

**RANCANG BANGUN TEKNOLOGI AUDIO BIO HARMONIK
DENGAN *SMARTCHIP* SERI WT5001
MENGUNAKAN TEKNOLOGI SEL SURYA**

SKRIPSI

**Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains**



**Oleh
Fitria Ayu Sulistiani
NIM 13306141055**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS NEGERI YOGYAKARTA
JANUARI 2018**

**RANCANG BANGUN TEKNOLOGI AUDIO BIO HARMONIK
DENGAN *SMARTCHIP* SERI WT5001
MENGUNAKAN TEKNOLOGI SEL SURYA**

**Oleh:
Fitria Ayu Sulistiani
NIM 13306141055**

ABSTRAK

Penelitian ini memiliki tujuan antara lain: (1) membuat rancang bangun Audio Bio Harmonik (ABH) dengan *smartchip* WT5001 dan dilengkapi dengan modul sel surya sebagai penyedia sumber daya listrik alat, (2) mengetahui besarnya deviasi *peak frequency* melalui uji *peak frequency* pada file suara garengpung dan uji *peak frequency* pada bunyi keluaran alat ABH, (3) mengetahui tingkat efektivitas penggunaan modul sel surya sebagai penyedia daya listrik alat ABH, melalui uji pengosongan dan uji pengisian daya baterai menggunakan sel surya.

Metode dalam penelitian ini meliputi persiapan, perancangan/pembuatan alat, dan pengujian alat. Persiapan yaitu pembuatan rangkaian instrumen bunyi dengan modul suara WT5001 dan persiapan file suara garengpung dalam *SDcard*. Perancangan alat yaitu pembuatan skema konfigurasi kerja alat yang terdiri dari sistem pemutar suara dan sistem pengisian daya. Instrumen sumber bunyi berupa file suara garengpung dengan frekuensi 2000 Hz, 3000 Hz, 3500 Hz, 4000 Hz, 4500 Hz, 5000 Hz, dan 6000 Hz. Keluaran WT5001 dikuatkan oleh amplifier PAM8610, dan dihubungkan dengan *horn speaker* untuk menghasilkan suara garengpung. Sistem pengisian daya menggunakan modul sel surya 10 Wp, dihubungkan dengan baterai 12 volt melalui *charger controller*. Pengujian alat meliputi uji *peak frequency* bunyi keluaran yang dihasilkan alat, uji *peak frequency* file sumber bunyi, uji pengosongan baterai, dan uji pengisian baterai menggunakan sel surya.

Hasil penelitian ini berupa sebuah alat ABH yang telah diuji coba, tersusun atas sistem pemutar suara garengpung dengan WT5001 dan sistem pengisian daya listrik menggunakan modul sel surya dengan sumber energi cahaya matahari. Hasil uji *peak frequency* pada file suara garengpung dan uji *peak frequency* pada bunyi keluaran yang dihasilkan oleh alat, menunjukkan adanya deviasi *peak frequency* sebesar 13,46-140,81 Hz. Berdasarkan hasil uji pengosongan selama 15 jam dalam mode *on* dan pengisian selama 7 jam, menunjukkan bahwa penggunaan modul sel surya 10Wp cukup efektif untuk menyediakan daya listrik ABH pada baterai 12 V 7,2 Ah.

Kata kunci : ABH, WT5001, modul sel surya.

**DESIGN OF BIO HARMONIC AUDIO TECHNOLOGY
WITH SMARTCHIP SERIES WT5001
USING THE SOLAR CELL TECHNOLOGY**

**By:
Fitria Ayu Sulistiani
NIM 13306141055**

ABSTRACT

The objectives of this research are: (1) to design Bio Harmonics Audio (BHA) with smartchip WT5001 and equipped with solar cell module as power supply provider, (2) to know the magnitude of peak frequency deviation, through peak frequency test on “garengpung” sounds file and peak frequency test on the output sounds of the BHA, (3) knowing the effectiveness of using the solar cell module as the BHA power supply provider, through the discharge test and charge test using the solar cell.

Methods in this study include preparation, design/manufacture, and testing. Preparation is the creation of sound instrument circuit with WT5001 sound module and preparation of “garengpung” sound files in SDcard. The design of the tool is the creation of a tool’s work configuration scheme, consisting of sound player system and charging system. Sound source instrument is sound files of “garengpung” which have frequencies 2000 Hz, 3000 Hz, 3500 Hz, 4000 Hz, 4500 Hz, 5000 Hz, and 6000 Hz. The output of WT5001 is amplified by the PAM8610 amplifier, and is connected to a horn speaker to produce “garengpung” sounds. The charging system uses a 10 Wp solar cell module, connected to a 12-volt battery through the charger controller. The testing of tool include the peak frequency test on output sounds produced by the tool, the peak frequency test of sound source files, battery discharge test, and battery charging test using solar cell.

