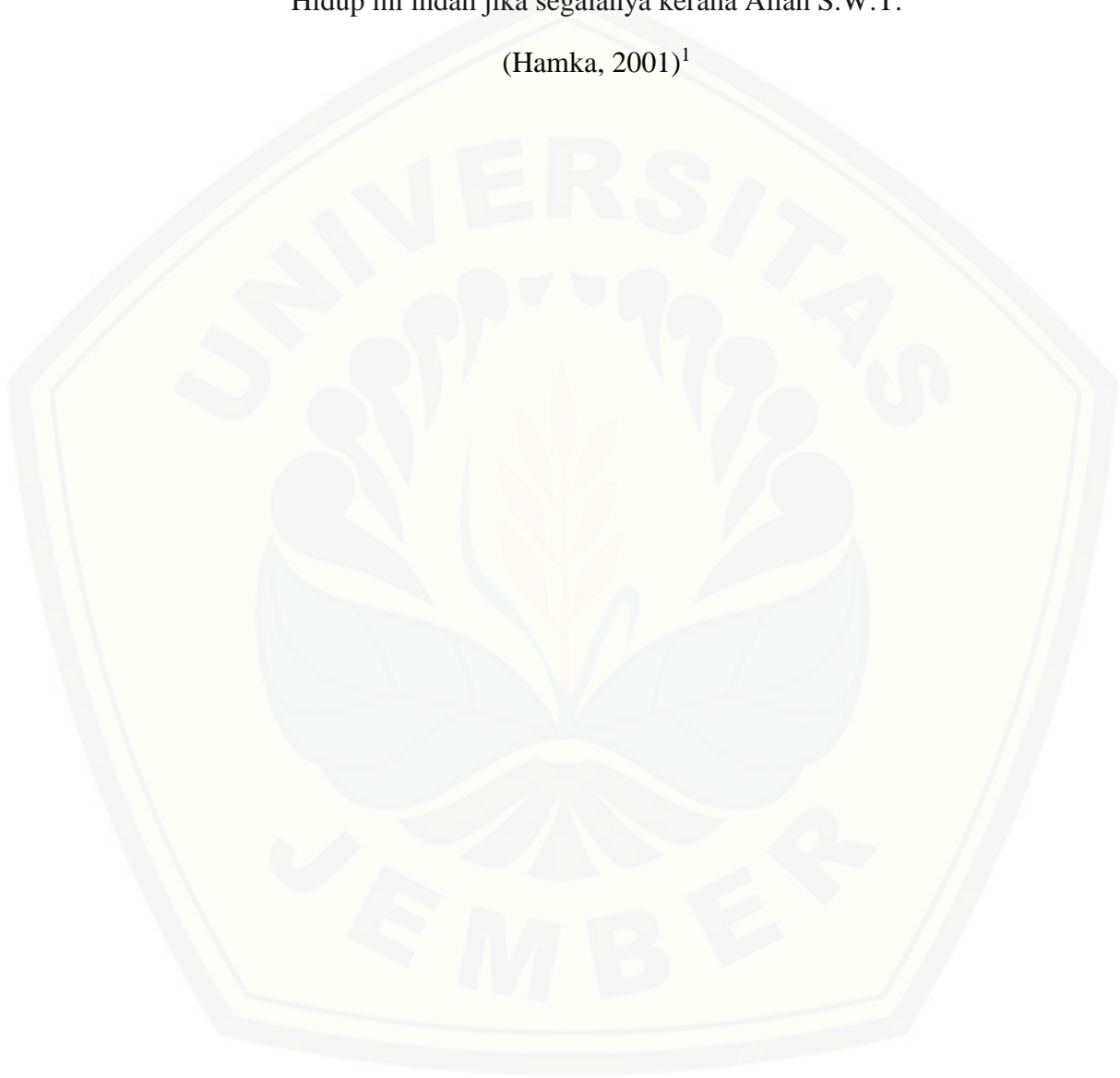
Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang serta sholawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW, dengan segala rasa syukur dan ikhlas kupersembahkan skripsi ini untuk:

1. Kedua orang tuaku, Ibunda Sriani dan Ayahanda Tumirin. Terima kasih atas dukungan, doa, dan curahan kasih sayang yang telah diberikan selama ini tanpa putus demi kelancaran menuntut ilmu;
2. Bapak Ibu guru sejak TK sampai dengan SMA dan Bapak Ibu dosen Perguruan Tinggi yang telah memberikan ilmu dan membimbing dengan penuh kesabaran;
3. Almamater Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember;

MOTTO

Dalam kerendahan diri, ada ketinggian budi. Dalam kemiskinan harta, ada kekayaan jiwa. Dalam kesempitan hidup, ada keluasaan ilmu.
Hidup ini indah jika segalanya kerana Allah S.W.T.

(Hamka, 2001)¹



¹ Hamka. 2001. *Di Bawah Lindungan Ka'bah*. PT Bulan Bintang. Jakarta. ISBN: 97979 – 418 – 063 - 7

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Wahyu Dian Wisesa

NIM : 150210102028

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul ” **Rancang Bangun *Trainer Kit* : Pengaruh Suhu Terhadap Cepat Rambat Bunyi Pada Pipa Organa Tertutup Berbantu Mikrokontroler Arduino Uno**” adalah benar-benar hasil karya saya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi mana pun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, April 2019
Yang Menyatakan,

Wahyu Dian Wisesa
NIM 150210102028

SKRIPSI

**RANCANG BANGUN *TRAINER KIT* : PENGARUH SUHU TERHADAP
CEPAT RAMBAT BUNYI PADA PIPA ORGANA TERTUTUP
BERBANTU MIKROKONTROLER ARDUINO UNO**

Oleh:

Wahyu Dian Wisesa

150210102028

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

Dosen Pembimbing Anggota : Drs. Bambang Supriadi, M.Sc

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “**Rancang Bangun *Trainer Kit* : Pengaruh Suhu Terhadap Cepat Rambat Bunyi Pada Pipa Organa Tertutup Berbantu Mikrokontroler Arduino Uno**” karya Wahyu Dian Wisesa telah di uji dan di sahkan pada:

Hari, tanggal :

Tempat :

Tim penguji

Ketua,

Sekretaris,

Drs. Alex Harijanto, M.Si

NIP. 196411171991031001

Drs. Bambang Supriadi, M.Sc

NIP. 196807101993021001

Anggota I,

Anggota II,

Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si.

NIP. 196204011987021001

Dr. Yushardi, S.Si., M.Si.

NIP. 196504201995121001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Universitas Jember,

Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D

NIP. 196808021993031004

RINGKASAN

Rancang Bangun *Trainer Kit* : Pengaruh Suhu Terhadap Cepat Rambat Bunyi Pada Pipa Organa Tertutup Berbantu Mikrokontroler Arduino Uno; Wahyu Dian Wisesa; 150210102028; 2019; 68 halaman; Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember.

Dalam fisika bunyi merupakan salah satu topik yang sangat menarik untuk di pelajari dan secara langsung bunyi sudah kita terapkan dalam kehidupan sehari-hari. Bunyi sangat menarik di pelajari karena banyak dari contoh-contoh bunyi yang dapat kita temukan di sekitar kita. Bunyi merupakan salah satu fenomena yang abstrak karena tidak dapat di amati secara langsung dengan mata tetapi dapat di amati melalalu indra pendengaran. Salah satu cara untuk dapat mengetahui cepat rambat gelombang bunyi adalah dengan mengamati resonansi gelombang bunyi. Resonansi sangat berguna karena dapat digunakan untuk mencari nilai dari besaran-besaran yang berkaitan dengan gelombang bunyi seperti, nilai dari cepat rambat, panjang gelombang, dan nada dasar dari suatu sumber bunyi. Peristiwa resonansi dapat di amati salah satunya dengan menggunakan bantuan pipa organa.

Selain itu di ketahui bahwa bunyi terjadi karena sebuah benda bergetar tetapi belum dapat menunjukkan apa saja yang dapat mempengaruhi kecepatan gelombang bunyi. Salah satu yang mempengaruhi cepat rambat gelombang bunyi yang melewati medium gas adalah suhu. Maka untuk menjelaskan pengaruh tersebut sebuah di rancanglah sebuah alat peraga (*trainer kit*) menggunakan alat bantu berupa mikrokontroler arduino uno. Di gunakannya mikrokontroler arduino uno karena untuk menjelaskan pengaruh suhu terhadap cepat rambat gelombang bunyi perlu di pergunakan juga sensor. Penggunaan mikrokontroler arduino uno di pilih karena mudah pengoprasiannya dan dapat menjalankan sensor-sensor yang di pakai secara bersamaan sehingga lebih efisien.

Dari uraian diatas tujuan dari penelitian ini adalah: (1) Mendeskripsikan desain rancang bangun *trainer kit* pengaruh suhu terhadap cepat rambat bunyi pada pipa organa tertutup. (2) Menguji pengaruh suhu terhadap cepat rambat bunyi pada

trainer kit hasil rancangan. Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan dengan desain pengembangan menurut Nieven, McKenney & Akker (2006) dan Plomp (2010) meliputi: (1) *preliminary research*, (2) *prototyping stage*, (3) *assessment stage* untuk menghasilkan suatu produk rancang bangun *trainer kit* : pengaruh suhu terhadap cepat rambat bunyi pada pipa organa tertutup berbantu mikrokontroler arduino uno. Teknik validasi yang digunakan untuk mengetahui validitas *trainer kit* rancangan adalah dengan membandingkan data hasil ukur *trainer kit* dengan data alat ukur yang sudah tersetandar atau alat ukur buatan pabrik.

Berdasarkan hasil analisis data yang telah dilakukan setelah penelitian dilaksanakan, menunjukkan bahwa *trainer kit* rancangan peneliti telah layak untuk digunakan sebagai alat peraga pengaruh suhu terhadap cepat rambat bunyi setelah dilakukan kalibrasi dengan alat standar produksi pabrik. Tingkat kesalahan atau eror pada *trainer kit* rancangan berkisar -5,44% sampai 1,85% dibandingkan alat produksi pabrik. Dan data pengaruh suhu terhadap cepat rambat bunyi yang dihasilkan *trainer kit* rancangan sudah sesuai dengan dasar teori yaitu berbanding lurus.

Dari analisis yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa: (1) rancang bangun *trainer kit*: pengaruh suhu terhadap cepat rambat bunyi pada pipa organa tertutup dengan bantuan mikrokontroler arduino uno untuk mengendalikan Sound sensor, temperatur sensor dan ultrasonic sensor setelah dikalibrasi dengan produk standar pabrik dikatakan valid dengan nilai error kurang dari 1%; (2) Data pengaruh suhu terhadap cepat rambat gelombang bunyi yang di peroleh dari alat rancangan menunjukkan hasil yang berbanding lurus atau jika suhu naik maka cepat rambat bunyi juga naik.

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 “Pengaruh Suhu Terhadap Cepat Rambat Bunyi Pada Pipa Organa Tertutup Berbantu Mikrokontroler Arduino Uno”. 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.

Penyusun skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Drs. Dafik, M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember yang telah memberikan surat pengantar izin permohonan penelitian;
2. Ibu Dr. Dwi Wahyuni, M.Kes, selaku Ketua Jurusan Pendidikan MIPA Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Jember yang telah menyetujui pengajuan judul dan pembimbingan skripsi;
3. Bapak Drs. Bambang Supriadi, M.Sc. selaku Ketua Program Studi Pendidikan Fisika yang telah memfasilitasi dalam izin melaksanakan skripsi;
4. Bapak Drs. Alex Harijanto, M.Si. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Bapak Drs. Bambang Supriadi, M.Sc. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu dan pikiran serta perhatiannya guna memberikan bimbingan pengarahan demi terselesainya penulisan skripsi ini;
5. Bapak Drs. Trapsilo Prihandono, M.Si. serta bapak Dr. Yushardi, S.Si., M.Si. sebagai Dosen Penguji Utama dan Dosen Penguji Anggota yang telah meluangkan waktu dan pikirannya guna memberikan pengarahan demi terselesainya penulisan skripsi ini;
6. Bapak Drs. Maryani, M.Pd selaku Dosen Pembimbing Akademik dan Seluruh Bapak dan Ibu dosen yang telah meluangkan waktu dan pikiran guna memberikan pengarahan selama menyelesaikan studi di Pendidikan Fisika;

7. Seluruh keluarga besar Bapak Tumirin dan Ibu Sriani serta Adikku Feby Citrasari yang selalu memberikan Do'a dan dukungan selama penulisan skripsi ini;
8. Seluruh Keluarga besar pelajar dan mahasiswa ponorogo di jember (KPMP-BK) yang telah memberikan dukungan dan semangat selama menjalani perkuliahan.
9. Teman-teman Program Studi Pendidikan Fisika angkatan 2015 yang juga memberikan dukungan dan semangat untuk peneliti;
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan dan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini.

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

Jember, April 2019

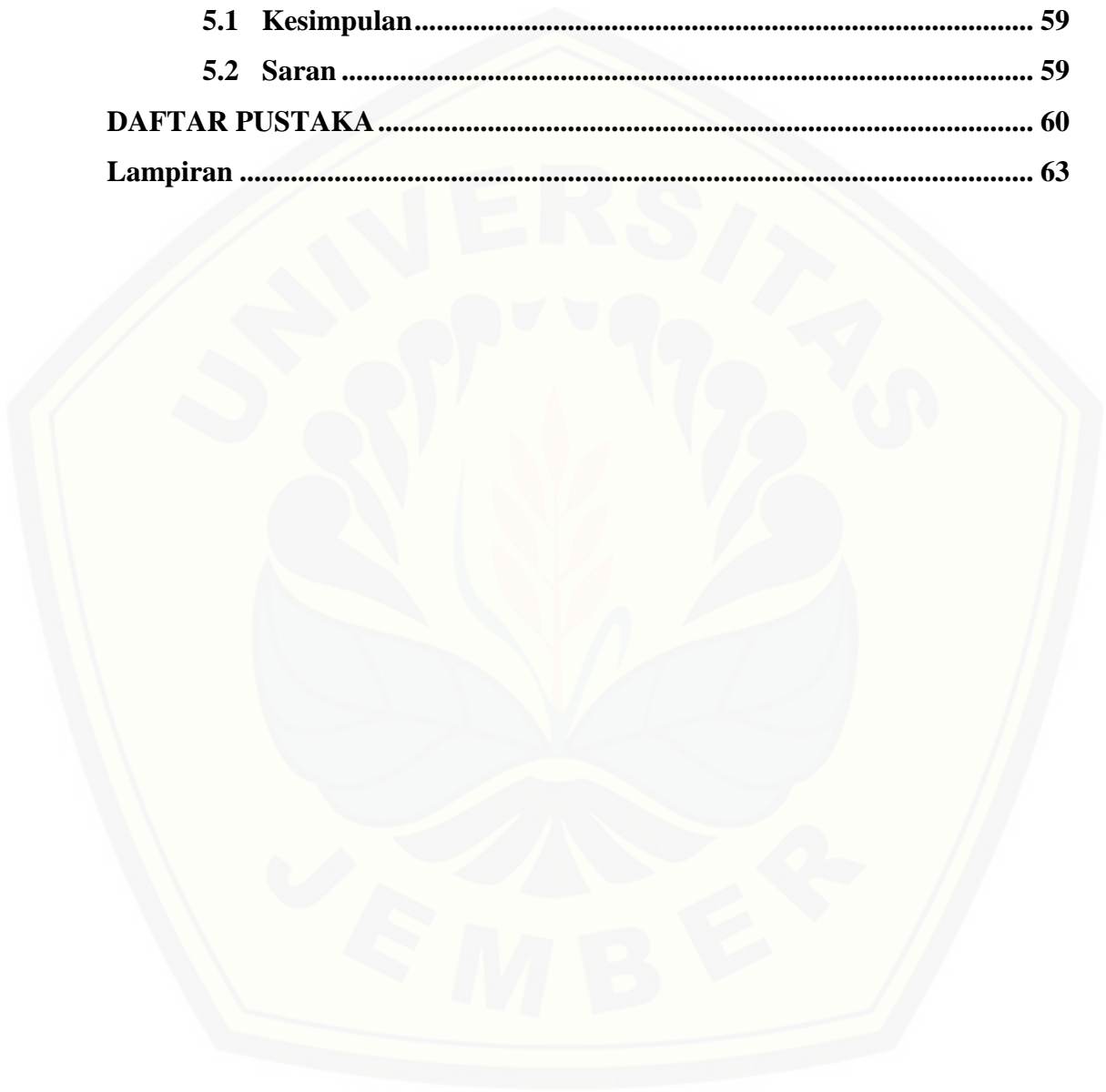
Penulis,

DAFTAR ISI

| | Halaman |
|--|-------------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| HALAMAN PERSEMBAHAN | ii |
| HALAMAN MOTTO | iii |
| HALAMAN PERNYATAAN..... | iiiv |
| HALAMAN PEMBIMBING | v |
| HALAMAN PENGESAHAN..... | vi |
| RINGKASAN | vii |
| PRAKATA | ix |
| DAFTAR ISI..... | xi |
| DAFTAR TABEL | xiv |
| DAFTAR GAMBAR..... | xv |
| DAFTAR LAMPIRAN | xvi |
| BAB 1. PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 3 |
| 1.3 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.4 Batasan Masalah | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Gelombang..... | 5 |
| 2.1.1 Gelombang Bunyi..... | 5 |
| 2.1.2 Medium perambatan bunyi..... | 6 |
| 2.1.3 Faktor yang mempengaruhi perambatan bunyi di udara | 7 |
| 2.1.4 Cepat rambat bunyi di udara | 8 |
| 2.1.5 Resonansi..... | 12 |
| 2.2 Suhu 12 | |
| 2.3 Pipa Organa..... | 13 |
| 2.3.1 Pipa organa tertutup..... | 13 |

| | | |
|---|--|----|
| 2.4 | Trainer Kit | 15 |
| 2.5 | Arduino Uno | 15 |
| 2.6 | Mikrokontroler Atmega 328 | 17 |
| 2.7 | Sensor Suhu dan Kelembapan (DHT11) | 18 |
| 2.8 | Sensor Suara (<i>Microphone</i>) | 19 |
| 2.9 | Sensor Jarak (Ultrasonik HC-SR04) | 21 |
| 2.10 | Software Tone Generator | 22 |
| 2.11 | Software Audio Frequency Counter | 23 |
| 2.12 | Sound Level Meter | 24 |
| 2.13 | Rancang Bangun <i>Trainer Kit</i> Pengaruh Suhu Terhadap Cepat Rambat Gelombang Bunyi Berbantu Mikrokontroler Arduino Uno | 24 |
| 2.14 | Desain Nieveen | 25 |
| BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN | | 27 |
| 3.1 | Jenis dan Desain Penelitian | 27 |
| 3.1.1 | Jenis penelitian | 27 |
| 3.1.2 | Desain penelitian | 27 |
| 3.2 | Tempat dan Waktu Uji Pengembangan | 27 |
| 3.3 | Variabel Penelitian dan Devinisi Operasional Variabel | 28 |
| 3.3.1 | Variabel penelitian | 28 |
| 3.3.2 | Definisi operasional variable | 28 |
| 3.4 | Prosedur Pengembangan | 29 |
| 3.4.1 | Tahap studi pendahuluan (<i>preliminary research</i>) | 30 |
| 3.4.2 | Tahap perancangan (<i>Prototyping Stage</i>) | 30 |
| 3.4.3 | Tahap penilaian (<i>Assessment Stage</i>)..... | 34 |
| 3.5 | Teknik Analisis Data | 34 |
| 3.5.1 | Tabel penyajian data..... | 35 |
| 3.5.2 | Analisis data | 37 |
| BAB. 4 HASIL DAN PEMBAHASAN | | 39 |
| 4.1 | Hasil Penelitian | 39 |
| 4.1.1 | Prosedur pembuatan rancang bangun <i>trainer kit</i> | 40 |

| | |
|---|-----------|
| 4.1.2 Validitas prototype | 45 |
| 4.1.3 Data uji coba lapang <i>trainer kit</i> | 51 |
| 4.2 Pembahasan | 53 |
| BAB. 5 PENUTUP | 59 |
| 5.1 Kesimpulan | 59 |
| 5.2 Saran | 59 |
| DAFTAR PUSTAKA | 60 |
| Lampiran | 63 |