The result of this research is a tool of BHA which has been tested, composed of “garengpung” sound system player with WT5001 and electric charging system using solar cell module with solar energy source. Result of peak frequency test on “garengpung” sound files and peak frequency test on output sounds produced by the tool, shows the deviations of peak frequency that are 13,46-140,81 Hz. Based on the results of the discharge test for 15 hours by the on mode playing and battery charging test for 7 hours, indicating that the use of 10Wp solar cell module is effective enough to provide ABH electrical power in 12 V 7.2 Ah battery.

Keywords: BHA, WT5001, solar cell module.

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fitria Ayu Sulistiani

NIM : 13306141055

Program Studi : Fisika

Judul TAS : Rancang Bangun Teknologi Audio Bio Harmonik dengan
Smartchip Seri WT5001 Menggunakan Teknologi Sel Surya

menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri di bawah tema penelitian payung dosen atas nama Nur Kadarisman, M.Si., Jurusan Pendidikan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Tahun 2017. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim.

Yogyakarta, Januari 2018

Yang menyatakan,



Fitria Ayu Sulistiani

NIM 13306141055

LEMBAR PERSETUJUAN

Tugas Akhir Skripsi dengan Judul
**RANCANG BANGUN TEKNOLOGI AUDIO BIO HARMONIK
DENGAN *SMARTCHIP* SERI WT5001
MENGUNAKAN TEKNOLOGI SEL SURYA**

Disusun oleh:

Fitria Ayu Sulistiani
NIM 13306141055

telah memenuhi syarat dan disetujui oleh Dosen Pembimbing untuk
dilaksanakan Ujian Akhir Tugas Akhir Skripsi bagi yang
bersangkutan.

Yogyakarta, Januari 2018

Disetujui,
Dosen Pembimbing I,

Drs. Nur Kadarisman, M.Si.
NIP 196402051991011001

Disetujui,
Dosen Pembimbing II,

Agus Sugiarto, S.Pd., M.Eng.
NIP 196808011994121002

Mengetahui,
Ketua Program Studi

Drs. Nur Kadarisman, M.Si.
NIP 196402051991011001

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir Skripsi

RANCANG BANGUN TEKNOLOGI AUDIO BIO HARMONIK DENGAN *SMARTCHIP* SERI WT5001 MENGUNAKAN TEKNOLOGI SEL SURYA

Disusun oleh:

Fitria Ayu Sulistiani
NIM 13306141055

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir Skripsi Program Studi Fisika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta
Pada tanggal 16 Januari 2018

TIM PENGUJI

Nama/Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
Drs. Nur Kadarisman, M.Si. Ketua Penguji		23/01/2018
Agus Sugiarto, S.Pd., M.Eng. Sekretaris Penguji		23/01/2018
Dr. Warsono, M.Si. Penguji		22/01/2018

Yogyakarta, 27 Januari 2018
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Dekan,



Dr. Hartono
NIP 196203291987021002

PERSEMBAHAN

Bismillaahirrahmaanirrahiim,

dengan segenap hati dan kesyukuran, buah tulisan ini saya persembahkan kepada:

Allah SWT, atas rahmat, hidayah, iman, islam, beserta kenikmatan atas kemampuan, kekuatan, kesabaran, kasih sayang, kesehatan, dan kesempatan yang telah dikaruniakan.

Kedua orangtua, terimakasih untuk semua doa, dukungan, kepercayaan dan keyakinan, kasih sayang yang mengiringi setiap langkah dan keputusan yang telah diambil. Terimakasih, masih memberikan kesempatan belajar dan berjuang hingga tingkat ini, semoga rahmat dan kasih sayang Allah selalu melindungi kita bagaimanapun keadaannya.

Kakak, Adik, dan para patriot kecil yang selalu berbagi semangat dan harapan dalam menguntai impian

Kedua Dosen Pembimbing, dengan penuh hormat dan rasa terimakasih atas segala bimbingan, nasehat, dan ilmu yang telah disampaikan

Teman dan sahabat, dengan salam semangat dan inspirasi.

Almamater pendidikan Universitas Negeri Yogyakarta.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'alamin. Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas rahmat kekuatan dan karunia-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan naskah yang berjudul “ Rancang Bangun Teknologi Audio Bio Harmonik dengan *Smartchip* WT5001 Menggunakan Teknologi Sel Surya” dengan sungguh-sungguh sebagai wujud dari pelaksanaan penelitian tugas akhir skripsi. Penulisan naskah skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi syarat kelulusan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains, Jurusan Pendidikan Fisika, FMIPA UNY.

Dalam penyelesaian naskah skripsi ini, banyak pihak yang turut membantu dan memberikan dukungan kepada penulis sehingga dapat memadai sebagai syarat kelulusan. Oleh karena itu, ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Dr. Hartono, selaku Dekan FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta, yang telah mengesahkan penyusunan skripsi ini.
2. Bapak Drs. Yusman Wiyatmo, M.Si., selaku Kepala Jurusan Pendidikan Fisika yang telah membantu dalam administrasi penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Nur Kadarisman, M.Si., selaku Kepala Prodi Fisika serta selaku Pembimbing I dalam penyusunan skripsi yang telah memberikan bantuan, arahan, dukungan serta nasehat baik.

4. Bapak Agus Sugiharto, S.Pd., M.Eng., selaku Pembimbing II yang membantu secara teknis dalam penyediaan sarana dan prasana penelitian, memberikan arahan, dukungan dan kesempatan untuk belajar dengan baik.
5. Kedua orangtua yang selalu memberikan dukungan materiil, doa, motivasi, nasehat kebaikan dan nasehat untuk kesungguhan dalam menjalankan amanah.
6. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu, terimakasih atas segala bantuan dan dukungan yang telah diberikan baik secara langsung maupun melalui perantara.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan naskah skripsi ini, masih memiliki banyak kekurangan, sehingga besar harapan penulis atas kritik dan saran yang sifatnya membangun demi menyempurnakan skripsi ini tanpa ada pihak-pihak yang dirugikan. Semoga hasil penelitian dan ilmu yang terkandung dalam skripsi ini dapat bermanfaat, bagi penulis sendiri juga bagi para pembaca.

Yogyakarta, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL	i
ABSTRAK	ii
<i>ABSTRACT</i>	iii
SURAT PERNYATAAN	iv
LEMBAR PERSETUJUAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah	5
C. Batasan Masalah	6
D. Perumusan Masalah	6
E. Tujuan Penelitian	7
F. Manfaat Penelitian	7
BAB II KAJIAN PUSTAKA	9
A. Teknologi Gelombang Suara untuk Tanaman	9
1. Gelombang Suara	9
2. Pengaruh Pemaparan Suara	13

3. Teknologi <i>Sonic Bloom</i>	15
B. Teknologi Audio Bio Harmonik	16
1. Pengertian dan Pengaplikasian Teknologi Audio Bio Harmonik ...	16
2. Pengembangan Sistem Audio Bio Harmonik	18
a. Audio Bio Harmonik Analog	18
b. Audio Bio Harmonik Digital	20
C. Teknologi Sel Surya	23
D. Rancangan Audio Bio Harmonik dengan Teknologi Sel Surya	25
1. Modul Suara dengan Chip WT5001	25
2. Modul Mikrokontroler Arduino	29
a. Arduino Uno dengan Chip ATmega328	29
b. Bahasa dan Pemrograman Arduino	32
3. Amplifier	34
4. Speaker	35
5. Modul Sel Surya	36
6. Modul <i>MPPT</i>	37
7. Baterai	38
8. DC Multimeter Display	39
9. <i>LCD (Liquid Crystal Display)</i>	40
10. <i>RTC</i>	42
11. Sensor Inframerah (<i>IR receiver</i>)	43
E. Kerangka Berpikir	44
BAB III METODE PENELITIAN	47
A. Waktu dan Tempat Penelitian	47
B. Instrumen Penelitian	47
1. Instrumen Bunyi	47

a.	Sumber Bunyi Suara Garengpung	47
b.	Modul Suara WT5001	48
c.	<i>Amplifier Power Audio</i>	48
d.	<i>Horn Speaker</i>	48
2.	Instrumen Penyedia Daya Listrik	49
a.	Modul Sel Surya Monokristalin	49
b.	Kit <i>MPPT</i>	49
c.	Baterai.....	50
C.	Metode dan Teknik Pembuatan Alat	50
1.	Persiapan	50
a.	Persiapan PCB untuk Rangkaian pada Mikrokontroler	50
b.	Persiapan Sumber Suara	51
c.	Pembuatan Program Mikrokontroler	51
2.	Perancangan dan Pembuatan Alat	52
3.	Pengujian Alat	54
a.	Uji <i>Peak Frequency</i>	54
1)	Analisis <i>Peak Frequency</i> pada File MP3	54
2)	Analisis <i>Peak Frequency</i> pada Bunyi Keluaran Alat	54
b.	Uji Pengosongan	55
c.	Uji Pengisian	56
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		57
A.	Rancang Bangun ABH dengan WT5001 Menggunakan Teknologi Sel Surya	57
1.	Bagian-bagian Alat	57
2.	Blok Diagram dan Rangkaian Alat	58
3.	Prinsip Kerja Alat	60