DAFTAR TABEL

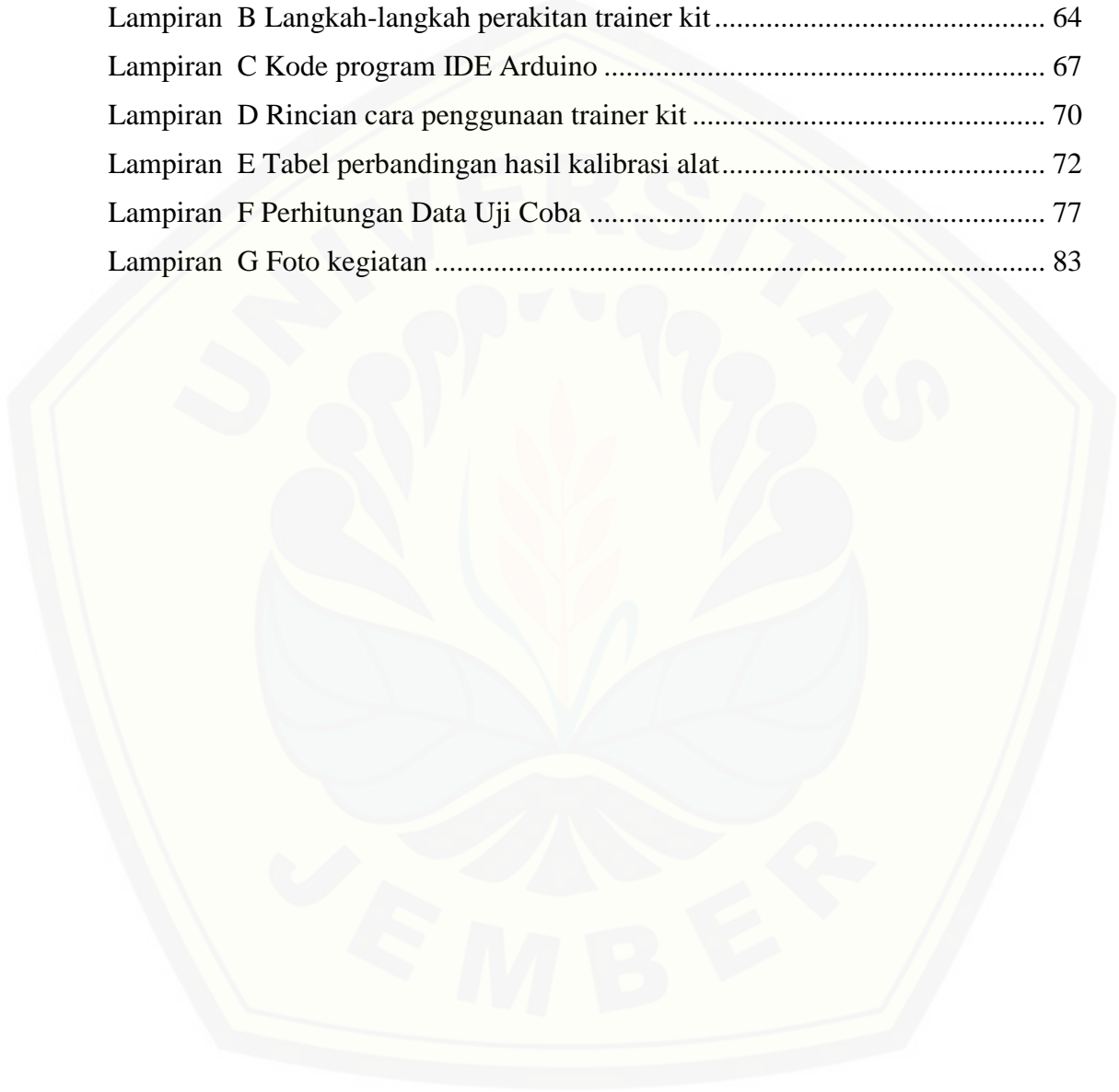
| | Halaman |
|--|---------|
| Tabel 2.1 Laju bunyi pada berbagai materi, pada suhu 20 ⁰ C..... | 7 |
| Tabel 2.2 Cepat rambat bunyi pada beberapa suhu..... | 11 |
| Tabel 2.3 Tahapan pengembangan prototyping | 26 |
| Tabel 3.1 Penyajian data hasil ukur kalibrasi sensor suhu DHT 11 | 35 |
| Tabel 3.2 Penyajian data hasil ukur kalibrasi sensor microphone KY037 | 35 |
| Tabel 3.3 Penyajian data kalibrasi frekuensi suara | 36 |
| Tabel 3.4 Penyajian data kalibrasi sensor ultrasonik HC-SR04 | 36 |
| Tabel 3.5 Penyajian data hasil ukur trainer kit rancangan | 36 |
| Tabel 4.1 Data hasil kalibrasi sensor suhu DHT11 | 46 |
| Tabel 4.2 Hasil analisis regresi data kalibrasi sensor suhu | 46 |
| Tabel 4.3 Data kalibrasi sensor jarak HC-SR04 | 47 |
| Tabel 4.4 Hasil analisis regresi data kalibrasi sensor jarak..... | 47 |
| Tabel 4.5 Data kalibrasi sensor suara..... | 48 |
| Tabel 4.6 Hasil analisis regresi data kalibrasi sensor suara | 49 |
| Tabel 4.7 Data kalibrasi frekuensi alat rancangan | 50 |
| Tabel 4.8 Hasil analisi regresi data kalibrasi frekuensi..... | 50 |
| Tabel 4.9 Data hasil <i>trainer kit</i> | 51 |
| Tabel 4.10 Data perbandingan nilai cepat rambat bunyi pada tabel 2.2 dengan cepat rambat bunyi dari persamaan regresi linier yang diperoleh peneliti | 52 |
| Tabel 4.11 Data perbandingan nilai cepat rambat bunyi hasil perhitungan rumus 2.15 dengan cepat rambat bunyi hasil persamaan regresi linier peneliti | 53 |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|--|---------|
| Gambar 2.1 Gelombang Bunyi Pada Pipa Organa Tertutup (Giancoli, 2001)..... | 14 |
| Gambar 2.2 Tampilan Muka Software Ide Arduino (Www.Arduino.Cc) | 16 |
| Gambar 2.3 Arduino Uno (Www.Arduino.Cc)..... | 17 |
| Gambar 2.4 Konfigurasi Pin Atmega 328 Pada Arduino (Www.Arduino.Cc)..... | 18 |
| Gambar 2.5 Konfigurasi Kaki Sensor Dht11 (Utama, 2016)..... | 18 |
| Gambar 2.6 Sensor Suara Ky037 (Sumber : Https://Www.Nyebarilmu.Com) | 20 |
| Gambar 2.7 Sensor Ultrasonik Hc-Sr04 | 22 |
| Gambar 2.8 Tampilan Muka Software Tone Generator..... | 23 |
| Gambar 2.9 Tampilan Muka <i>Software Audio Frequency Counter</i> | 23 |
| Gambar 2.10 Digital Sound Level Meter (SI-130)..... | 24 |
| Gambar 3.1 Bagan Modifikasi Model Pengembangan Nieveen..... | 29 |
| Gambar 3.2 Rancang Bangun <i>Trainer Kit</i> | 31 |
| Gambar 3.3 Sekema Rangkaian Sistem Sensor <i>Trainer Kit</i> | 31 |
| Gambar 3.4 Desain Blok Perancangan Alat..... | 32 |
| Gambar 3.5 Flowchart..... | 33 |
| Gambar 3.6 Grafik Pengaruh Suhu Terhadap Cepat Rambat Bunyi | 37 |
| Gambar 4.1 Rancangan <i>Trainer Kit</i> | 39 |
| Gambar 4.2 Desai Rangkaian Sistem Sensor <i>Trainer Kit</i> | 40 |
| Gambar 4.3 Rancang Bangun <i>Trainer Kit</i> | 43 |
| Gambar 4.4 Grafik Normalitas Data Kalibrasi Sensor Suhu | 46 |
| Gambar 4.5 Grafik Normalitas Data Kalibrasi Sensor Jarak | 48 |
| Gambar 4.6 Grafik Normalitas Data Kalibrasi Sensor Suara | 49 |
| Gambar 4.7 Grafik Normalitas Data Kalibrasi Frekuensi..... | 50 |
| Gambar 4.8 Grafik Hubungan Suhu Dengan Cepat Rambat Bunyi..... | 52 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | Halaman |
|---|---------|
| Lampiran A Matrik Penelitian | 63 |
| Lampiran B Langkah-langkah perakitan trainer kit | 64 |
| Lampiran C Kode program IDE Arduino | 67 |
| Lampiran D Rincian cara penggunaan trainer kit | 70 |
| Lampiran E Tabel perbandingan hasil kalibrasi alat..... | 72 |
| Lampiran F Perhitungan Data Uji Coba | 77 |
| Lampiran G Foto kegiatan | 83 |



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam fisika bunyi merupakan salah satu topik yang sangat menarik untuk di pelajari dan secara langsung bunyi sudah kita terapkan dalam kehidupan sehari-hari. Bunyi sangat menarik di pelajari karena banyak dari contoh-contoh bunyi yang dapat kita temukan di sekitar kita. Karena dalam keseharian kita tidak akan pernah lepas dari bunyi. Gelombang bunyi merupakan gelombang jenis longitudinal yaitu gelombang yang terjadi akibat rapatan dan renggangan dalam medium gas. Gelombang bunyi di hasilkan ketika sebuah benda, garpu tala yang di getarkan menyebabkan gangguan kerapatan medium. Gangguan kerapatan medium yang disebabkan oleh garpu tala yang bergetar ini mengakibatkan terjadinya cepat rambat bunyi dalam medium gas (Tipler,1991). Cepat rambat bunyi dalam medium gas juga dipengaruhi oleh suhu dan dalam medium padat dipengaruhi oleh sifat elastis benda. Syarat terjadinya bunyi ada tiga, yang pertama harus ada sumber bunyi dan seperti halnya dengan semua gelombang, sumber bunyi merupakan benda yang bergetar. Kedua, energi dipindahkan dari sumber dalam bentuk gelombang bunyi longitudinal melalui medium, dan ketiga bunyi dideteksi oleh telinga atau alat yang menerima. Jadi, bunyi merupakan gelombang longitudinal yang memerlukan medium dalam perambatannya (Astuti, 2016).

Bunyi merupakan salah satu fenomena yang abstrak karena tidak dapat di amati secara langsung dengan mata tetapi dapat di amati melalalu indra pendengaran. Salah satu cara untuk dapat mengetahui cepat rambat gelombang bunyi adalah dengan mengamati resonansi gelombang bunyi. Resonansi sangat berguna karena dapat digunakan untuk mencari nilai dari besaran-besaran yang berkaitan dengan gelombang bunyi seperti, nilai dari cepat rambat, panjang gelombang, dan nada dasar dari suatu sumber bunyi. Peristiwa resonansi dapat di amati salah satunya dengan menggunakan bantuan pipa organa. Maka dengan metode resonansi dapat di gunakan untuk mengetahui posisi dari amplitud minimum atau titik simpul gelombang bunyi yang menjalar dalam medium pipa organa sebagai variabel untuk menghitung panjang gelombang bunyi dan kecepatan

gelombang bunyi pada medium udara. Agar mempermudah dalam melakukan pengukuran dan pengamatan serta mempermudah penghitungan kecepatan gelombang bunyi di udara dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat mikrokontroler arduino uno agar data yang di peroleh lebih valid dan teliti.

Dalam pengukuran cepat rambat gelombang bunyi biasanya dengan menggunakan garpu tala dan pipa organa untuk mengukur cepat rambat gelombang bunyi di udara. Selain itu di ketahui bahwa bunyi terjadi karena sebuah benda bergetar tetapi belum dapat menunjukkan apa saja yang dapat mempengaruhi kecepatan gelombang bunyi. Salah satu yang mempengaruhi cepat rambat gelombang bunyi yang melewati medium gas adalah suhu. Cepat rambat bunyi di udara sangat dipengaruhi oleh suhu udara karena semakin tinggi suhu udara maka nilai cepat rambat bunyi akan semakin besar dan sebaliknya. Bunyi dapat merambat di udara bebas dengan kecepatan 340 m/s pada suhu 15⁰ C (Wulansari, 2013). Oleh karena itulah perlunya sebuah *trainer kit* atau alat peraga yang mampu menjelaskan pengaruh tersebut. Maka untuk menjelaskan pengaruh tersebut dirancanglah sebuah alat peraga (*trainer kit*) menggunakan alat bantu berupa mikrokontroler arduino uno. Di gunakannya mikrokontroler arduino uno karena untuk menjelaskan pengaruh suhu terhadap cepat rambat gelombang bunyi perlu di pergunakan juga sensor. Penggunaan mikrokontroler arduino uno di pilih karena mudah pengoprasiaannya dan dapat menjalankan sensor-sensor yang di pakai secara bersamaan sehingga lebih efisien.

Sudah banyak penelitian yang dilakukan dalam rangka mengembangkan alat peraga untuk mengetahui cepat rambat gelombang bunyi di udara. Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan Muhafid (2014) tentang pengembangan alat eksperimen bunyi dengan sistem akuisisi data berbasis smartphone android yang diperoleh menunjukkan bahwa alat eksperimen dalam penelitian ini mampu digunakan untuk pembelajaran pipa organa terbuka dan tertutup. Dari penelitian yang dilakukan diperoleh nilai cepat rambat gelombang bunyi di udara untuk pipa organa terbuka adalah $v = (340.9 \pm 0.3)$ m/s dengan tingkat akurasinya sebesar 98.1% dan presisinya sebesar 99.90 %. Dan untuk cepat rambat gelombang bunyi di udara pada pipa organa tertutup adalah $v = (341.8 \pm 0.1)$ m/s dengan tingkat

akurasinya sebesar 98.4 %, sedangkan untuk presisinya sebesar 99.97 %. Selain Muhafid penelitian lain juga dilakukan oleh Utami et al. (2014), tentang pengaruh frekuensi resonansi terhadap penurunan suhu di peroleh hasil bahwa kecepatan transfer kalor pada frekuensi resonansi tinggi semakin cepat. Namun dari alat yang dikembangkan oleh Muhafid dan Utami belum dapat menunjukkan apakah suhu pada mediumnya dapat mempengaruhi cepat rambat gelombang bunyi.

Berdasarkan uraian mengenai gelombang bunyi dan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, maka peneliti tertarik melakukan sebuah penelitian mengenai rancang bangun alat peraga atau *trainer kit*. Maka peneliti tertarik meneliti sebuah *trainer kit* yang mampu menjelaskan atau menunjukkan pengaruh suhu terhadap kecepatan gelombang bunyi. Sehingga peneliti membuat judul “Rancang Bangun *Trainer Kit* Pengaruh Suhu Terhadap Cepat Rambat Bunyi Pada Pipa Organa Tertutup Berbantu Mikrokontroler Arduino Uno“.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian pada latar belakang deperoleh rumusan masalah sebagai berikut:

- a. Bagaimanakah desain rancang bangun *trainer kit*; pengaruh suhu terhadap cepat rambat bunyi pada pipa organa tertutup ?
- b. Bagaimanakah grafik pengaruh suhu terhadap cepat rambat bunyi pada *trainer kit* rancangan ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah di susun maka penelitian ini bertujuan untuk:

- a. Mendeskripsikan desain rancang bangun *trainer kit* pengaruh suhu terhadap cepat rambat bunyi pada pipa organa tertutup.
- b. Menguji pengaruh suhu terhadap cepat rambat bunyi pada *trainer kit* hasil rancangan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Penelitian membahas pengaruh suhu terhadap cepat rambat gelombang bunyi
- b. Penelitian hanya dilakukan pada pipa organa tertutup.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat di peroleh dari penelitian ini adalah:

- a. Bagi peneliti, sebagai suatu wadah mengembangkan dan meningkatkan sumber daya manusia dalam menuju pendidik profesional.
- b. Bagi mahasiswa, sebagai acuan dalam mengembangkan penelitian yang berhubungan dengan pengembangan trainer kit sebagai alat belajar siswa.
- c. Bagi masyarakat, sebagai acuan dalam memahami pengaruh suhu terhadap kecepatan gelombang bunyi pada pipa organa tertutup.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Gelombang

Gelombang terjadi akibat adanya pergeseran atau suatu osilasi. Ada tiga jenis osilasi yaitu osilasi kedudukan, osilasi rapatan atau renggangan dan osilasi medan elektromagnetik. Dimana pergeseran atau getaran ini akan bergerak atau berjalan melalui medium. Gelombang memiliki dua buah energi yaitu energi kinetik dan energi potensial dari medium, transmisi energi terjadi saat gelombang melalui suatu medium ke medium lainnya. Menurut Halliday (2010), gelombang dikelompokkan menjadi tiga golongan tipe utama yaitu gelombang mekanik, gelombang elektromagnetik, dan gelombang materi. Gelombang mekanik adalah gelombang yang paling banyak kita ketahui hampir setiap hari kita menjumpainya yaitu contoh gelombang riak air, gelombang suara, dan lain-lain. Gelombang elektromagnetik ialah gelombang yang dapat merambat melalui ruang hampa contoh gelombang radio dan gelombang radar. Sedangkan gelombang materi adalah gelombang yang dikaitkan dengan elektron, proton dan partikel dasar lainnya.