4. Cara Mengoperasikan Alat	63
5. Spesifikasi Alat	64
6. Kelebihan dan Kekurangan Alat Hasil Rancangan	65
B. Uji <i>Peak Frequency</i> pada Alat ABH	66
C. Efektivitas Penggunaan Sel Surya dalam Menyediakan Daya Listrik ABH	68
1. Uji Pengosongan Baterai	68
a. Mode <i>On</i>	69
b. Mode <i>Standby</i>	72
2. Uji Pengisian Baterai	74
a. Uji Tegangan <i>MPPT</i> dan Sel Surya	74
b. Pengisian Baterai dengan Modul Sel Surya	76
c. Tingkat Efektivitas Penggunaan Sel Surya pada Alat ABH	78
 BAB V SIMPULAN DAN SARAN	 79
A. Simpulan	79
B. Saran	79
 DAFTAR PUSTAKA	 81
LAMPIRAN	86

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Fitur pada WT5001	26
Tabel 2. Deskripsi Pin pada WT5001M02-28P	27
Tabel 3. Spesifikasi Arduino Uno	30
Tabel 4. Spesifikasi Panel Surya 10Wp	37
Tabel 5. Fungsi Pin LCD 16x2	41
Tabel 6. Data <i>Peak Frequency</i> File Mp3 dan Bunyi Keluaran	67
Tabel 7. Data Pengosongan pada Mode On	70
Tabel 8. Data Pengosongan pada Mode Standby	73
Tabel 9. Data Intensitas Cahaya Matahari dan Tegangan Sel Surya	76
Tabel 10. Pengisian Baterai dengan Modul Sel Surya	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Gelombang pada Garpu Tala	9
Gambar 2. Fungsi $y=\cos\theta$ dan $y=\sin\theta$ untuk Mendefinisikan Fungsi $x(t)\approx y(\theta)$	10
Gambar 3. Bagan Konfigurasi ABHS Analog	19
Gambar 4. Bagian-bagian ABHS Analog	20
Gambar 5. Bagian-bagian ABHS Digital	22
Gambar 6. ABHS Praktis	22
Gambar 7. Prinsip Efek Fotovoltaik	23
Gambar 8. Modul Suara WT5001M02-28P	26
Gambar 9. Rangkaian Minimal dengan WT5001M02-28P	27
Gambar 10. Blok Diagram Mikrokontroler ATmega328	31
Gambar 11. <i>Board</i> Arduino Uno	32
Gambar 12. Modul Amplifier PAM8610	35
Gambar 13. <i>Horn Speaker</i>	36
Gambar 14. Modul Sel Surya Monokristalin	36
Gambar 15. Kit Komponen MPPT	38
Gambar 16. Aki Kering VRLA 12 V	38
Gambar 17. PZEM-051	40
Gambar 18. <i>LCD</i>	40
Gambar 19. Modul RTC DS1307	43
Gambar 20. Letak <i>Pin-out</i> pada Beberapa Tipe <i>IR Receiver</i>	44
Gambar 21. Bagan Rancangan Penelitian	44
Gambar 22. Skema Konfigurasi ABH Menggunakan Sel Surya	53
Gambar 23. Hasil Rancang Bangun ABH Menggunakan Sel Surya.....	57
Gambar 24. Blok Diagram ABH Menggunakan Sel Surya	58
Gambar 25. Rangkaian Instrumen Bunyi ABH	59

Gambar 26. Layout PCB	60
Gambar 27. Tata Letak Komponen	60
Gambar 28. Bagan Prinsip Kerja Alat ABH dengan Teknologi Sel Surya ..	61
Gambar 29. Grafik Pengosongan pada Mode On	69
Gambar 30. Grafik Perubahan Nilai Intensitas Bunyi terhadap Waktu	71
Gambar 31. Grafik Pengosongan pada Mode Standby	72
Gambar 32. Grafik Karakter Tegangan Keluaran MPPT	75

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Spektrum Fike Mp3 Suara Garengpung dengan Aplikasi <i>Spectraplus 5.0</i>	85
Lampiran 2. Spektrum Bunyi Keluaran Alat ABH dengan Aplikasi <i>Spectraplus 5.0</i>	88
Lampiran 3. Data Pengosongan pada Mode On	95
Lampiran 4. Data Pengosongan pada Mode Standby	99
Lampiran 5. Data Karakterisasi MPPT tanpa Beban Baterai	106
Lampiran 6. Data Input dan Output Amplifier PAM8610 pada Tampilan CRO	108
Lampiran 7. Dokumentasi Penelitian	110

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tanaman pangan pada pertanian Indonesia banyak sekali mengalami perubahan yang signifikan, mengalami penurunan dan peningkatan. Umumnya semua tanaman di Indonesia berkembang dan tumbuh dengan baik, namun masih cukup banyak terdapat kendala yang dihadapi oleh petani dan buruh tenaga lepas termasuk bagi para penyuluh pertanian. Alasannya yaitu masih rendahnya SDM buruh dalam menggunakan teknologi modern dan sumber daya alam yang kurang dimanfaatkan secara optimal. Dalam upaya mengatasi kendala-kendala yang terjadi diperlukan perubahan atau inovasi dalam bidang pertanian sebagai upaya untuk membantu meningkatkan hasil produksi tanaman pangan, baik dari segi peningkatan SDM dalam pengelolaan tanaman pangan maupun dukungan terhadap pengembangan dan penggunaan teknologi pertanian yang lebih praktis dan cenderung mudah dipahami oleh para petani lokal.

Salah satu pengembangan teknologi pertanian yang pernah diaplikasikan sebagai upaya untuk meningkatkan produksi tanaman pangan yaitu penerapan teknologi *sonic bloom* dalam budidaya tanaman pangan di pertanian. Teknologi *sonic bloom* merupakan teknik budidaya tanaman dengan memanfaatkan efek pemaparan gelombang suara pada tanaman bersamaan dengan pemberian nutrisi melalui udara (dikabutkan) sehingga mampu diserap oleh tanaman melalui stomata daun dengan

tujuan dapat meningkatkan produktivitas tanaman. Gelombang suara tersebut diketahui mampu merangsang stomata tetap terbuka sehingga meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi daun untuk mengurangi ketergantungan tanaman terhadap sumber nutrisi yang berasal dari dalam tanah.

Penelitian *sonic bloom* yang pernah dilakukan di Yogyakarta, dihubungkan dengan kepercayaan masyarakat bahwa bunyi garempung dapat meningkatkan produktivitas tanaman pertanian, sehingga suara garempung digunakan dalam pengembangan instrumen suara untuk *sonic bloom*. Inovasi teknologi diwujudkan melalui penelitian rancang bangun teknologi *Audio Organic Growth System (AOGS)* yang menerapkan teknik sintesis bunyi untuk mendapatkan frekuensi bunyi khas binatang alami Indonesia (garempung, jangkrik, belalang, dan *orong-orong*). Dengan pemaparan bunyi yang sesuai meningkatkan pertumbuhan morfologi dan produktivitas pada tanaman kacang babi, bawang merah, kentang, dan kacang tanah (Kadarisman, 2011). Penelitian berikutnya tahun 2015, dirancang teknologi tepat guna *Audio Bio Harmonik (ABH)* menggunakan chip suara WT5001 sebagai *player* file rekaman suara garempung sebagai instrumen sumber bunyi dengan variasi *peak frequency* antara 3000 Hz sampai dengan 5000 Hz (Supendi, 2016), dan pada Agustus 2017 dihasilkan ABH sejenis yang lebih praktis (Setiyono, 2017).

Dalam perkembangannya, rancang bangun alat ABH yang ada hingga saat ini masih bergantung pada sumber daya listrik rumah tangga baik sebagai sumber langsung maupun untuk pengisian ulang daya baterai. Aplikasi alat ABH yang

dilakukan setiap hari selama masa pertumbuhan tanaman menyebabkan alat ABH membutuhkan pengisian daya berulang secara manual oleh petani setiap baterai habis, kemudian kembali memasang alat ABH di lahan pertanian untuk pemaparan suara pada hari berikutnya. Mempertimbangkan hal tersebut, diperlukan pengembangan alat ABH lebih lanjut, dilengkapi dengan sistem sumber daya listrik yang portabel untuk memudahkan dalam penyediaan daya listrik alat ABH di lahan pertanian tanpa terus bergantung pada energi listrik rumah tangga.

Indonesia yang merupakan salah satu negara di sekitar garis khatulistiwa hanya memiliki dua musim dalam setahun sehingga ketersediaan energi matahari relatif melimpah. Akibatnya banyak daerah di Indonesia yang sangat cocok untuk bertani sehingga produksi di bidang agraris ditargetkan mampu mendominasi dalam upaya meningkatkan kemakmuran. Dengan kemampuan teknologi sel surya dalam mengonversi energi matahari menjadi energi listrik, tingkat intensitas sinar matahari di Indonesia dapat diubah dan dimanfaatkan menjadi sumber daya listrik berbagai perangkat elektronika. Negara-negara maju di dunia telah banyak yang menggunakan teknologi sel surya, baik dalam bentuk PLTS maupun perangkat-perangkat elektronik portabel, sehingga di Indonesia juga perlu untuk dikenalkan dan dikembangkan teknologi sel surya untuk mendukung penyediaan energi listrik.