2.1.1 Gelombang Bunyi

Bunyi adalah bentuk dari sebuah energi yang merambat dalam bentuk gelombang longitudinal. Gelombang bunyi merupakan gelombang mekanis longitudinal (Resnick, 1991:656). Gelombang longitudinal terjadi karena perapatan dan perenggangan dalam medium gas. Gelombang itu dihasilkan ketika sebuah benda, seperti garpu tala yang digetarkan dan menyebabkan gangguan kerapatan medium. Gangguan tersebut menyebabkan munculnya cepat rambat bunyi pada medium gas (Tipler, 1991). Syarat terjadinya bunyi ada tiga, yang pertama harus ada sumber bunyi dan seperti halnya dengan semua gelombang, sumber bunyi merupakan benda yang bergetar. Kedua, energi dipindahkan dari sumber dalam bentuk gelombang bunyi longitudinal melalui medium dan ketiga bunyi dideteksi oleh telinga atau alat yang menerima. Jadi, bunyi merupakan gelombang longitudinal yang memerlukan medium dalam perambatannya (Astuti, 2016). Dalam perambatannya bunyi memerlukan medium perambatan selain itu untuk mengetahui cepat rambat bunyi dapat di ketahui dengan mengamati peristiwa

resonansi pada pipa organa. Cepat rambat bunyi juga di pengaruhi oleh medium perambatannya selain medium juga di pengaruhi oleh suhu. Menurut Halliday dan Resnick (1994:672), mengungkapkan bahwa dalam pengukuran untuk mengetahui besar kecepatan gelombang bunyi di udara dapat dilakukan dengan menggunakan metode resonansi.

Sumber bunyi merupakan benda yang mengalami pergetaran. Penghantar bunyi paling baik ialah pada zat padat, kemudian pada zat cair dan selanjutnya pada medium udara. Karena bunyi merupakan hasil dari peristiwa getaran yang merambat, maka bunyi memiliki frekuensi dan amplitude. Dimana frekuensi akan menentukan tinggi rendahnya suatu bunyi dan amplitude akan menentukan kuat lemahnya suatu bunyi. Jika sumber bunyi semakin jauh dari pendengar maka pendengar akan mendengar bunyi tersebut semakin lemah begitujuga sebaliknya bunyi akan semakin keras jika pendengar semakin mendekati sumber bunyi. Setiap sumber bunyi akan menghasilkan frekuensi yang berbeda-beda antara satu dengan yang lainnya.

2.1.2 Medium perambatan bunyi

Cepat rambat bunyi dalam medium gas juga sangat dipengaruhi oleh suhu, akan tetapi dalam medium padat dipengaruhi oleh sifat elastis bahan. Pada zat cair dan padat, laju bunyi dalam medium zat padat lebih cepat dibandingkan dengan medium zat cair. Laju bunyi pada berbagai materi di tampilkan pada tabel 2.1 di bawah. Nilai-nilai tersebut dalam beberapa hal, tergantung pada temperatur dan tekanannya terutama tampak pada gas. Sebagai contoh adalah pada medium udara laju bunyi bertambah sekitar 0,60 m/s untuk kenaikan temperatur satu derajat celcius.

$$v \approx (331 + 0,60 T) m/s \quad (2.1)$$

Dimana T adalah temperatur dalam derajat celcius. Kecuali jika dinyatakan lain, pada perumusan diatas di anggap bahwa $T=20^{\circ}\text{C}$ sehingga

$$v = [331 + (0,60)(20)]m/s \quad (2.2)$$

Sehingga di peroleh bahwa laju bunyi pada suhu 20°C adalah 343 m/s. (Giancoli, 2001). Sedangkan dari hasil penelitian Muhafid (2014), cepat rambat gelombang bunyi di udara pada pipa organa tertutup adalah $v = (341.8 \pm 0.1) m/s$.

Tabel 2.1 Laju bunyi pada berbagai materi, pada suhu 20°C dan 1 atm

| Materi | Laju (m/s) |
|---------------|-------------------|
| Udara | 343 |
| Udara (0°C) | 331 |
| Helium | 1005 |
| Hidrogen | 1300 |
| Air | 1440 |
| Air laut | 1560 |
| Besi dan baja | ≈5000 |
| Kaca | ≈4500 |
| Alumunium | ≈5100 |
| Kayu keras | ≈4000 |

(Giancoli, 2001)

2.1.3 Faktor yang mempengaruhi perambatan bunyi di udara

Perambatan bunyi di udara di pengaruhi beberapa faktor seperti jarak, suhu udara, kelembapan udara dan kerapatan partikel di udara. Menurut Wulansari (2013), cepat rambat bunyi di udara sangat dipengaruhi oleh suhu udara. Semakin tinggi suhu udara maka nilai dari cepat rambat bunyi akan semakin besar dan berlaku sebaliknya. Hal ini berpengaruh terhadap panjang gelombang. Seiring naiknya suhu medium maka panjang gelombang akan semakin besar dan frekuensi akan semakin kecil. Kenaikan suhu juga berakibat pada kerapatan partikel di udara semakin tinggi suhu udara maka pertikel di udara akan semakin renggang. Peristiwa ini dapat dijelaskan pada peristiwa bunyi kereta api, jika di malam hari suhu udara dingin menyebabkan medium udara rapat bunyi dibiaskan ke permukaan bumi sehingga bunyi pada malam hari jelas. Sedangkan pada siang hari suhu udara panas menyebabkan medium udara renggang dan bunyi dibiaskan ke udara sehingga bunyi pada siang hari kurang jelas. Sedangkan menurut Jati dan Priyambodo (2009:259), kelajuan bunyi bertambah jika suhu medium bertambah atau medium itu lebih rapat. Akibat perubahan suhu arah rambat bunyi juga berubah, peristiwa ini disebut pembiasan bunyi. Contoh pada malam hari suhu udara bagian bawah akan lebih panas dari pada bagian atas, sehingga sehingga bunyi lebih cepat sampai ke pendengar dengan lintasan melengkung kebawah. Sedangkan pada siang hari, lintasan gelombang bunyi akan melengkung keatas yang di akibatkan karena suhu

udara pada bagian atas akan lebih panas. Hal ini menyebabkan terdengar lebih lemah pada siang hari di banding pada malam hari.

2.1.4 Cepat rambat bunyi di udara

Dalam perambatanya bunyi dari tempat ketempat lainnya memerlukan waktu. Semakin jauh jarak yang ditempuh maka akan semakin lama juga waktu tempuh yang di perlukan. Cepat rambat bunyi adalah perbandingan antara jarak yang di tempuh dengan selang waktu yang dibutuhkan. Dalam menentukan cepat rambat bunyi dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$v = \frac{S}{t} \text{ atau } S = v \cdot t \text{ atau } t = \frac{S}{v} \quad (2.3)$$

Dengan S adalah jarak yang di tempuh, v adalah besarnya kecepatan bunyi, dan t adalah waktu yang di tempuh (Budi Purwanto, 2007: 167).

Jika gelombang menempuh jarak satu panjang gelombang λ , maka waktu tempuhnya adalah periode gelombang tersebut T , sehingga perumusan diatas dapat di tulis ulang sebagai berikut:

$$v = \frac{\lambda}{T} \text{ atau } f = \frac{1}{T} \text{ sehingga } v = \lambda \cdot f \quad (2.4)$$

Dengan v adalah besar cepat rambat bunyi, λ adalah panjang gelombang, f adalah frekuensi dari gelombang dan T adalah periode dari gelombang (Budi Prasodjo, 2006: 117).

Kecepatan bunyi di udara bervariasi, tergantung temperatur udara dan tekanan udaranya. Iswahyudi (2014), menyatakan bahwa kecepatan rambat bunyi di udara adalah 1.224 km/jam dan akan semakin cepat seiring dengan peningkatan suhu dan tekanan udara dikarenakan partikel udara yang lebih banyak. Apabila temperatur udara meningkat, maka kecepatan bunyi akan bertambah. Dalam buku (Tipler, P. A.,1998) laju gelombang bunyi pada medium udara atau air di rumuskan sebagai berikut:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \quad (2.5)$$

Dengan v adalah cepat rambat bunyi, B adalah *Bulk modulus* atau modulus elastisitas dan ρ adalah kerapatan medium.

Sedangkan untuk pengaruh suhu terhadap cepat rambat bunyi pada medium udara dapat kita peroleh dari proses adiabatik untuk gas ideal dari hukum pertama termodinamika dengan persamaan keadaan sebagai berikut:

$$dQ = dU + dW = C_v dT + P dV = 0 \quad (2.6)$$

Dengan mensubstitusikan $dU = C_v dT$ dan $P = \frac{nRT}{V}$ persamaan (2.6) menjadi:

$$C_v dT + \frac{nRT}{V} dV = 0$$

Dengan mengalikan $\frac{1}{C_v T}$ maka akan menjadi

$$\frac{dT}{T} + \frac{nR}{C_v} \frac{dV}{V} = 0 \quad (2.7)$$

Dengan $nR = C_p - C_v$, diperoleh $\frac{nR}{C_v} = \frac{C_p - C_v}{C_v} = \frac{C_p}{C_v} - 1 = \gamma - 1$

Dengan γ merupakan rasio kapasitas panas (laplace) maka persamaan (2.7) berubah menjadi sebagai berikut:

$$\frac{dT}{T} + (\gamma - 1) \frac{dV}{V} = 0 \quad (2.8)$$

Dengan mengintegrasikan persamaan (2.8) berubah menjadi:

$$\ln T + (\gamma - 1) \ln V = \text{konstan}$$

Dengan menggunakan sifat logaritma apendiks A ($A \log B = \log B^A$) diperoleh

$$\ln T + \ln V^{(\gamma-1)} = \text{konstan}$$

$$\ln(TV^{(\gamma-1)}) = \text{konstan}$$

$$TV^{(\gamma-1)} = \text{konstan} \quad (2.9)$$

Dengan mengeliminasi T pada persamaan (2.9) menggunakan persamaan $PV = nRT$ maka di dapatkan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{PV}{nR} V^{(\gamma-1)} = \text{konstan}$$

$$\frac{PV}{nR} (V^\gamma V^{-1}) = \text{konstan}$$

$$\frac{PV}{nR} \left(V^\gamma \frac{1}{V} \right) = \text{konstan}$$

$$\frac{PV^\gamma}{nR} = \text{konstan} \quad (2.10)$$

Karena n dan R konstan maka persamaan (2.10) berubah menjadi

$$PV^\gamma = \text{konstan} \quad (2.11)$$

Untuk mendapatkan modulus limbak adiabatik dapat dilakukan dengan mendiferensialkan persamaan (2.11) di atas menjadi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P\gamma V^{(\gamma-1)}dV + V^\gamma dP &= 0 \\ V^\gamma dP &= -P\gamma V^{(\gamma-1)}dV \\ dP &= \frac{-P\gamma V^{(\gamma-1)}dV}{V^\gamma} \\ dP &= \frac{-P\gamma(V^\gamma V^{-1})dV}{V^\gamma} \\ dP &= \frac{-P\gamma\left(V^\gamma \frac{1}{V}\right)dV}{V^\gamma} \\ dP &= \frac{-P\gamma dV}{V} \end{aligned} \quad (2.12)$$

Karena modulus limbak merupakan perubahan tekanan terhadap perubahan fraksional dalam volume maka dari persamaan (2.12) didapatlah modulus limbak adiabatik sebagai berikut:

$$\begin{aligned} B &= \frac{-dP}{\frac{dV}{V}} \\ B &= \frac{-\left(\frac{-P\gamma dV}{V}\right)}{\frac{dV}{V}} \\ B &= \gamma P \end{aligned} \quad (2.13)$$

Sehingga dengan mensubstitusikan persamaan (2.13) kedalam persamaan (2.5) diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}} \quad (2.14)$$

Dengan mensubstitusikan $P = \frac{nRT}{V}$ dan $\rho = \frac{m}{V} = \frac{nM}{V}$ kedalam persamaan (2.14) maka persamaan akan berubah menjadi sebagai berikut:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma \frac{nRT}{V}}{\frac{nM}{V}}}$$

Sehingga di peroleh lah persamaan sebagai berikut:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad (2.15)$$

Dengan v adalah cepat rambat bunyi, γ rasio kapasitas panas (persamaan laplace), T adalah suhu (kelvin), R adalah ketetapan umum gas sebesar 8,314 J/mol.K dan M adalah masa molar gas (massa satu mol gas di udara) sebesar 29×10^{-3} kg/mol (Tipler, P. A.,1998).

Dari persamaan rumus (2.15) tersebut maka dapat diketahui bahwa jika suhu dinaikkan maka kecepatan bunyi juga akan naik. Sehingga besarnya cepat rambat gelombang bunyi berbanding lurus dengan besarnya suhu medium ($v \sim T$). Semakin besar temperatur atau suhu yang digunakan maka semakin besar pula cepat rambat gelombangnya. Dari sini maka dapat dijabarkan :

$$v \sim T \quad (2.16)$$

$$\lambda \cdot f \sim T \quad (2.17)$$

Sehingga daari persamaan di atas maka besarnya panjang gelombang sebanding dengan temperatur mediumnya. Semakin besar temperatur mediumnya maka akan semakin besar pula panjang gelombang bunyi yang dihasilkan. Semakin besar panjang gelombangnya maka akan semakin kecil nilai frekuensinya, begitu pula sebaliknya. Semakin tinggi kerapatan udara, maka bunyi akan semakin cepat merambat. Hal ini dikarenakan semakin rapat susunan partikel dari mediumnya maka semakin cepat bunyi tersebut merambat, sehingga bunyi merambat paling cepat pada zat padat. Pengaruh suhu terhadap perambatan bunyi di udara yang di peroleh dari hasil penelitian ialah pada tabel 2.2 sebagai berikut:

Tabel 2.2 Cepat rambat bunyi pada beberapa suhu

| No | Suhu (C) | Cepat rambat (m/s) |
|----|----------|--------------------|
| 1 | 15 | 340,84 |
| 2 | 20 | 343,69 |
| 3 | 25 | 346,54 |
| 4 | 30 | 349,39 |
| 5 | 35 | 352,23 |

(Sumber: Nur Ikhwan dan Yudhiakto Pramudya, 2018)

2.1.5 Resonansi

Resonansi bunyi merupakan peristiwa ikut bergetarnya suatu sistem fisis yang diakibatkan oleh suatu sistem fisis lainnya yang bergetar dengan frekuensi tertentu (Tipler, 1998). Contoh dari peristiwa resonansi bunyi adalah sebuah garpu tala yang digetarkan pada sebuah tabung atau pipa. Akibat dari adanya garpu tala yang bergetar maka tabung akan ikut bergetar dan merapat pada pipa organa tertutup. Cepat rambat gelombang bunyi diukur dengan menggunakan metode resonansi. Mengukur cepat rambat gelombang bunyi dapat dilakukan dengan menggunakan metode resonansi pada tabung resonator (kolom udara). Peristiwa resonansi terjadi saat frekuensi sumber nilainya sama dengan frekuensi gelombang bunyi pada kolom udara yang dicirikan dengan terdengarnya bunyi yang paling nyaring (amplitudo maksimum) (Tipler, 1991). Pada pipa organa tertutup maka pantulan gelombang resonansi yang terjadi berupa simpul dan pada pipa organa terbuka berupa perut (Bueche dan Hecht, 2006).

2.2 Suhu

Suhu merupakan ukuran atau derajat panas atau dinginnya suatu benda atau sistem. Suhu didefinisikan sebagai suatu besaran fisika yang dimiliki bersama antara dua benda atau lebih yang berada dalam kesetimbangan termal. Suatu benda yang dalam keadaan panas dikatakan memiliki suhu yang tinggi. Sebaliknya, suatu benda yang dalam keadaan dingin dikatakan memiliki suhu yang rendah. Untuk mengkuantitatifkan besaran suhu dan menyatakan seberapa tinggi atau rendahnya nilai suhu suatu benda diperlukan pengukuran yang dinamakan termometer (Sears dan Zemansky, 2001).

Skala yang digunakan untuk mengukur suhu dalam satuan SI adalah skala celcius dengan lambang °C. Skala suhu Celcius merupakan skala suhu yang diciptakan Andres Celcius dibuat berdasarkan titik lebur es dan titik didih uap air. Celcius memilih 0 sebagai titik tetap bawah dan 100 sebagai titik tetap atas. Suhu adalah besaran skalar suatu besaran yang dipunyai oleh semua sistem

termodinamika demikian rupa sehingga kesamaan suhu adalah syarat yang perlu dan cukup untuk keseimbangan termal (Efrizon Umar, 2008).

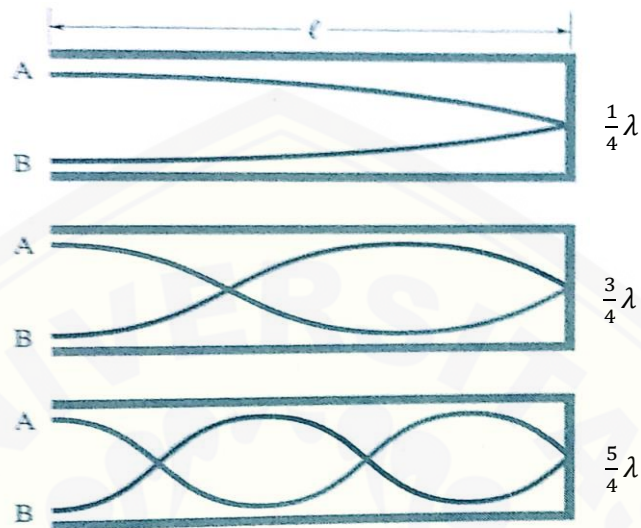
2.3 Pipa Organa

Pipa organa adalah salah satu sumber bunyi yang sering di pakai pada jenis alat musik tiup. Pada organa semua pipa didalamnya berongga. Pipa organa ini dibedakan menjadi dua, yaitu pipa organa terbuka dan pipa organa tertutup. Pada pipa organa terbuka semua ujungnya terbuka, sedangkan pipa organa tertutup semua atau salah satu ujungnya tertutup. Ketika pipa organa ditiup, molekul udara di dalam pipa organa tersebut bergetar dan akan menghasilkan bunyi. Gelombang bunyi yang terbentuk merupakan gelombang longitudinal. Hal ini berlaku untuk pipa organa baik terbuka maupun tertutup. Menurut Bueche dan Hecht (2006), pada pipa organa tertutup pantulan gelombang resonansi yang terjadi berupa simpul dan pada pipa organa terbuka pantulan gelombang resonansi berupa perut.