Dalam penelitian ini, peneliti bermaksud membuat rancang bangun teknologi ABH yang memanfaatkan teknologi sel surya dalam menyediakan sumber daya listrik untuk pengoperasian alat. Prinsip dari teknologi sel surya ini adalah

memanfaatkan energi dari cahaya matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik dan disimpan di dalam aki untuk digunakan saat alat beroperasi, sehingga mampu menggantikan penggunaan sumber daya listrik rumah tangga. Pengembangan ABH yang dilengkapi dengan teknologi sel surya ini diharapkan memiliki kemampuan untuk mengonversi energi matahari menjadi energi listrik yang secara otomatis mampu melakukan pengisian daya ketika daya baterai berkurang dan menghentikan pengisian ketika baterai penuh, untuk menghindari *overcharging*.

Dalam teknologi ABH bertenaga surya yang akan dirancang terdapat dua bagian utama yaitu rangkaian instrumen bunyi dan rangkaian instrumen penyedia daya listrik. Instrumen bunyi yang akan digunakan dalam penelitian ini menggunakan file mp3 suara garengpung dengan variasi *peak frequency* termanipulasi antara 3000 Hz sampai 6000 Hz disimpan di dalam *SDcard* dan dipasangkan pada chip suara WT5001. Dalam hal ini WT5001 memiliki fungsi sebagai pemutar file suara di dalam *SDcard* yang bekerja sesuai dengan pengaturan program yang diupload dalam mikrokontroler arduino. Bunyi yang dihasilkan oleh chip WT5001 dikuatkan dengan audio amplifier kemudian dihubungkan dengan komponen keluaran suara *horn speaker*. Instrumen pengisian terdiri dari modul sel surya 10Wp, aki kering 12 volt sebagai penyimpan daya listrik, *solar charger controller*, dan *multimeter display* untuk menampilkan informasi tegangan baterai, arus, daya, dan energi yang telah digunakan oleh ABH.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian yang disampaikan, identifikasi masalah yang diperoleh antara lain:

1. Masih rendahnya produktivitas petani tanaman pangan, sehingga membutuhkan upaya untuk membantu meningkatkan hasil produksi tanaman pangan, baik dari pemerintah, petani maupun masyarakat.
2. Diperlukan adanya pengembangan teknologi pertanian yang efektif, efisien dan cenderung mudah untuk digunakan oleh petani lokal sebagai salah satu upaya dalam meningkatkan produksi tanaman pangan.
3. Sistem ABH yang ada, masih bergantung pada ketersediaan listrik rumah tangga, sedangkan pengaplikasian alat di lahan pertanian menuntut penggunaan alat secara rutin selama budidaya tanaman. Oleh karena itu, untuk mengurangi ketergantungan alat terhadap sumber daya listrik dari rumah tangga dibutuhkan inovasi alat dengan sumber daya listrik yang portabel.
4. Tersedianya sumber energi matahari yang melimpah dan telah ditemukannya teknologi sel surya yang mampu mengonversi energi matahari menjadi energi listrik, sehingga dapat dipadukan dengan sistem ABH dalam penyediaan sumber daya listrik alat.

C. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada rancang bangun alat ABH dengan:

1. Sumber bunyi yang digunakan berupa file mp3 suara garengpung dengan variasi *peak frequency* termanipulasi yaitu 2000 Hz, 3000 Hz, 3500 Hz, 4000 Hz, 4500 Hz, 5000 Hz dan 6000 Hz.
2. Pemutaran file suara menggunakan chip suara WT5001.
3. Sistem penyediaan daya listrik alat menggunakan modul sel surya 10Wp untuk pengisian daya baterai aki 12 V.
4. Komponen keluaran bunyi pada alat menggunakan *horn speaker* 12 W, 8 ohm.

D. Perumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah yang telah ditentukan, rumusan masalah dalam penelitian ini meliputi:

1. Bagaimanakah hasil dari rancang bangun alat ABH dengan *smartchip* WT5001 menggunakan teknologi sel surya?
2. Bagaimanakah deviasi *peak frequency* bunyi yang dihasilkan oleh instrumen suara ABH yang telah dibuat apabila dibandingkan dengan *peak frequency* pada file sumber bunyi?
3. Apakah penggunaan modul sel surya 10 Wp cukup efektif untuk menyediakan sumber daya listrik dalam memenuhi kebutuhan kerja alat ABH ditinjau dari uji pengosongan dan uji pengisian baterai 12 V?

E. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang ingin dicapai oleh peneliti adalah:

1. Membuat rancang bangun Audio Bio Harmonik (ABH) dengan *smartchip* WT5001 dan dilengkapi dengan modul sel surya sebagai penyedia sumber daya listrik alat.
2. Mengetahui besarnya deviasi *peak frequency* melalui uji *peak frequency* pada file suara garengpung dan uji *peak frequency* pada bunyi keluaran alat ABH.
3. Mengetahui tingkat efektivitas penggunaan modul sel surya sebagai penyedia daya listrik alat ABH, melalui uji pengosongan dan uji pengisian daya baterai menggunakan sel surya.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian yang dilakukan antara lain:

1. Bagi peneliti, diperoleh produk alat sebagai hasil pengembangan teknologi tepat guna ABH yang menggunakan teknologi sel surya sebagai hasil inovasi pada penyedia sumber daya listrik pada alat yang telah dibuat dengan memanfaatkan cahaya matahari, serta dapat menambah wawasan peneliti mengenai aplikasi ilmu fisika dalam teknologi di bidang pertanian.
2. Bagi masyarakat dan petani
 - a. Dapat membantu petani dalam upaya meningkatkan produktivitas tanaman pangan dengan menerapkan teknologi ABH dalam pembudidayaan tanaman pertanian, sehingga diharapkan mampu mendukung terciptanya stabilitas

produksi pertanian baik secara lokal maupun nasional pada komoditas hasil pertanian pangan yang dibutuhkan.

- b. Memudahkan petani dalam mengaplikasikan teknologi ABH tanpa harus bergantung pada ketersediaan listrik rumah tangga di lahan pertanian karena alat dilengkapi dengan modul sel surya.
- c. Menciptakan peluang bisnis bagi petani tanaman pangan serta meningkatkan kemampuan dan keterampilan dalam pemanfaatan teknologi untuk pertanian yang lebih modern, khususnya dalam pemanfaatan teknologi suara dan teknologi sel surya.

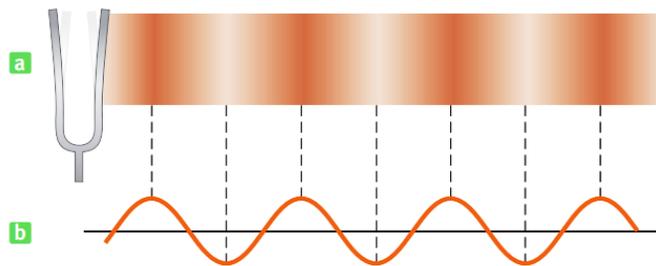
BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Teknologi Gelombang Suara untuk Tanaman

1. Gelombang Suara

Gelombang suara merupakan gelombang longitudinal, dapat merambat melalui medium, misalnya udara. Gelombang suara di udara dapat ditunjukkan dengan garpu tala yang digetarkan. Getaran garpu tala dapat menimbulkan gangguan pada kondisi udara di sekitar sehingga menyebabkan terjadinya rapatan dan renggangan. Rapatan merupakan daerah dengan kepadatan molekul dan tekanan udara yang tinggi, sedangkan renggangan merupakan daerah dengan kepadatan molekul dan tekanan yang rendah dibawah kondisi udara normal. Dalam bentuk gelombang sinusoidal rapatan dan renggangan dapat ditunjukkan dengan puncak dan lembah seperti Gambar 1.



Gambar 1. Gelombang pada Garpu Tala : (a) Serangkaian rapatan dan renggangan yang dihasilkan garpu tala. (b) Puncak gelombang merupakan rapatan, sedangkan lembah gelombang merupakan renggangan.

Fenomena rapatan dan renggangan juga dapat diamati pada osilasi pegas dengan massa m terikat pada salah satu ujungnya dan bergerak secara periodik (gerak harmonik sederhana). Secara umum, energi pada pegas bermassa ini terdiri dari energi kinetik (K) dan energi potensial (U) melalui persamaan:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (1)$$