2.3.1 Pipa organa tertutup

Pipa organa tertutup merupakan sebuah pipa organa yang berupa sebuah kolom udara, yang pada salah satu ujungnya tertutup dan di ujung lainnya terbuka. Untuk tabung tertutup seperti pada gambar 2.1, selalu ada simpangan simpul tertutup di ujung pipa tertutup (karena udara tidak dapat bergerak bebas) dan simpul terbuka diujung pipa terbuka (dimana terjadi karena udara dapat bergerak secara bebas) karena jarak antara simpul tertutup dan terbuka yang terdekat adalah $\frac{1}{4}\lambda$ (Giancoli, 2001). Sehingga apabila pada pipa organa ini di tiup akan di hasilkan pola gelombang stasioner dimana pada ujung tertutup menjadi titik simpul gelombang. Sehingga untuk mendapatkan panjang gelombang pada pipa organa tertutup dapat di gunakan rumus matematis 2.18. Dengan L adalah panjang kolom

udara, n adalah harmonik ke- n dan λ adalah panjang gelombang. Resonansi dengan frekuensi tetap pada pipa organa tertutup dapat di gambarkan sebagai berikut:



Gambar 2.1 Gelombang Bunyi Pada Pipa Organa Tertutup (Giancoli, 2001)

Bila suatu sumber bunyi bergetar di atas mulut tabung resonansi, pada ujung kolom udara tertentu dapat didengar dengung yang sangat keras, ini berarti terjadi resonansi bunyi. Saat itu dalam tabung resonansi terjadi gelombang longitudinal stasioner. Pada keadaan resonansi itu terdapat hubungan :

$$L = (2n + 1) \frac{\lambda}{4} \text{ dengan } n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (2.18)$$

Dimana, L : panjang kolom udara saat resonansi

λ : panjang gelombang bunyi

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2.19)$$

v : cepat rambat bunyi di udara

f : frekuensi sumber bunyi

Oleh karena itu, untuk menentukan panjang gelombang bunyi dipakai metode selisih posisi resonansi berurutan sebagai berikut :

$$\Delta L = L_1 - L_2 \quad (2.20)$$

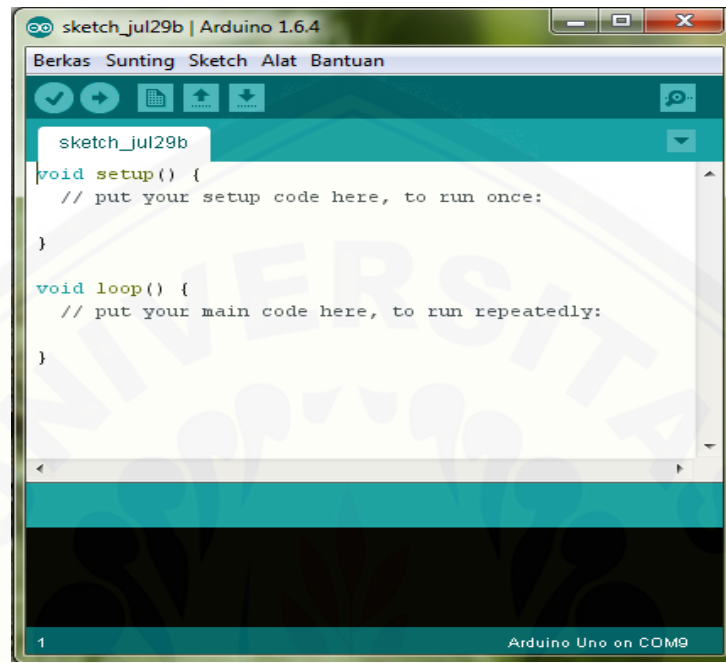
2.4 Trainer Kit

Seperti yang di sebutkan dalam jurnal Prasetyo A. dan Eppy y. (2018), bahwa salah satu media pembelajaran yang digunakan yaitu alat peraga simulasi (*trainer*). *Trainer* adalah sebuah alat yang berupa simulasi yang terdiri dari komponen untuk memudahkan simulasi berupa fisik. Sehingga dapat diartikan bahwa *Trainer kit* atau alat peraga adalah semua atau segala sesuatu yang bisa digunakan dan dapat dimanfaatkan untuk menjelaskan konsep-konsep pembelajaran dari materi yang bersifat abstrak atau kurang jelas menjadi nyata dan jelas sehingga dapat merangsang pikiran, perasaan, perhatian serta minat para siswa yang menjurus kearah terjadinya proses belajar mengajar. Alat peraga merupakan suatu alat yang dipakai untuk membntu dalam proses belajar-mengajar yang berperan besar sebagai pendukung kegiatan belajar-mengajar yang dilakukan oleh pengajar atau guru. Penggunaan alat peraga ini mempunyai bertujuan untuk memberikan wujud yang riil terhadap bahan yang dibicarakan dalam materi pembelajaran. Alat peraga yang dipakai dalam proses belajar-mengajar dalam garis besarnya memiliki manfaat menambahkan kegiatan belajar para siswa, menghemat waktu belajar, memberikan alasan yang wajar untuk belajar karena dapat membangkitkan minat perhatian dan aktivitas para siswa.

2.5 Arduino Uno

Arduino adalah sebuah bentuk pengendali mikro *single-board* yang memiliki sifat *open-source*, diturunkan oleh Wiring platform dan dirancang agar memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. *Hardware*nya memiliki prosesor Atmel AVR (*Automatic Voltage Regulator*) atau Atmel ARM (*Acorn RISC Machine*) dan *software*nya yang memiliki bahasa pemrograman sendiri (Renstra C. G. Tangdiongan, et. al. 2017). Arduino merupakan sebuah platform dari sebuah prototipe elektronik yang bersifat open source atau bisa diakses oleh siapa saja dalam bereksperimen secara bebas dan gratis dalam bidang elektronika (Dinata, 2014). Arduino merupakan sebuah papan kontroler gabungan dari *hardware* dan *software* berupa *Integrated Development Environment* (IDE)

yang canggih. IDE merupakan sebuah *software* yang berperan untuk menulis program, meng-*compile* menjadi biner dan meng-*upload* ke dalam memory mikrokontroler. Berikut tampilan antar muka software IDE arduino:



Gambar 2.2 Tampilan muka software IDE Arduino
(www.arduino.cc)

Menurut tulisan Artanto (2012) ada beberapa fungsi dari tombol toolbar software Arduino yaitu sebagai berikut:

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

Secara umum arduino terdiri dari dua bagian, *hardware* dan *software*. *Hardware* merupakan papan input / output sedangkan *Software* merupakan *Software* arduino meliputi IDE untuk menulis program, driver untuk koneksi dengan komputer, contoh program dan library untuk pengembangan program.

Arduino Uno adalah sebuah perangkat keras yang di produksi dan dikeluarkan oleh Arduino Italy yang berupa minimum sistem dengan menggunakan mikrokontroler Atmega328. Mikrokontroler Arduino Uno terdapat 14 pin digital yaitu diantaranya adalah terdapat 6 pin yang dapat digunakan sebagai *output Pulse Width Modulation* (PMW) dan 6 pin input analog. Menggunakan osilator sebesar 16 MHz, koneksi USB, ICSP header dan tombol reset. Berikut bentuk fisik mikrokontroler Arduino uno pada gambar 2.3 dibawah.



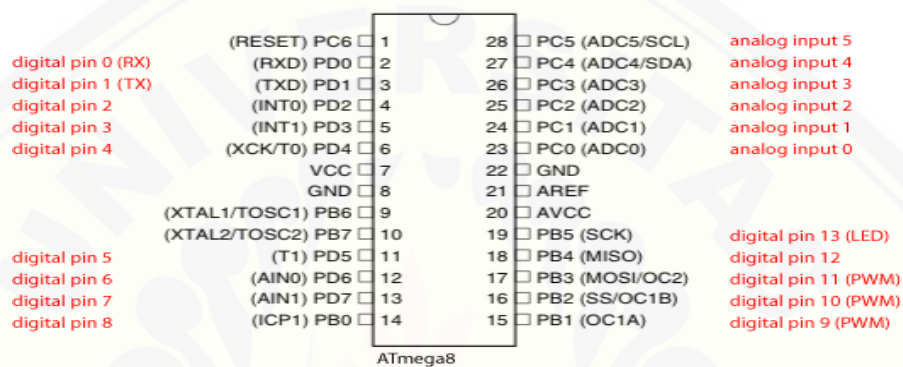
Gambar 2.3 Arduino Uno (www.arduino.cc)

Fasilitas komunikasi yang dimiliki mikrokontroler Arduino Uno adalah komunikasi antara Arduino Uno dengan komputer, Arduino Uno dengan Arduino lain, dan Arduino Uno dengan mikrokontroler lain. Hal tersebut dikarenakan mikrokontroler Atmega 328 yang digunakan pada Arduino Uno menyediakan fasilitas USART (*Universal Synchronous and Asynchronous Serial Receiver and Transmitter*) yang terdapat pada pin D.0 (Rx) dan pin D.1 (Tx).

2.6 Mikrokontroler Atmega 328

Dalam penelitian yang dilakukan ini mikrokontroler yang akan digunakan adalah mikrokontroler Atmega 328. Karena mikrokontroler jenis ini lebih cocok dengan modul mikrokontroler Arduino Uno yang akan digunakan. Seperti yang disebutkan pada *Arduino Home Page* dalam jurnal (Guntoro H. et., al, 2016),

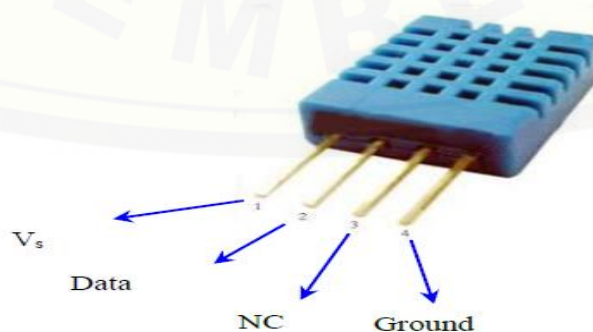
Arduino Uno sendiri merupakan sebuah *board* mikrokontroler berbasis ATmega328. Memiliki 14 pin *input* dan *output* digital dimana 6 pin *input* tersebut dapat digunakan sebagai *output* PWM (Pulse Widht Modulation) dan 6 pin *input* analog, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, ICSP *header*, *jack power* dan tombol *reset*. Untuk mendukung mikrokontroler agar dapat digunakan, dengan hanya menghubungkan *board Arduino Uno* ke komputer dengan menggunakan kabel USB dan AC adaptor sebagai suplay atau baterai untuk menjalankannya.



Gambar 2.4 Konfigurasi pin Atmega 328 pada Arduino (www.arduino.cc)

2.7 Sensor Suhu dan Kelembapan (DHT11)

Menurut Utama (2016), dalam jurnalnya menyebutkan bahwa DHT11 adalah sensor yang dapat di gunakan untuk mengukur dua parameter sekaligus yaitu suhu dan kelembaban udara. Oleh karena itu sensor DHT11 merupakan sebuah sensor dengan kalibrasi yang dapat memberikan data informasi suhu dan kelembapan di udara. Berikut bentuk fisik dari sensor DHT11:



Gambar 2.5 Konfigurasi kaki sensor DHT11 (Utama, 2016)

DHT11 tergolong kedalam komponen sensor yang memiliki tingkat stabilitas yang cukup baik dengan fitur kalibrasi yang akurat. Koefisien kalibrasi pada sensor DHT11 akan disimpan dalam *one time-programable* (OTP) program memori, sehingga ketika internal sensor sudah mendeteksi sesuatu, maka pada modul ini akan menyertakan koefisien tersebut ke dalam kalkulasinya dengan menggunakan transmisi sinyal hingga 20 meter. Prinsip kerja dari sensor DHT11 adalah memanfaatkan perubahan kapasitif, perubahan posisi bahan dielektrik diantara kedua keping, pergeseran posisi salah satu keping dan luas keping yang berhadapan langsung.

Pada Gambar 2.5 adalah kaki Vs, Data, NC dan Ground dari sensor DHT11 yang diperlihatkan. Kaki Vs digunakan sebagai sumber tegangan sensor ini. Tegangan sumber yang diperbolehkan adalah diantara rentang 3V sampai 5.5V. Lalu kaki Data digunakan sebagai pengambil data suhu dan kelembaban udara yang telah diukur oleh sensor DHT11. Kaki NC yang merupakan singkatan dari Not Connected, merupakan kaki yang tidak dihubungkan dengan apa-apa. Jadi dalam prakteknya, kaki ini tidak boleh dihubungkan dengan rangkaian apapun. Kemudian kaki Ground disambung dengan Ground pada tegangan sumber. Beberapa spesifikasi dari DHT11 dijabarkan sebagai berikut:

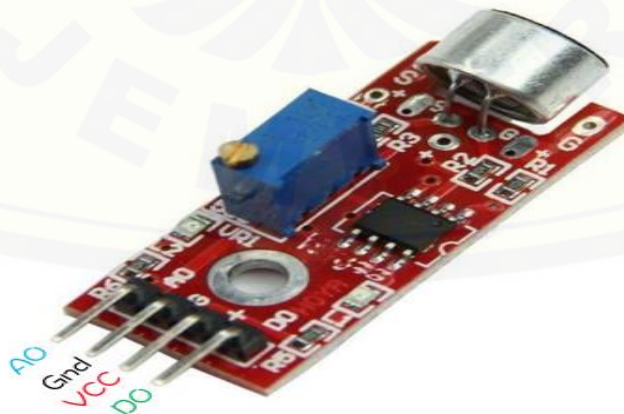
- a. Pasokan Voltage : 5 V
- b. Rentang temperatur : 0-50 ° C kesalahan ± 2 ° C
- c. Kelembaban : 20-90% RH ± 5 % RH error
- d. Interface : Digital

2.8 Sensor Suara (*Microphone*)

Sensor mengubah parameter fisik menjadi sinyal elektrik sehingga sensor sering di sebut transduser, yaitu piranti pengubah bentuk suatu energy menjadi energi lain. Besaran fisika yang di ukur antara lain adalah posisi, jarak, gaya, renggangan, temperatur, getaran, akselerasi, cahaya, suara dan magnet. Menurut Nurkholis *et al.* (2014), sensor mikrofon akan merubah besaran fisis (suara) menjadi besaran elektris (tegangan) serta mendeteksi bunyi dengung yang terjadi.

Sehingga dapat diartikan sensor suara adalah suatu elemen pada sistem mekatronika yang menerima sinyal masukan berupa besaran fisik dan mengubahnya menjadi besaran lain untuk di proses sehingga dapat di tampilkan, di rekam atau sebagai sinyal umpan pada sistem kendali. Menurut Nurjanah Intan (2017) KY-037 merupakan salah satu jenis sensor suara. Sensor suara biasanya digunakan untuk mendeteksi suara dilingkungan sekitar sensor ini berfungsi dengan menganalisa suara.

Sensor suara biasanya digunakan untuk mendeteksi kebisingan suara di lingkungan sekitar. Arduino dapat mengumpulkan sinyal keluaran dari sensor dan menjalankannya secara bersamaan. Sensor suara merupakan module sensor yang mensensing besaran suara untuk diubah menjadi besaran listrik yang akan dioleh mikrokontroler. Modul ini bekerja berdasarkan prinsip kekuatan gelombang suara yang masuk. Dimana gelombang suara tersebut mengenai membran sensor yang berefek pada bergetarnya membran sensor. Dan pada membran tersebut terdapat kumparan kecil yang dapat menghasilkan besaran listrik. Kecepatan Bergeraknya membran tersebut juga akan menentukan besar kecilnya daya listrik yang akan dihasilkan. Komponen utama untuk sensor ini yaitu *condeser mic* sebagai penerima besar kecilnya suara yang masuk. Bentuk fisik dari *condeser mic* yaitu berbentuk bulat dan memiliki kaki dua. Salah satu jenis sensor suara adalah KY-037 adapun bentuk fisiknya adalah seperti pada gambar berikut :



Gambar 2. 6 Sensor Suara KY037 (Sumber : <https://www.nyebarilmu.com>)

Sensor suara KY-037 yang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- a. Sensitivitas dapat diatur (pengaturan manual pada potensiometer)
- b. Condenser yang digunakan memiliki sensitivitas yang tinggi
- c. Tegangan kerja antara 3.3V – 5V
- d. Terdapat 2 pin keluaran yaitu tegangan analog dan Digital output
- e. Sudah terdapat lubang baut untuk instalasi
- f. Sudah terdapat indikator LED

2.9 Sensor Jarak (Ultrasonik HC-SR04)

Sensor jarak khususnya sensor *ultrasonik HC-SR04* merupakan sebuah sensor yang menggunakan gelombang ultrasonik. Menurut Renstra C. G. Tangdiongan, et. al. (2017), dalam jurnalnya menyebutkan bahwa sensor ultrasonic merupakan sensor yang dapat mengubah besaran fisis bunyi menjadi besaran listrik dan sebaliknya. Cara kerja sensor ini ialah dengan memanfaatkan prinsip dari pantulan gelombang suara sehingga dapat menafsirkan jarak suatu benda. Sensor ini di sebut sensor ultrasonik karena gelombang yang di pancarkan berupa gelombang bunyi ultrasonik dengan frekwensi tertentu. Secara sederhana sensor ini akan menembakkan gelombang ultrasonic pada benda yang dituju kemudian benda tersebut akan memantulkan kembali, pantulan ini akan ditangkap kembali oleh sensor. Gelombang pantulan yang ditangkap sensor akan di hitung selisih waktu dari gelombang yang di tembakkan. Gambar 2.7 di bawah merupakan bentuk fisik sensor *ultrasonik HC-SR04*.

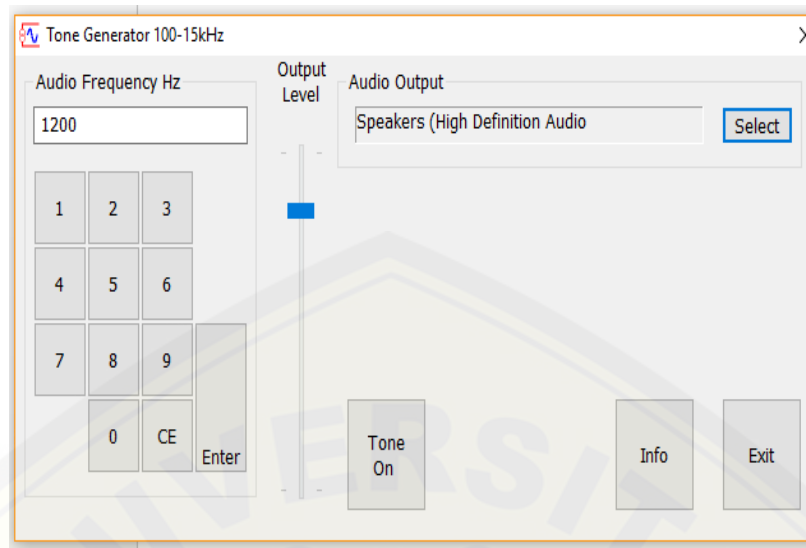


Gambar 2. 7 Sensor ultrasonik HC-SR04

(<https://iknowvations.in/arduino/ultrasonic-sensor-hc-sr04-arduino/>)

2.10 Software Tone Generator

Software tone generator merupakan sebuah aplikasi atau perangkat lunak yang dapat di akses secara gratis dan dapat di jalankan pada perangkat keras laptop. Software tone generator merupakan sebuah aplikasi yang dapat menentukan atau mengatur frekuensi bunyi dari sumber bunyi yang di gunakan. Software tone generator ini di gunakan sebagai pengganti alat audio generator yaitu alat yang dapat menghasilkan suara dengan rentang frekuensi tertentu. Software tone generator sendiri dapat menghasilkan rentang frekwensi dari 100-15000 Hz. Dalam penggunaannya software tone generator sangatlah mudah dan sederhana cukup dengan memasukkan frekuensi yang di inginkan dengan mouse atau keyboard laptop. Berikut tampilan muka software tone generator:



Gambar 2.8 Tampilan muka software tone generator

2.11 Software Audio Frequency Counter

Software Audio Frequency Counter merupakan sebuah aplikasi atau perangkat lunak yang dapat dijalankan pada sebuah ponsel berbasis android. Dimana aplikasi ini berfungsi untuk mengukur besar frekuensi dari sebuah sumber bunyi. Aplikasi ini digunakan sebagai pengganti alat ukur frekuensi yaitu Frequency counter. Berikut tampilan muka *Software Audio Frequency Counter*:



Gambar 2.9 Tampilan muka *Software Audio Frequency Counter*

2.12 Sound Level Meter

Sound Level Meter merupakan alat yang digunakan untuk mengukur kebisingan. SLM dapat mengukur tingkat kebisingan antara 30 – 130 dB. Adapun bagian bagian pada SLM adalah mikrofon, amplifier, beberapa sirkuit, dan pengkalibrasian hasil pengukuran kedalam decibel. (Rossing, 1990:8). Pembuatan SLM menggunakan jaringan Pembobotan-A; yang disimbolkan $L_p(A)$ atau $SPL(A)$ dengan satuan dB. dB(A) atau dBA biasa dituliskan untuk menunjukkan Pembobotan-A pada SLM. Pembobotan-A SLM sering digunakan dalam pengukuran dengan hasil (error) yang tidak begitu besar (Rossing, 1990:93).

Salah satu jenis SLM adalah digital Sound level meter merek DEK-O tipe SL-130 dengan rentang pengukuran 30-130 dB dan nilai sekala terkecil 1 dB. Berikut gambar Sound Level Meter (SLM):



Gambar 2. 10 Digital Sound Level Meter (SL-130)

2.13 Rancang Bangun *Trainer Kit* Pengaruh Suhu Terhadap Cepat Rambat Gelombang Bunyi Berbantu Mikrokontroler Arduino Uno

Trainer kit atau alat peraga merupakan salah satu media pembelajaran yang di gunakan untuk mempermudah seseorang dalam mempelajari suatu fenomena. *Trainer kit* pengaruh suhu terhadap cepat rambat gelombang bunyi adalah sebuah alat peraga yang digunakan untuk menjelaskan pengaruh suhu terhadap cepat

rambat gelombang bunyi di udara. Pada trainer kit rancangan ini digunakan sensor suhu dan kebisingan yaitu sensor DHT11 dan KY037 oleh karena itu di butuhkan alat bantu sebuah mikrokontroler yaitu arduino uno. Kelebihan dari mikrokontroler ini adalah dapat mengoperasikan lebih dari satu sensor secara bersamaan. Dalam rancang bangun *trainer kit* ini di gunakan dua jenis sensor yaitu sensor DHT11 dan sensor KY037. Sensor DHT11 merupakan jenis sensor yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara, sedangkan sensor KY037 adalah sebuah sensor microphone yang di gunakan untuk mengukur tingkat kebisingan suatu sumber bunyi. Di gunakannya sensor pada rancang bangun *trainer kit* ini karena diharapkan dengan penggunaan sensor yang otomatis pengamatan dapat dilakukan secara benar dan proses perhitungan yang dilakukan dapat berjalan dengan lancar serta hasil yang diperoleh dari perhitungan dapat sevalid mungkin.

2.14 Desain Nieveen

Menurut Nieven, McKenney & Akker (2006) dan Plomp (2010) langkah dalam studi pengembangan meliputi beberapa tahap. Tahapan yang harus dilalui diantaranya adalah (1) *preliminary research*, (2) *prototyping stage*, (3) *assesment stage*, (4) *systematic reflection and documentation*. Ketiga tahap *prototyping* pengembangan tersebut di jelaskan sebagai berikut.

a. *Preliminary research* (Study Pendahuluan)

Pada fase ini dilakukan analisis dari permasalahan dan pengembangan kerangka konseptual. analisis yang dilakukan didasarkan pada studi literatur dan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Hasil yang di peroleh dari studi pendahuluan ini akan menjadi rancangan pertama pada tahapan pengembangan.

b. *Prototyping stage* (Tahap Prototiping)

Pada tahap ini dirancang *prototype* untuk selanjutnya diujicobakan, dievaluasi dan direvisi. Ujicoba dalam tahap ini dimaksudkan sebagai ujicoba oleh ahli untuk selanjutnya dilakukan evaluasi. Evaluasi yang dilakukan adalah evaluasi

formatif (kevalidan dan kepraktisan) dari prototype berdasarkan penilaian ahli (*expert judgement*).

c. *Assessment Stage* (Tahap Penilaian)

Tahap selanjutnya setelah melalui tahap penilaian ahli dan revisi. Tahap ini adalah tahap penilaian dan revisi dari prototype tersebut. kemudian selanjutnya diuji cobakan dalam pembelajaran untuk dinilai kepraktisan (dari segi penggunaan) dan 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 2.3 berikut.

Tabel 2.3 Tahapan pengembangan *prototyping*

| Tahap | Kriteria | Deskripsi Singkat Kegiatan |
|--------------------------|---|--|
| <i>Preliminary Stage</i> | Terutama menekankan pada <i>content validity</i> . | Mengkaji literature dari penelitian-penelitian yang terkait |
| <i>Prototyping Stage</i> | Menekankan pada <i>consistency (construct validity)</i> dan <i>practicality</i> | Mengembangkan prototype, diujicoba dan dievaluasi formatih oleh ahli |
| <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. |

(Nieveen, 2006)

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis dan Desain Penelitian

Jenis dan desain penelitian yang akan di gunakan dalam penelitian ini adalah jenis penelitian pengembangan dan desain penelitian yang di pergunakan adalah desain *nieveen*.

3.1.1 Jenis penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian pengembangan (*Research and Development*). Penelitian pengembangan ini bertujuan untuk mengembangkan *trainer kit* sebagai produk yang valid. Menurut Sugiyono (2013), metode penelitian dan pengembangan (*Research and Development*) merupakan sebuah metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan sebuah produk, dan menguji keefektifan produk tersebut.

3.1.2 Desain penelitian

Dalam penelitian ini digunakan prosedur penelitian dan pengembangan menurut Nieveen (2006) tahapanya adalah sebagai berikut: (1) *Preliminary research*, (2) *Prototyping stage*, dan (3) *Assasment stage (summative evaluation)*. Desain yang digunakan pada tahap penilaian atau asasmen (*Assasment 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, keakuratan ditentukan dengan menggunakan uji *regresi*.

3.2 Tempat dan Waktu Uji Pengembangan

Penentuan tempat penelitian yang berjudul “Rancang Bangun *Trainer Kit* Pengaruh Suhu Terhadap Cepat Rambat Bunyi Pada Pipa Organa Tertutup Berbantu Mikrokontroler Arduino Uno“ dilakukan pada daerah yang telah di pilih. Adapun yang menjadi tempat penelitian adalah Laboratorium Multimedia Program Studi Pendidikan Fisika FKIP Universitas Jember. Waktu penelitian akan dilaksanakan pada semester genap tahun ajaran 2018/2019.

3.3 Variabel Penelitian dan Devinisi Operasional Variabel

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

3.3.1 Variabel penelitian

- a. Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah suhu udara.
- b. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah:
 1. Frekuensi bunyi yang digunakan.
 2. *Trainer kit* hasil rancangan peneliti.
 3. Tekanan udara
- c. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah cepat rambat gelombang bunyi.

3.3.2 Definisi operasional variabel

Untuk memberikan gambaran dari variable yang akan di ukur dan bagaimana cara pengukurannya serta untuk menghindari perbedaan persepsi dalam penelitian ini, maka perlu adanya penjelasan dari definisi operasional variabel. Penjelasan dari variabel-variabel tersebut antara lain:

a. Cepat rambat gelombang bunyi

Cepat rambat gelombang bunyi dalam penelitian ini didapat dari perhitungan data hasil pengukuran *trainer kit* rancangan peneliti. Data yang di dapat dan di hitung adalah frekuensi dan panjang gelombang bunyi.

b. Frekuensi

Frekuensi diperoleh dari penetapan frekuensi dari sumber bunyi menggunakan aplikasi tone generator. Data yang di peroleh berupa frekuensi dengan satuan hertz (Hz).

c. *Trainer kit*

Pada penelitian ini alat yang digunakan adalah *trainer kit* hasil rancangan peneliti. Sebelum di gunakan *trainer kit* ini di uji keakuratanya dengan membandingkan data hasil pengukuran dengan alat ukur suhu termometer dan dilakukan tes validasi alat dengan analisis regresi.

d. Suhu udara

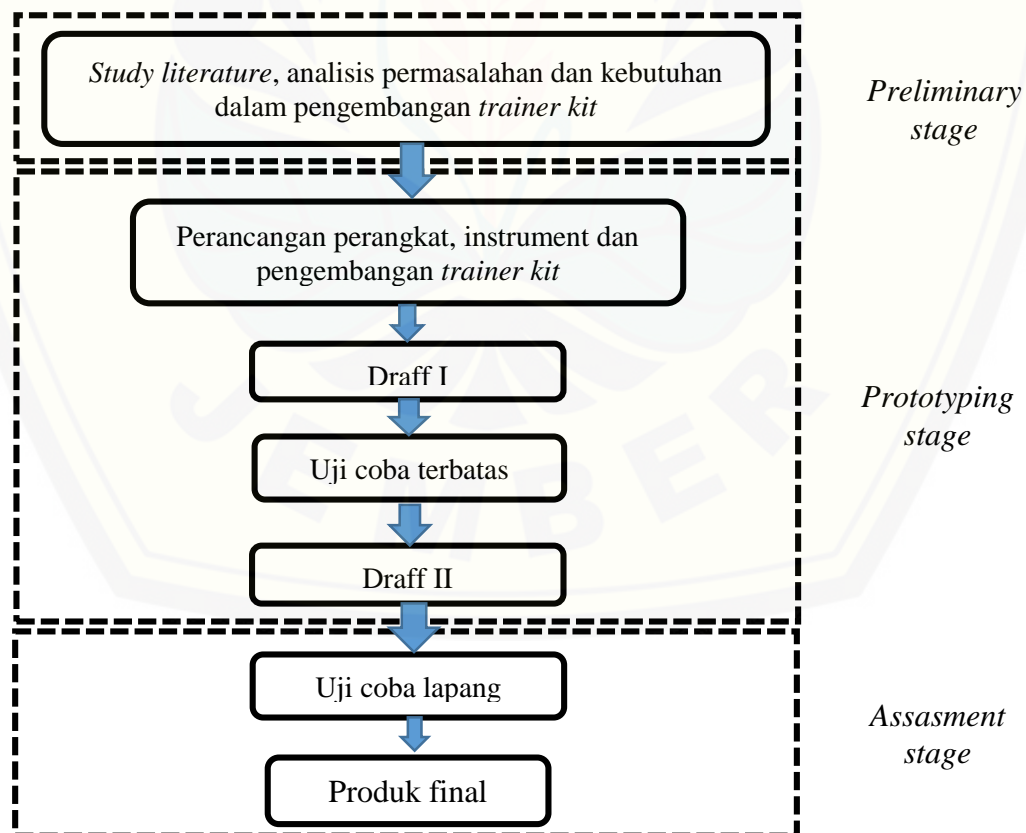
Suhu udara pada penelitian ini telah ditetapkan dan diperoleh dari pengaturan panas yang dihasilkan oleh lampu. Dan selanjutnya akan diukur menggunakan sensor suhu untuk mengetahui suhu udara yang di tetapkan.

e. Tekanan udara

Tekanan udara yang digunakan pada penelitian ini sesuai dengan tekanan udara di daerah kabupaten jember.

3.4 Prosedur Pengembangan

Dalam pengembangan trainer kit ini, di gunakan prosedur pengembangan menurut Nieveen (2006) yang terdiri dari : 1) *Preliminary research*, 2) *Prototyping stage*, dan 3) *Assasment stage (summative evaluation)*. Secara sistematis penelitian digambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.1 Bagan modifikasi model pengembangan Nieveen

3.4.1 Tahap studi pendahuluan (preliminary research)

Tahap studi pendahuluan dilakukan untuk memperoleh gambaran awal yang berkaitan dengan pelaksanaan penelitian. Pada fase ini peneliti melakukan *study literature*, kemudian menganalisis permasalahan dan kebutuhan dalam melakukan pengembangan *trainer kit*. Pada tahap studi literatur peneliti melakukan pengumpulan kajian teori dari berbagai hasil penelitian yang relevan dengan penelitian yang akan dilakukan. Selanjutnya, pengambilan pengembangan *trainer kit* pengaruh suhu terhadap gelombang bunyi.

3.4.2 Tahap perancangan (*Prototyping Stage*)

Tahap perancangan pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu sebagai berikut:

a. Alat Dan Bahan

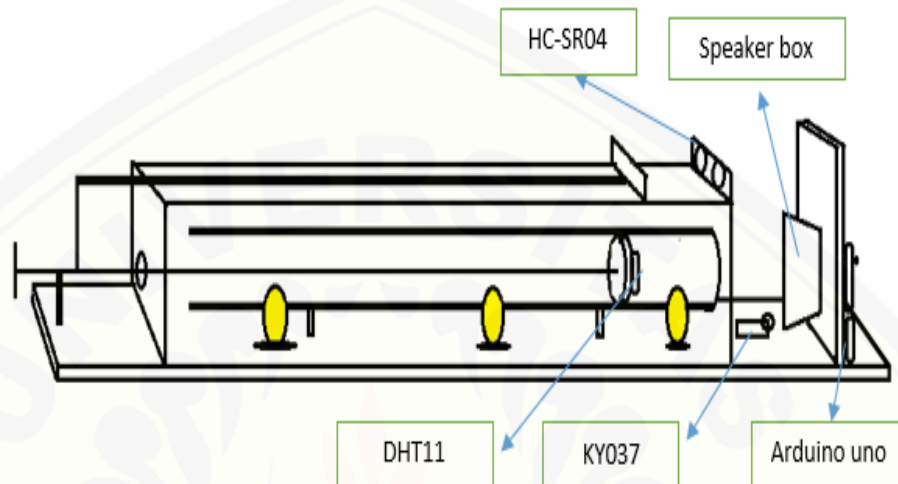
Seperangkat alat dan bahan dalam penelitian Rancang Bangun *Trainer Kit* Pengaruh Suhu Terhadap Cepat Rambat Bunyi Pada Pipa Organa Tertutup Berbantu Mikrokontroler Arduino Uno adalah pada tabel sebagai berikut :

- 1) Tabung pipa organa tertutup
- 2) Piston
- 3) Satu set speaker box
- 4) Box kaca
- 5) Kayu sebagai papan alas
- 6) Arduino uno
- 7) Sensor suhu dan kelembapan DHT11
- 8) Sensor *Ultrasonik HC-SR04*
- 9) Sensor *microphone ky037*
- 10) Lampu bolam
- 11) Kabel port USB dan kabel *jumper male to male* dan *famele to male*
- 12) Laptop
- 13) Termometer sebagai alat pengkalibrasi sensor suhu
- 14) *Digital Sound Level Meter (SL-130)* sebagai alat pengkalibrasi sensor suara
- 15) *Aplikasi Audio Frequency Counter* sebagai alat pengkalibrasi frekuensi
- 16) *Software tone generator* sebagai pengatur frekuensi

b. Desain produk

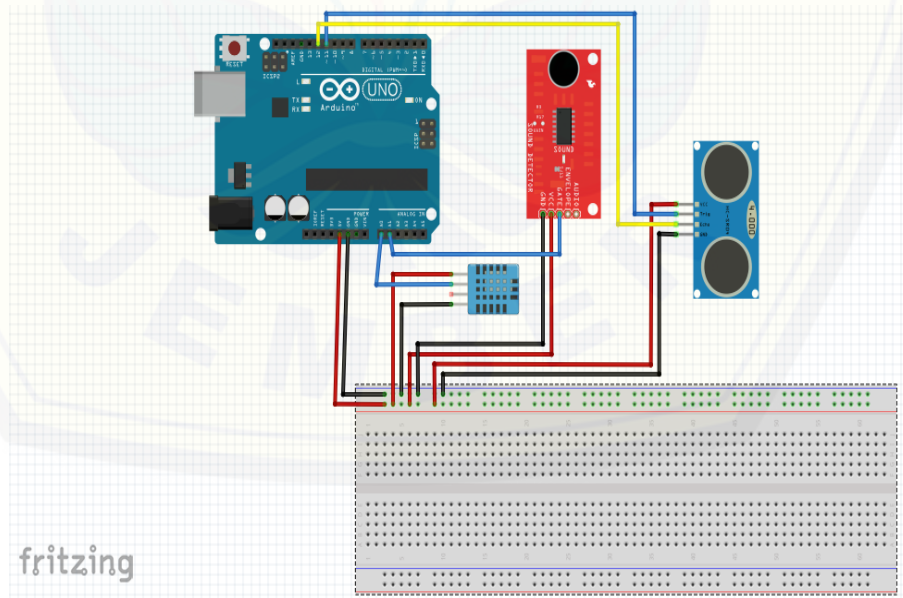
Dalam penelitian ini desain *trainer kit* yang di gunakan adalah sebagai berikut:

1) Rancang bangun alat



Gambar 3.2 Rancang Bangun Trainer Kit

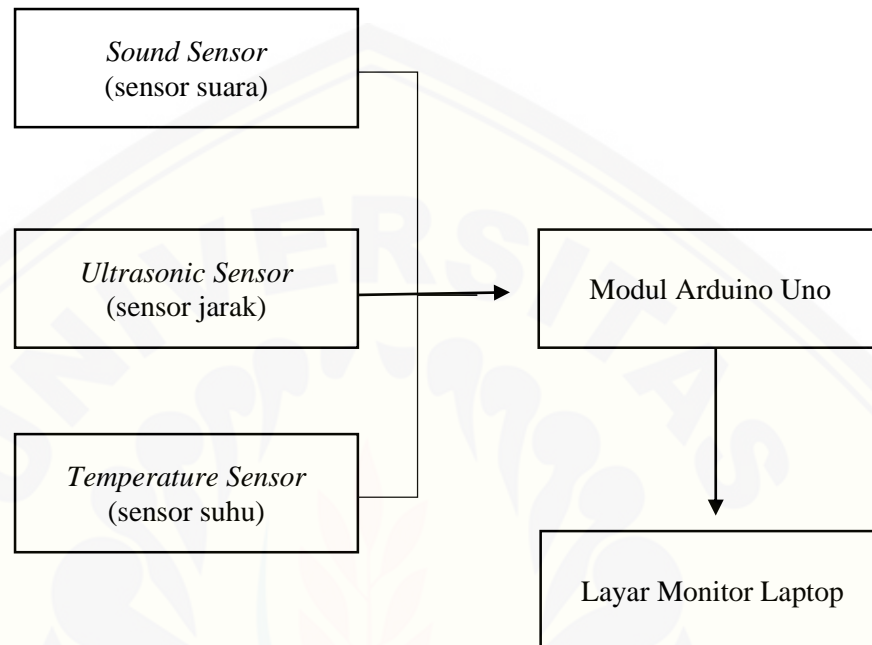
2) Rangkaian sistem sensor *trainer kit*



Gambar 3.3 Sekema rangkaian sistem sensor *trainer kit* di lengkapi sensor suhu dan kelembapan DHT11, sensor ultrasonik HC-SR04 dan sensor microphone ky037

3) Desain blok perancangan alat

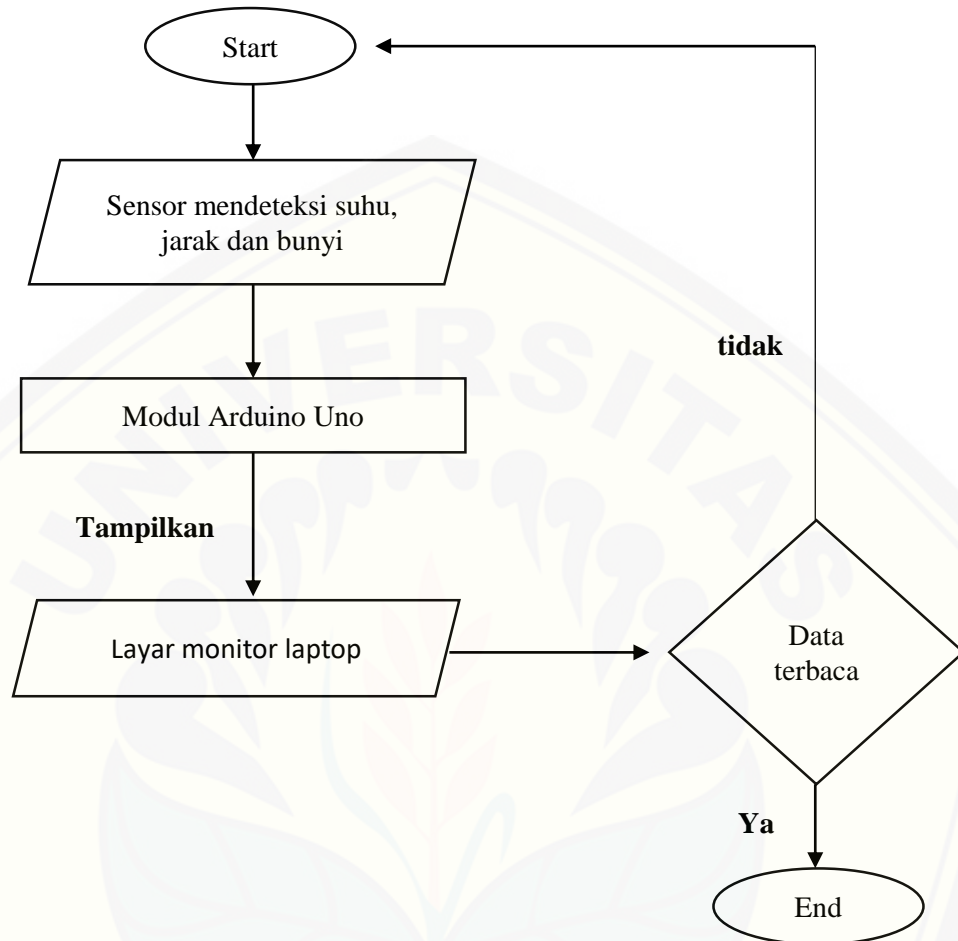
Secara umum diagram blok perancangan alat dapat dilihat pada gambar dibawah:



Gambar 3.4 Desain blok Perancangan alat

Rancangan alat terdiri dari *sound sensor* sebagai pendeteksi suara, *ultrasonic sensor* sebagai pendeteksi jarak, *temperature sensor* sebagai pendeteksi suhu, arduino uno sebagai pengendali langkaian, dan laptop sebagai output penampil data yang didapat selama pengukuran.

4) Flowchart



Gambar 3.5 Flowchart sistem alat

c. Uji coba terbatas

Sebelum proses pengambilan data, *trainer* kit hasil rancangan perlu dilakukan pengujian terlebih dahulu. Pengujian dilakukan pada masing-masing komponen rangkaian pendukung dari sistem alat keseluruhan. Proses pengujian yang dilakukan adalah uji coba rangkaian sistem *trainer kit*, pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah rangkaian sensor dapat berjalan dengan baik dan dapat menghasilkan data yang benar. Kemudian dilanjutkan dengan uji kalibrasi sensor dengan membandingkan alat yang berasal dari buatan pabrik untuk mengetahui keakuratan atau kevalidan pembacaan yang dilakukan oleh sensor.

d. Evaluasi dan revisi

Tujuan evaluasi adalah untuk menguji kevalidan alat yang didasarkan pada analisis menggunakan persamaan regresi linier, yaitu dengan menganalisis linier yang disajikan dalam grafik. Draf I yang telah di buat pada tahapan desain produk di analisis dengan regresi.

Setelah dilakukan evaluasi dan revisi selanjutnya di lakukan analisis hasil yang telah diperoleh. Apabila hasil yang di dapat dari evaluasi dan revisi pada draf I dikatakan valid maka produk dapat di gunakan dalam tahap selanjutnya. Namun jika analisis yang dihasilkan masih belum valid dan layak maka selanjutnya dilakukan revisi. Hasil revisi tersebut harus dilakukan validasi ulang hingga didapat sebuah produk revisi yang sudah valid dan layak. Hasil yang telah valid ini akan menjadi Draf II.

3.4.3 Tahap penilaian (*Assessment Stage*)

Pada tahapan ini dilakukan uji coba lapang terhadap draf II yang telah di peroleh dari tahap pengembangan sebelumnya. Uji coba ini dilakukan dengan menjalankan *trainer kit* yang telah dirancang. Ini dilakukan untuk mengetahui keberhasilan penggunaan produk pengembangan. Kemudian dilakukan analisis hasil yang di peroleh pada uji coba. Apabila hasil yang di dapat telah memenuhi atau sesuai dengan teori cepat rambat bunyi maka draf yang di hasilkan adalah produk akhir namun jika masih belum memenuhi kriteria maka akan di lakukan revisi produk. Hasil dari revisi akan di uji cobakan kembali sampai di dapatkan produk revisi yang sesuai dengan kriteria. Kemudian membuat kesimpulan mengenai *trainer kit* dari data yang di dapatkan .

3.5 Teknik Analisis Data

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

3.5.1 Tabel penyajian data

Data yang di peroleh dari hasil eksperimen *trainer kit* di masukkan kedalam tabel berikut:

Tabel 3.1 Penyajian data hasil ukur kalibrasi sensor suhu DHT 11

| No | X(°C) | Y (°C) | Nilai error (%) |
|----|-------|--------|-----------------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |

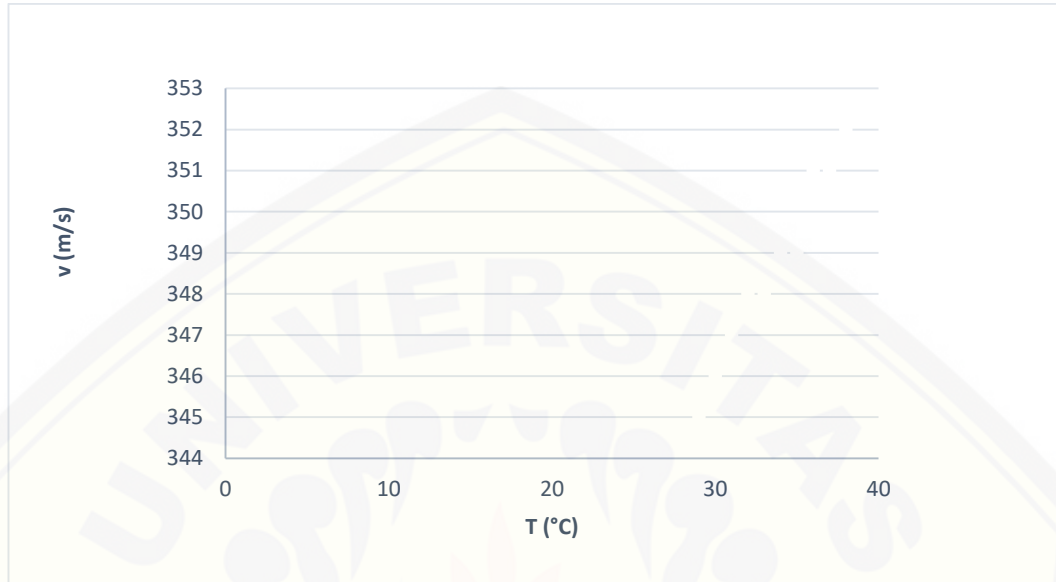
X= data pembacaan alat ukur suhu pabrikan
Y= data pembacaan sensor suhu

Tabel 3.2 Penyajian data hasil ukur kalibrasi sensor microphone KY037

| No | X (dB) | Y (dB) | Nilai error (%) |
|----|--------|--------|-----------------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |

X= data pembacaan alat ukur kebisingan pabrikan
Y= data pembacaan sensor sensor *mikrophone* KY037

Adapun grafik pengaruh suhu terhadap cepat rambat bunyi di gambarkan sebagai berikut:



Gambar 3.6 Grafik pengaruh suhu terhadap cepat rambat bunyi

3.5.2 Analisis data

a. Analisa validitas alat

Analisis data produk atau *trainer kit* dilakukan dengan membandingkan sensor yang digunakan terhadap alat buatan pabrik untuk mengetahui validitas alat. Perbandingan ini di gunakan untuk mengkalibrasi alat yang di gunakan dalam perancangan bangun *trainer kit*. Analisis kalibrasi sensor hasil produk rancangan menggunakan regresi linier dengan bantuan SPSS 23. 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 ke 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 di hasilkan trainer kit dilakukan sesuai ketentuan pengisian tabel sebagai berikut:

- 1) Pada kolom suhu, diisi nilai dari pengukuran suhu berupa derajat celsius yang telah diukur oleh sensor suhu.
- 2) Pada kolom L1, L2, dan L3 diisi data hasil pengukuran panjang pergeseran piston pada resonansi pertama, kedua dan ketiga yang diukur oleh sensor jarak.
- 3) Pada kolom ΔL_2 diisi hasil pengurangan antara L2 dengan L1 dan kolom ΔL_3 diisi hasil pengurang L3 dengan L2. Yang kemudia akan didapatkan nilai λ_2 dan λ_3 .

$$\Delta L_2 = L_2 - L_1 = \frac{3\lambda}{4} - \frac{\lambda}{4}$$

$$\lambda_2 = 2(L_2 - L_1)$$

$$\Delta L_3 = L_3 - L_2 = \frac{5\lambda}{4} - \frac{3\lambda}{4}$$

$$\lambda_3 = 2(L_3 - L_2)$$

- 4) Pada kolom λ_{rat} diisi rerata dari nilai panjang gelombang λ_2 dan λ_3 .
- 5) Kemudian pada kolo v dapat diketahui nilai kecepatan gelombang bunyi dengan menggunakan persamaan :

$$v = \lambda \cdot f$$

- 6) Kemudian setelah ditemukan nilai kecepatan bunyi kemudian dibandingkan dengan suhunya. Apakah perubahan kecepatan bunyi berbanding lurus dengan perubahan suhu sesuai dengan teori yang digunakan.

BAB. 5 PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

- a. Pada penelitian ini rancang bangun *trainer kit* yang dikembangkan berbasis elektronik bantuan mikrokontroler sebagai pengendali dan pengolah sensor pada rangkaian. *Trainer kit* rancangan telah dilakukan uji validitas dengan membandingkan terhadap alat standar buatan pabrik. Didapatkan hasil berupa grafik normalitas dengan persebaran data berada di sekitar garis normal dengan nilai *R square* dari sensor suhu sebesar 0,997%, sensor jarak sebesar 1%, sensor suara sebesar 0,941% dan sumber bunyi menggunakan tone generator sebesar 1%. Ini menunjukkan bahwa *trainer kit* rancangan peneliti sudah mendekati nilai dari hasil ukur alat standar buatan pabrik. Artinya *trainer kit* rancangan peneliti telah valid dan dapat digunakan dalam percobaan resonansi bunyi.
- b. hasil uji coba lapang yang dilakukan diperoleh hasil grafik pengaruh suhu terhadap cepat rambat bunyi dengan nilai persamaan regresi linier $y = 0,7394x + 323,83$. Selain itu juga didapatkan nilai dari *R squared* ($R^2 = 0,972$). Ini berarti grafik menunjukkan bahwa kenaikan suhu juga diikuti dengan kenaikan cepat rambat bunyi pada medium udara atau bisa dikatakan bahwa pengaruh suhu terhadap cepat rambat bunyi berbanding lurus pada medium udara.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang peneliti dapatkan ada beberapa saran kepada semua pihak yang berkepentingan sebagai berikut: (1) untuk siswa, atau mahasiswa *trainer kit* ini berbasis arduino uno sehingga mudah di pelajari karena bersifat *open source*; (2) untuk guru, *trainer kit* ini sudah tervalidasi dengan alat pabrik sehingga dapat dijadikan sebagai salah satu media pengajaran; (3) untuk peneliti lain dapat menggunakan hasil penelitian ini untuk mengembangkan *trainer kit* pada mata materi atau pelajaran yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous. 2016. *Arduino Board Uno*. <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>. [Diakses tanggal 16 agustus 2018].
- Anonymous. 2017. *Ultrasonic sensor hc-sr04 with arduino*. <https://iknowvations.in/arduino/ultrasonic-sensor-hc-sr04-arduino/>. [Diakses tanggal 27 agustus 2018].
- Artanto, Dian. 2012. *Interaksi Arduino dan LabVIEW*. Jakarta: PT Elax Media Komputindo.
- Astuti, Irnin A.D. 2016. Pengembangan Alat Eksperimen Cepat Rambat Bunyi dalam Medium Udara dengan Menggunakan *Metode Time of Flight (TOF)* Berbantuan *Software Audacity*. *Unnes Physics Education Journal*. 5(3) : 18-24.
- Bueche, J. Frederick dan Hecht Eungene. 2006. *Fisika Universitas edisi X*. Jakarta: Erlangga.
- Budi Purwanto. 2007. *Sains Fisika 2 Konsep dan Penerapannya untuk Kelas VIII SM dan MTs*. Solo: Tiga Serangkai.
- Budi Prasodjo. 2006. *Teori dan Aplikasii Fisika SMP Kelas VIII*. Bogor: Yudhistira.
- Dinata, Y. Marta. 2014. *Arduino itu Mudah*. Jakarta: PT Elax Media Komputindo.
- Giancoli, D. C. (2001). *Fisika (5 ed., Vol. 1)*. (H. H. Wibi, Penyunt., & Y. Hanum, Penerj.) Jakarta: Erlangga.
- 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, David & Resnick, Robert. 1991. *Fisika*. Translated by Pantur Silaban dan Erwin Sucipto. Jakarta: Erlangga.
- Halliday dan Resnick. 1994. *Fisika Jilid 2*, diterjemahkan oleh Silaban, P & Sucipto, E. Jakarta: Erlangga.
- Halliday, David, Robert Resnick dan Jearl Waalker. 2010. *Fisika Dasar Edisi 7*. Jakarta : Erlangga.

- Iswahyudi. 2014. Pengaruh Volume Lalu Lintas Terhadap Kebisingan Yang Ditimbulkan Oleh Angkutan Umum Dan Non Angkutan Umum. *Jurnal Rekayasa Sipil Astonjadro*. 3 (2) : 2.
- Ikhwan N. dan Pramudya Y. 2018. Cepat Rambat Bunyi di Udara Pada Variasi Suhu Dengan Memanfaatkan Sensor Suara Berbantuan Logger Pro dan Audacity. *Wahana Fisika*. 3 (1).
- Jati, B.M.E. dan Tri K.P. 2009. *Fisika Dasar Untuk Mahasiswa Ilmu Computer & Informatika*. Yogyakarta : ANDI.
- M. S. N. Utami et al. 2014. Pengaruh frekuensi resonansi terhadap penurunan suhu pada sistem termoklastik sederhana. *Jurnal Fisika*. 4(2) : 103-104.
- Muhafid, Ervian Arif & M. R. Primadi. 2014. Pengembangan Alat Eksperimen Bunyi Dengan Sistem Akuisisi Data Berbasis Smartphone Android. *Jurnal Fisika*. 4(2) : 87.
- 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
- Nieveen, N. (1999). Prototyping to reach product quality. In Akker, J. V. D., Branch, R. M., Gustafson, K., Nieveen, N., dan Plomp, T. (Eds.), *Design Approaches and Tools in Education and Training* (pp. 125-135). Dordrecht, Netherlands: Springer.
- Nurjannah I., A. Harijanto., B. Supriadi. 2017. Sound Intensity Measuring Instrument Based on Arduino Board with Data Logger System. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*. Vol. 4, Issue 9.
- Nurkholis, Junaidi, A. Surtono. 2014. Rancang Bangun Sistem Akuisisi Data Resonansi gelombang Bunyi Menggunakan Transduser Ultrasonik Berbasis Mikrokontroler atmega8535. *Teori dan Aplikasi Fisika*. 2(2) : 166.
- 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.
- Plomp, T. & Nieveen, N. 2010. *An Introduction To Educational Design Research*. Netherlands: Netzdruk Enschede.
- 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.

- Sears dan Zemansky. 2001. *Fisika Universitas Edisi Kesepuluh Jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Sugiyono. 2006. *Metode Penelitian Pendidikan*. Bandung: Alfabeta.
- Tipler, P. A. (1991). *Fisika Untuk Sains dan Teknik*. Jakarta: Erlangga.
- Tipler, P. A. (1998). *Fisika Untuk Sains dan Teknik Jilid 1*. Erlangga: Jakarta.
- Umar, Efrizon. 2008. *Buku Pintar Fisika*. Jakarta : Media Pusindo.
- Wulansari, Mulya. (2013). “*Cepat Rambat Bunyi*”. <http://mulyawulansari.blogspot.com>. Diakses pada tanggal 2 Maret 2014 pukul 08.13 WIB.
- Y. A. K. Utama. 2016. Perbandingan kualitas antar sensor suhu dengan menggunakan arduino pro mini. *e-Jurnal NARODROID*. 2(2).

Lampiran

Lampiran A Matrik Penelitian

MATRIK PENELITIAN

NAMA : Wahyu Dian Wisesa

NIM : 150210102028

RG : 3

| JUDUL | TUJUAN PENELITIAN | VARIABEL | SUMBER DATA DAN TEKNIK PENGAMBILAN DATA | METODE PENELITIAN |
|--|--|---|--|--|
| Rancang Bangun <i>Trainer Kit</i> Pengaruh Suhu Terhadap Cepat Rambat Bunyi Pada Pipa Organa Tertutup Berbantu Mikrokontroler Arduino Uno. | <ul style="list-style-type: none"> Mendesain rancang bangun <i>trainer kit</i> pengaruh suhu terhadap cepat rambat bunyi pada pipa organa tertutup Mengetahui pengaruh suhu terhadap cepat rambat bunyi pada pipa organa tertutup. | Variable bebas : <ul style="list-style-type: none"> Suhu Variable control: <ul style="list-style-type: none"> Frekuensi Variable terikat: <ul style="list-style-type: none"> Cepat rambat gelombang bunyi pada pipa organa tertutup. | Sumber data: <ul style="list-style-type: none"> Hasil percobaan Pustaka yang relevan Teknik pengambilan data: <ul style="list-style-type: none"> Hasil pengukuran dan perhitungan | <p>Metode penelitian: penelitian pengembangan menggunakan model <i>Nieveen</i> yang terdiri dari : 1) <i>Preliminary research</i>, 2) <i>Prototyping stage</i>, dan 3) <i>Assasment stage (summative evaluation)</i>.</p> <p>Teknik pengumpulan data : data di dapat dari hasil pengukuran adalah frekuensi, panjang kolom udara pada pipa, dan suhu udara. Melalui perhitungan $L = (2n + 1) \frac{\lambda}{4}$ dan $\lambda = \frac{v}{f}$ akan di peroleh panjang gelombang dan kecepatannya.</p> |

Menyetujui,
Dosen Pembimbing Utama

Drs. Alex Harijanto, M.Si
NIP. 196411171991031001

Menyetujui,
Dosen Pembimbing Anggota

Drs. Bambang Supriadi, M. Sc
NIP. 196807101993021001

Lampiran B Langkah-langkah perakitan *trainer kit*

a. Perakitan kerangka *trainer kit*

1. Persiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan dalam pembuatan *traine kit* (telah di sebutkan pada bab 3).
2. Rakitlah rangka *trainer kit* sesuai dengan desain rancangan pada gambar 3.9 yang telah di buat (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 3.9 dan gambar 3.10 (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 suhu dan kelembapan (DHT11) yang memiliki 4 kaki dimana 3 kaki akan dihubungkan dengan papan mikrokontroler arduino uno.
3. Hubungkan kaki pin A0 sensor DHT11 dengan pin analog A0 pada arduino uno menggunakan kabel *jumper female to male*.
4. Hubungkan kaki pin vcc (+) sensor DHT11 dengan pin 5 Volt pada arduino uno menggunakan kabel *jumper female to male*.
5. Hubungkan kaki pin GND pada sensor DHT11 dengan pin GND pada arduino uno menggunakan kabel *jumper female to male*.
6. Setelah pemasangan sensor suhu (DHT11) kemudian lanjutkan pemasangan sensor *microphone* ky-037 yang memiliki 4 kaki dimana 3 kaki akan dihubungkan dengan papan mikrokontroler arduino uno.
7. Hubungkan kaki pin A0 sensor ky-037 dengan pin analog A1 pada arduino uno menggunakan kabel *jumper female to male*.
8. Hubungkan kaki pin vcc (+) sensor ky-037 dengan pin 5 Volt pada arduino uno menggunakan kabel *jumper female to male*.
9. Hubungkan kaki pin GND pada sensor ky-037 dengan pin GND pada arduino uno menggunakan kabel *jumper female to male*.

10. Langkah selanjutnya memasang sensor ultrasonic HC-SR04 yang memiliki 4 kaki dimana ke 4 kaki akan dihubungkan dengan papan mikrokontroler arduino uno.
11. Hubungkan kaki pin vcc (+) sensor HC-SR04 dengan pin 5 Volt pada arduino uno menggunakan kabel *jumper female to male*.
12. Hubungkan kaki trig pin sensor HC-SR04 dengan digital pin 11 pada arduino uno menggunakan kabel *jumper female to male*.
13. Hubungkan kaki echo pin sensor HC-SR04 dengan digital pin 12 pada arduino uno menggunakan kabel *jumper female to male*.
14. Hubungkan kaki pin GND pada sensor HC-SR04 dengan pin GND pada arduino uno menggunakan kabel *jumper female to male*.
15. Untuk mempermudah pemasangan sensor dengan arduino uno dapat dilihat pada gambar 3.10 (pada bab 3).
16. Kemudian lakukan pemrograman pada papan mikrokontroler arduino uno dengan menggunakan *software IDE arduino*.
17. Langkah terakhir pasang sensor dan arduino uno pada *trainer kit* sesuai gambar 3.9 (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 sensor suhu yang digunakan adalah DHT11 maka perlu memasukkan library DHT11 kedalam *software IDE arduino*.
5. Klik menu sketch, klik add file dan masukkan library sensor DHT11 (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

```
//deklarasi variabel sensor suhu dht11
#include "DHT.h" //library sensor yang telah diimportkan
#define DHTPIN A0 //Pin apa yang digunakan
#define DHTTYPE DHT11 // DHT 11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
//deklarasi variabel sensor kebisingan ky-037
int sensorPin = A1; //output dari sensor
int ledPin = 13; //untuk LED
int sensorValue = 00; //Nilai default sensor
int CompareSensor=300;
//deklarasi variabel sensor jarak HC-SR04
int trigPin = 11;
int echoPin = 12;
long duration, cm, meter;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("data sensor trainer kit");
  dht.begin();
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
}
void loop() {
  delay(2000);
  //pembacaan data suhu
  float humidity_1 = dht.readHumidity();
  float celcius_1 = dht.readTemperature();
  // pengecek terjadi kegagalan
  if (isnan(celcius_1)){
    Serial.println("Pembacaan data dari module sensor gagal!");
```



```
return;
}
//Prosedur pembacaan data indeks panas dalam bentuk celcius
float htoc = dht.computeHeatIndex(celcius_1, humidity_1,
false);
//pembacaan nilai pembacaan data kelembaban
Serial.print("Kelembaban: ");
Serial.print(humidity_1);
Serial.print(" %\t");
//pembacaan nilai pembacaan data suhu
Serial.print("Suhu : ");
Serial.print(celcius_1); //format derajat celcius
Serial.print(" 'C ");
//Pembacaan sensor ky-037
sensorValue = analogRead(sensorPin);
//menampilkan nilai pembacaan sensor di serial monitor
Serial.print("Nilai pembacaan sensor suara: ");
Serial.println(sensorValue, DEC);
//untuk indikator dan pembeding
if(sensorValue > CompareSensor){
digitalWrite(ledPin, HIGH);
}
else{
digitalWrite(ledPin, LOW); }
delay(2000);
//pembacaan sensor HC-SR04
// Sensor dipicu oleh pulsa HIGH dari 10us atau lebih.
// Berikan pulsa LOW pendek terlebih dahulu untuk memastikan
pulsa HIGH bersih:
digitalWrite(trigPin, LOW);
delayMicroseconds(5);
```

```
digitalWrite(trigPin, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite(trigPin, LOW);
// Baca sinyal dari sensor: pulsa HIGH yang
// duration adalah waktu (dalam mikrodetik) dari pengirim
// Dari ping untuk penerimaan Echo off dari sebuah objek.
pinMode(echoPin, INPUT);
duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
// convert jarak kedalam cm dan meter
cm = (duration/2) / 29.1;
meter = (duration/2) / 100;
Serial.print("jarak: ");
Serial.print(meter);
Serial.print("m, ");
Serial.print(cm);
Serial.print("cm");
Serial.println();
delay(2000);
}
```

Lampiran D Rincian cara penggunaan trainer kit

Cara penggunaan *trainer kit*

Langkah penggunaan *trainer kit* antara lain:

- a. Menyiapkan semua alat dan bahan yang akan digunakan (pada bab 3), usahakan laptop sudah terinstal aplikasi arduino uno dan *pro audio tone generator* sebelum dimulai.
- b. Menghubungkan laptop yang sudah terinstal aplikasi *pro audio tone generator* dan arduino uno dengan *trainer kit* yaitu port USB arduino uno dan kabel *speaker*..
- c. Ukurlah suhu ruang di sekitar pipa organa menggunakan sensor DHT11 dengan melihat data yang muncul pada tabel serial monitor aplikasi arduino uno di laptop dengan cara klik menu *tool*, klik *serial monitor*, kemudian catat data yang diperoleh kedalam tabel hasil pengamatan.
- d. Atur frekuensi pada *pro audio tone generator* sebesar 1000 Hz dan nyalakan frekuensi dengan cara klik *turn on*.
- e. Tarik piston sampai terjadi resonansi ke-1, ke-2, dan ke-3. Amati resonansi yang ke-1 ke-2 ke-3 yang tercatat pada serial monitor laptop dengan melihat hasil pembacaan sensor KY-037 (resonansi terjadi saat sensor KY-037 menghasilkan pengukuran yang besar atau suara yang di hasilkan *speaker* nyaring). Catatlah panjang pergeseran piston pada resonansi ke-1, ke-2, dan ke-3 yang diukur oleh sesor HC-SR04 pada serial monitor laptop kedalam tabel hasil pengamatan.
- f. Ulangi langkah 4, 5, dan 6 dengan menggunakan frekuensi yang sama (1000 Hz) namun dengan suhu udara yang berbeda. Hal ini dilakukan dengan mengganti potensio pada lampu. Dan kemudian catat data yang diperoleh kedalam tabel hasil pengamatan.
- g. Setelah semuanya selesai, hitunglah nilai panjang gelombangnya kemudian carilah cepat rambat gelombangnya menggunakan rumus sesuai dengan dasar teori. Nilai panjang gelombang dihitung dengan cara

$$L = (2n + 1) \frac{\lambda}{4} \text{ dengan } n \text{ (pada resonansi ke berapa) } = 0, 1, 2, 3, ..$$

Dengan L = panjang kolom udara saat sudah terjadi resonansi (L_1, L_2, L_3). Sehingga, nilai panjang gelombang dapat dicari dengan cara :

$$\Delta L = L_2 - L_1 = \frac{3\lambda}{4} - \frac{\lambda}{4}$$

Jika sudah di dapatkan nilai panjang gelombang maka, cepat rambat gelombang dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$v = \lambda \cdot f$$

- h. Buatlah kesimpulan dari hasil pengamatan dan perhitungan yang telah dilakukan.



Lampiran E Tabel perbandingan hasil kalibrasi alat

1. Tabel perbandingan sensor suhu dengan alat buatan pabrik

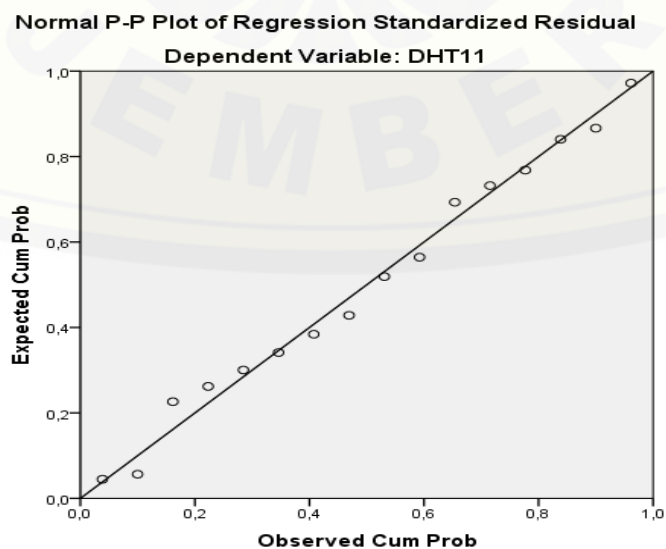
| data kalibrasi sensor suhu (DHT11) | | | |
|------------------------------------|------------|-------|--------|
| No. | Termometer | DHT11 | eror % |
| 1 | 29 | 29 | 0,00% |
| 2 | 30 | 30 | 0,00% |
| 3 | 31 | 31 | 0,00% |
| 4 | 32,5 | 32 | -1,54% |
| 5 | 33,5 | 33 | -1,49% |
| 6 | 34 | 34 | 0,00% |
| 7 | 35 | 35 | 0,00% |
| 8 | 35,5 | 36 | 1,41% |
| 9 | 37 | 37 | 0,00% |
| 10 | 38 | 38 | 0,00% |
| 11 | 39 | 39 | 0,00% |
| 12 | 40 | 40 | 0,00% |
| 13 | 41 | 41 | 0,00% |
| 14 | 42 | 42 | 0,00% |
| 15 | 42,5 | 43 | 1,18% |
| 16 | 43,5 | 44 | 1,15% |

Model Summary^b

| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|-------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| 1 | ,999 ^a | ,997 | ,997 | ,26066 |

a. Predictors: (Constant), termometer

b. Dependent Variable: DHT11



2. Tabel perbandingan sensor jarak dengan alat buatan pabrik

| data kalibrasi sensor jarak (HC-SR04) | | | |
|---------------------------------------|--------|---------|--------|
| No. | Mistar | HC-SR04 | eror % |
| 1 | 4 | 4,08 | 2,00% |
| 2 | 5 | 5,09 | 1,80% |
| 3 | 6 | 5,98 | -0,33% |
| 4 | 7 | 6,87 | -1,86% |
| 5 | 8 | 7,95 | -0,62% |
| 6 | 9 | 8,96 | -0,44% |
| 7 | 10 | 10,03 | 0,30% |
| 8 | 11 | 11,04 | 0,36% |
| 9 | 12 | 11,93 | -0,58% |
| 10 | 13 | 12,95 | -0,38% |
| 11 | 14 | 13,9 | -0,71% |
| 12 | 15 | 14,9 | -0,67% |
| 13 | 16 | 16,04 | 0,25% |
| 14 | 17 | 16,93 | -0,41% |
| 15 | 18 | 17,89 | -0,61% |
| 16 | 19 | 19,27 | 1,42% |

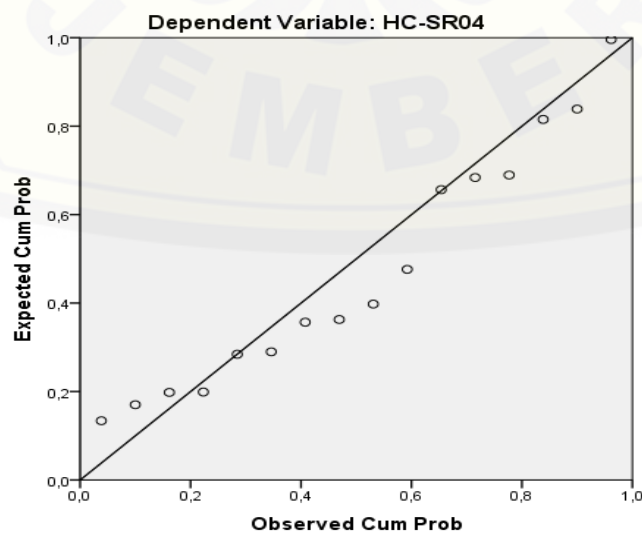
Model Summary^b

| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|-------|--------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| 1 | 1,000 ^a | 1,000 | 1,000 | ,10522 |

a. Predictors: (Constant), Mistar

b. Dependent Variable: HC-SR04

Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual



3. Tabel perbandingan sensor suara dengan alat buatan pabrik

| data kalibrasi sensor suara (KY-037) | | | |
|--------------------------------------|--------|---------------------------|--------|
| No. | KY-037 | Digital Sound Level Meter | eror % |
| 1 | 91 | 90 | -1,10% |
| 2 | 95 | 94,4 | -0,63% |
| 3 | 98 | 98,2 | 0,20% |
| 4 | 100 | 100,3 | 0,30% |
| 5 | 105 | 102,5 | -2,38% |
| 6 | 109 | 104,1 | -4,50% |
| 7 | 112 | 105,9 | -5,45% |

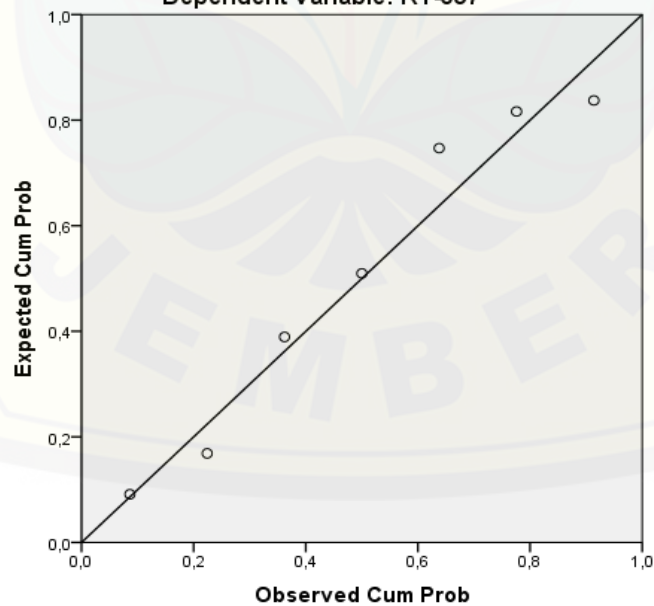
Model Summary^b

| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|-------|-------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| 1 | ,970 ^a | ,941 | ,930 | 2,01225 |

a. Predictors: (Constant), Sound Level Meter

b. Dependent Variable: KY-037

Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual
Dependent Variable: KY-037



4. Tabel perbandingan frekuensi bunyi trainerkit dengan alat buatan pabrik

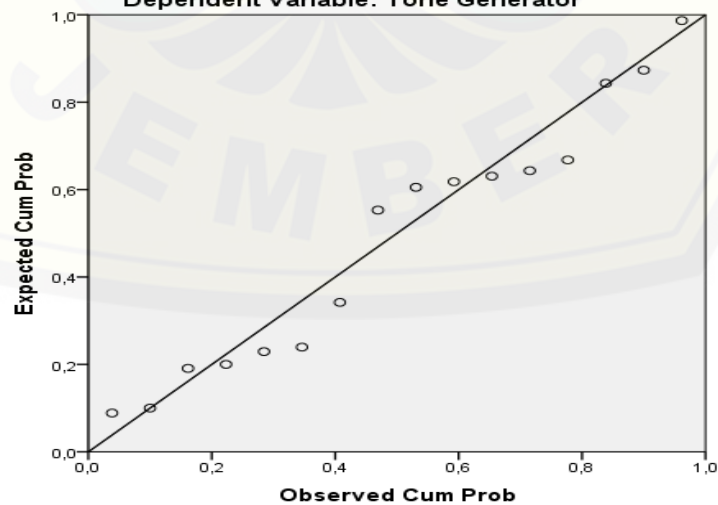
| tabel data kalibrasi frekuensi bunyi | | | |
|--------------------------------------|------------------------------|---------------------|--------|
| No. | Audio Frequency Counter (Hz) | Tone Generator (Hz) | eror% |
| 1 | 499,99 | 500 | 0,002% |
| 2 | 549,99 | 550 | 0,002% |
| 3 | 599,97 | 600 | 0,005% |
| 4 | 649,98 | 650 | 0,003% |
| 5 | 699,99 | 700 | 0,001% |
| 6 | 749,99 | 750 | 0,001% |
| 7 | 799,97 | 800 | 0,004% |
| 8 | 849,98 | 850 | 0,002% |
| 9 | 899,98 | 900 | 0,002% |
| 10 | 949,98 | 950 | 0,002% |
| 11 | 999,98 | 1000 | 0,002% |
| 12 | 1049,96 | 1050 | 0,004% |
| 13 | 1099,98 | 1100 | 0,002% |
| 14 | 1150 | 1150 | 0,000% |
| 15 | 1199,99 | 1200 | 0,001% |
| 16 | 1250 | 1250 | 0,000% |

Model Summary^b

| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|-------|--------------------|----------|-------------------|----------------------------|
| 1 | 1,000 ^a | 1,000 | 1,000 | ,01101 |

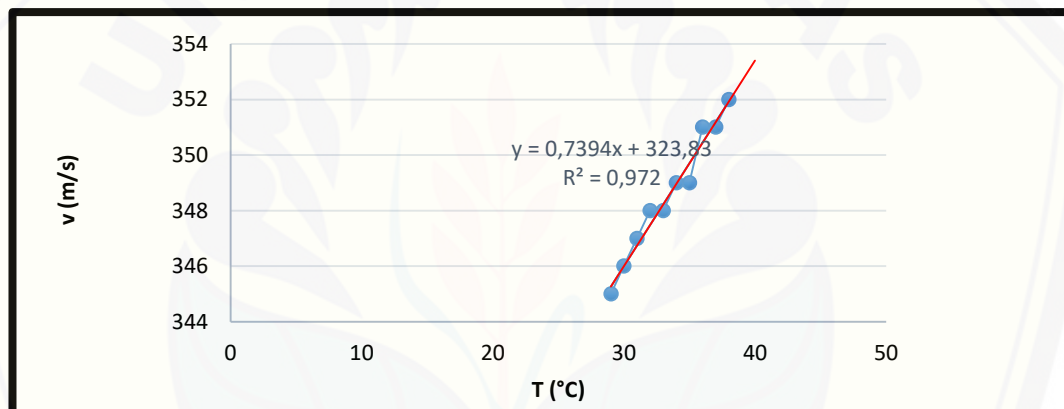
a. Predictors: (Constant), Audio Frequency Counter

b. Dependent Variable: Tone Generator

Normal P-P Plot of Regression Standardized Residual
Dependent Variable: Tone Generator

5. Tabel hasil data trainer kit

| No | Suhu °C | Frekuensi Hz | L1 | L2 | L3 | $\Delta L2$ | $\Delta L3$ | $\lambda 2$ | $\lambda 3$ | λrat | v (m/s) |
|----|------------|-----------------|-----|------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------------|--------------|
| 1 | 29 | 1000 | 6,5 | 23,8 | 41 | 17,3 | 17,2 | 34,6 | 34,4 | 34,5 | 345 |
| 2 | 30 | 1000 | 6,7 | 23,9 | 41,3 | 17,2 | 17,4 | 34,4 | 34,8 | 34,6 | 346 |
| 3 | 31 | 1000 | 6,8 | 24,1 | 41,5 | 17,3 | 17,4 | 34,6 | 34,8 | 34,7 | 347 |
| 4 | 32 | 1000 | 6,8 | 24,3 | 41,6 | 17,5 | 17,3 | 35 | 34,6 | 34,8 | 348 |
| 5 | 33 | 1000 | 6,9 | 24,4 | 41,7 | 17,5 | 17,3 | 35 | 34,6 | 34,8 | 348 |
| 6 | 34 | 1000 | 6,9 | 24,4 | 41,8 | 17,5 | 17,4 | 35 | 34,8 | 34,9 | 349 |
| 7 | 35 | 1000 | 7 | 24,5 | 41,9 | 17,5 | 17,4 | 35 | 34,8 | 34,9 | 349 |
| 8 | 36 | 1000 | 7,1 | 24,6 | 42,2 | 17,5 | 17,6 | 35 | 35,2 | 35,1 | 351 |
| 9 | 37 | 1000 | 7,2 | 24,6 | 42,3 | 17,4 | 17,7 | 34,8 | 35,4 | 35,1 | 351 |
| 10 | 38 | 1000 | 7,2 | 24,6 | 42,4 | 17,4 | 17,8 | 34,8 | 35,6 | 35,2 | 352 |



Lampiran F Perhitungan Data Uji Coba

a. Pada suhu 29 °C

$$\begin{aligned}\Delta L_2 &= L_2 - L_1 \\ &= 23,8 - 6,5 \\ &= 17,3 \text{ cm} \\ \lambda_2 &= 2(L_2 - L_1) \\ &= 2(17,3) \\ &= 34,6 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta L_3 &= L_3 - L_2 \\ &= 41 - 23,8 \\ &= 17,2 \text{ cm} \\ \lambda_3 &= 2(L_3 - L_2) \\ &= 2(17,2) \\ &= 34,4 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{rat} &= \frac{\lambda_2 + \lambda_3}{2} \\ &= \frac{34,6 + 34,4}{2} \\ &= 34,5 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}v &= \lambda_{rat} \cdot f \\ &= 34,5 \cdot 1000 \\ &= 34500 \text{ cm/s} \\ &= 345 \text{ m/s}\end{aligned}$$

b. Pada suhu 30 °C

$$\begin{aligned}\Delta L_2 &= L_2 - L_1 \\ &= 23,9 - 6,7 \\ &= 17,2 \text{ cm} \\ \lambda_2 &= 2(L_2 - L_1) \\ &= 2(17,2) \\ &= 34,4 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta L_3 &= L_3 - L_2 \\ &= 41,3 - 23,9 \\ &= 17,4 \text{ cm} \\ \lambda_3 &= 2(L_3 - L_2) \\ &= 2(17,4) \\ &= 34,8 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{rat} &= \frac{\lambda_2 + \lambda_3}{2} \\ &= \frac{34,4 + 34,8}{2}\end{aligned}$$

$$= 34,6 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} v &= \lambda_{rat} \cdot f \\ &= 34,6 \cdot 1000 \\ &= 34600 \text{ cm/s} \\ &= 346 \text{ m/s} \end{aligned}$$

c. Pada suhu 31 °C

$$\begin{aligned} \Delta L_2 &= L_2 - L_1 \\ &= 24,1 - 6,8 \\ &= 17,3 \text{ cm} \\ \lambda_2 &= 2(L_2 - L_1) \\ &= 2(17,3) \\ &= 34,6 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta L_3 &= L_3 - L_2 \\ &= 41,5 - 24,1 \\ &= 17,4 \text{ cm} \\ \lambda_3 &= 2(L_3 - L_2) \\ &= 2(17,4) \\ &= 34,8 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda_{rat} &= \frac{\lambda_2 + \lambda_3}{2} \\ &= \frac{34,6 + 34,8}{2} \\ &= 34,7 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} v &= \lambda_{rat} \cdot f \\ &= 34,7 \cdot 1000 \\ &= 34700 \text{ cm/s} \\ &= 347 \text{ m/s} \end{aligned}$$

d. Pada suhu 32 °C

$$\begin{aligned} \Delta L_2 &= L_2 - L_1 \\ &= 24,3 - 6,8 \\ &= 17,5 \text{ cm} \\ \lambda_2 &= 2(L_2 - L_1) \\ &= 2(17,5) \\ &= 35 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta L_3 &= L_3 - L_2 \\ &= 41,6 - 24,3 \\ &= 17,3 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_3 &= 2(L_3 - L_2) \\ &= 2(17,3) \\ &= 34,6 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{rat} &= \frac{\lambda_2 + \lambda_3}{2} \\ &= \frac{35 + 34,6}{2} \\ &= 34,8 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}v &= \lambda_{rat} \cdot f \\ &= 34,8 \cdot 1000 \\ &= 34800 \text{ cm/s} \\ &= 348 \text{ m/s}\end{aligned}$$

e. Pada suhu 33 °C

$$\begin{aligned}\Delta L_2 &= L_2 - L_1 \\ &= 24,4 - 6,9 \\ &= 17,5 \text{ cm} \\ \lambda_2 &= 2(L_2 - L_1) \\ &= 2(17,5) \\ &= 35 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta L_3 &= L_3 - L_2 \\ &= 41,7 - 24,4 \\ &= 17,3 \text{ cm} \\ \lambda_3 &= 2(L_3 - L_2) \\ &= 2(17,3) \\ &= 34,6 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{rat} &= \frac{\lambda_2 + \lambda_3}{2} \\ &= \frac{35 + 34,6}{2} \\ &= 34,8 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}v &= \lambda_{rat} \cdot f \\ &= 34,8 \cdot 1000 \\ &= 34800 \text{ cm/s} \\ &= 348 \text{ m/s}\end{aligned}$$

f. Pada suhu 34 °C

$$\begin{aligned}\Delta L_2 &= L_2 - L_1 \\ &= 24,4 - 6,9 \\ &= 17,5 \text{ cm} \\ \lambda_2 &= 2(L_2 - L_1)\end{aligned}$$

$$= 2(17,5)$$

$$= 35 \text{ cm}$$

$$\Delta L_3 = L_3 - L_2$$

$$= 41,8 - 24,4$$

$$= 17,4 \text{ cm}$$

$$\lambda_3 = 2(L_3 - L_2)$$

$$= 2(17,4)$$

$$= 34,8 \text{ cm}$$

$$\lambda_{rat} = \frac{\lambda_2 + \lambda_3}{2}$$

$$= \frac{35 + 34,8}{2}$$

$$= 34,9 \text{ cm}$$

$$v = \lambda_{rat} \cdot f$$

$$= 34,9 \cdot 1000$$

$$= 34900 \text{ cm/s}$$

$$= 349 \text{ m/s}$$

g. Pada suhu 35 °C

$$\Delta L_2 = L_2 - L_1$$

$$= 24,5 - 7$$

$$= 17,5 \text{ cm}$$

$$\lambda_2 = 2(L_2 - L_1)$$

$$= 2(17,5)$$

$$= 35 \text{ cm}$$

$$\Delta L_3 = L_3 - L_2$$

$$= 41,9 - 24,5$$

$$= 17,4 \text{ cm}$$

$$\lambda_3 = 2(L_3 - L_2)$$

$$= 2(17,4)$$

$$= 34,8 \text{ cm}$$

$$\lambda_{rat} = \frac{\lambda_2 + \lambda_3}{2}$$

$$= \frac{35 + 34,8}{2}$$

$$= 34,9 \text{ cm}$$

$$v = \lambda_{rat} \cdot f$$

$$= 34,9 \cdot 1000$$

$$= 34900 \text{ cm/s}$$

$$= 349 \text{ m/s}$$

h. Pada suhu 36 °C

$$\begin{aligned}\Delta L_2 &= L_2 - L_1 \\ &= 24,6 - 7,1 \\ &= 17,5 \text{ cm} \\ \lambda_2 &= 2(L_2 - L_1) \\ &= 2(17,5) \\ &= 35 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta L_3 &= L_3 - L_2 \\ &= 42,2 - 24,6 \\ &= 17,6 \text{ cm} \\ \lambda_3 &= 2(L_3 - L_2) \\ &= 2(17,6) \\ &= 35,2 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{rat} &= \frac{\lambda_2 + \lambda_3}{2} \\ &= \frac{35 + 35,2}{2} \\ &= 35,1 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}v &= \lambda_{rat} \cdot f \\ &= 35,1 \cdot 1000 \\ &= 35100 \text{ cm/s} \\ &= 351 \text{ m/s}\end{aligned}$$

i. Pada suhu 37 °C

$$\begin{aligned}\Delta L_2 &= L_2 - L_1 \\ &= 24,6 - 7,2 \\ &= 17,4 \text{ cm} \\ \lambda_2 &= 2(L_2 - L_1) \\ &= 2(17,4) \\ &= 34,8 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta L_3 &= L_3 - L_2 \\ &= 42,3 - 24,6 \\ &= 17,7 \text{ cm} \\ \lambda_3 &= 2(L_3 - L_2) \\ &= 2(17,7) \\ &= 35,4 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{rat} &= \frac{\lambda_2 + \lambda_3}{2} \\ &= \frac{34,8 + 35,4}{2} \\ &= 35,1 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}v &= \lambda_{rat} \cdot f \\ &= 35,1 \cdot 1000 \\ &= 35100 \text{ cm/s} \\ &= 351 \text{ m/s}\end{aligned}$$

j. Pada suhu 38 °C

$$\begin{aligned}\Delta L_2 &= L_2 - L_1 \\ &= 24,6 - 7,2 \\ &= 17,4 \text{ cm} \\ \lambda_2 &= 2(L_2 - L_1) \\ &= 2(17,4) \\ &= 34,8 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta L_3 &= L_3 - L_2 \\ &= 42,4 - 24,6 \\ &= 17,8 \text{ cm} \\ \lambda_3 &= 2(L_3 - L_2) \\ &= 2(17,8) \\ &= 35,6 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_{rat} &= \frac{\lambda_2 + \lambda_3}{2} \\ &= \frac{34,8 + 35,6}{2} \\ &= 35,2 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}v &= \lambda_{rat} \cdot f \\ &= 35,2 \cdot 1000 \\ &= 35200 \text{ cm/s} \\ &= 352 \text{ m/s}\end{aligned}$$

Lampiran G Foto kegiatan

- 1) Foto pembuatan rancang bangun trainer kit



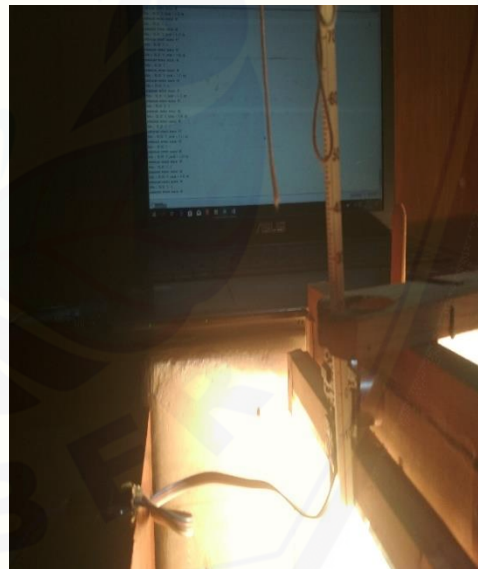
- 2) Foto pembuatan rancang sistem kontrol trainer kit



- 3) Foto pemasangan sistem kontrol pada trainer rancang bangun kit



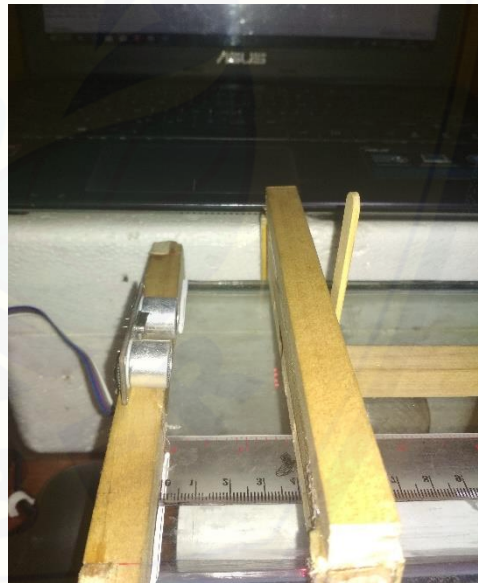
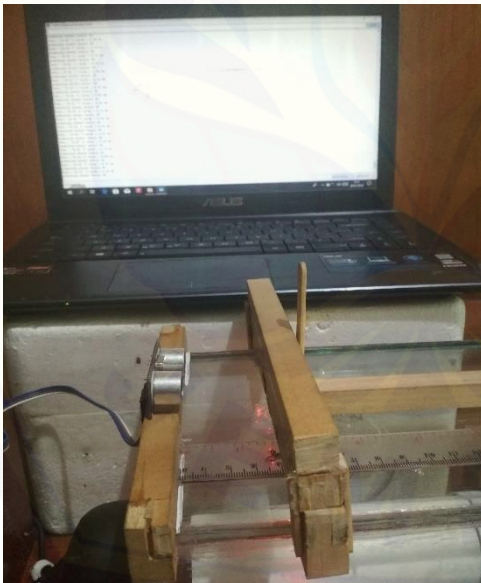
- 4) Foto kalibrasi trainer kit
a. Kalibrasi sensor DHT11



b. Kalibrasi sensor KY-037



c. Kalibrasi sensor HC-SR04



d. Kalibrasi sumber frekuensi (speaker box)



5) Foto pengambilan data trainer kit