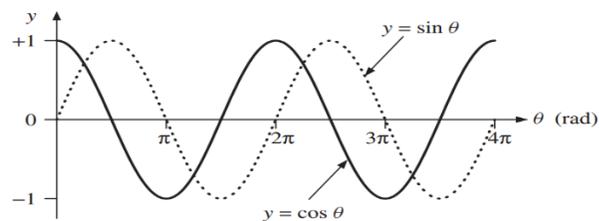
$$U = \frac{1}{2}kx^2 \quad (2)$$

dengan perpindahan sejauh θ diperoleh berdasarkan ilustrasi pada Gambar 2, dan amplitudo (A) merupakan simpangan maksimum, diperoleh

$$x = A \cos \omega t \quad (3)$$

$$v = -\omega A \sin \omega t \quad (4)$$

$$\frac{2\pi}{T} = \omega \quad (5)$$



Gambar 2. Fungsi $y = \cos \theta$ dan $y = \sin \theta$ untuk mendefinisikan fungsi $x(t) \approx y(\theta)$

Total energi (E) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E = K + U = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}kx^2 \quad (6)$$

$$E = \frac{1}{2}m(\omega A \sin \omega t)^2 + \frac{1}{2}k(A \cos \omega t)^2$$

$$E = \frac{1}{2} m (\omega A \sin \omega t)^2 + \frac{1}{2} k (A \cos \omega t)^2$$

dengan

$$\omega^2 = \frac{k}{m} \quad (8)$$

maka

$$E = \frac{1}{2} k A^2 [\sin^2(\omega t) + \cos^2(\omega t)]$$

$$E = \frac{1}{2} k A^2 \quad (9)$$

Konstanta k dapat didefinisikan melalui persamaan (5) dan persamaan (8)

yaitu:

$$\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = \frac{k}{m}$$

$$(2\pi f)^2 = \frac{k}{m}$$

$$k = (2\pi f)^2 m$$

$$k = 4 \pi^2 f^2 m \quad (10)$$

sehingga hubungan antara energi dan frekuensi dapat ditunjukkan melalui

persamaan (9) dan (10) yaitu:

$$E = \frac{1}{2} (4 \pi^2 f^2 m) A^2 \quad (16)$$

$$E = 2m \pi^2 f^2 A^2 \quad (17)$$

(King, 2009: 1-17).

Bunyi yang mula-mula memiliki sumber terpusat dan menyebar ke segala arah memiliki muka gelombang berbentuk bola, dimana luasnya sebesar L dan bertambah seiring bertambahnya radius (jarak muka gelombang dengan sumber bunyi) dengan persamaan $L = 4\pi r^2$. Hubungan antara intensitas bunyi dengan daya P yang dihasilkan oleh sumber bunyi dan jarak r dari sumber bunyi melalui persamaan

$$I = \frac{P}{L} = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (18)$$

Apabila daya konstan maka intensitas berbanding terbalik dengan r^2 . Selain itu intensitas sebanding dengan kuadrat dari amplitudo, sehingga pada gelombang suara besarnya intensitas bunyi diberikan oleh persamaan

$$I = \frac{\Delta P_{max}^2}{2\rho v} \quad (19)$$

dimana intensitas I , tekanan amplitude gelombang ΔP_{max} dan massa jenis ρ berada pada spasial yang sama.

Intensitas suara minimal yang dapat didengar oleh manusia disebut sebagai intensitas ambang I_0 yaitu sebesar 10^{-12} W/m². Skala untuk taraf intensitas bunyi β adalah desibel dimana persamaannya diberikan oleh

$$\beta = (10dB) \log \frac{I}{I_0} \quad (20)$$

dimana $1 \text{ dB} = \frac{1}{10}$ bel, ketika $I = I_0$ maka taraf intensitasnya sebesar 0 dB (Newman, 2008: 271-272).

Berdasarkan rentang frekuensi, gelombang bunyi dapat dibedakan menjadi tiga macam yaitu gelombang audiosonik (*audible*), gelombang infrasonik dan gelombang ultrasonik. Gelombang audiosonik (*audible*) merupakan gelombang longitudinal dengan frekuensi yang berada pada jangkauan pendengaran atau sensitivitas telinga manusia yaitu sekitar 20 sampai 20,000 Hz. Gelombang infrasonik memiliki rentang frekuensi dibawah frekuensi gelombang audiosonik sedangkan gelombang ultrasonik memiliki rentang frekuensi diatas frekuensi gelombang audiosonik (Serway & Vuille, 2010: 473-474).

2. Pengaruh Pemaparan Suara pada Tanaman

Menurut Zhang (2012) dalam Hassanien, selain efek fisiologis lingkungan seperti kelembaban, cahaya, angin dan suhu, gelombang suara juga memiliki pengaruh sebagai stimulus yang dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Teknologi gelombang suara telah diaplikasikan pada berbagai jenis tingkat pertumbuhan tanaman seperti perkecambahan biji, pertumbuhan kalus, hormon endogen, mekanisme fotosintesis, dan transkripsi gen-gen tertentu. Mekanisme yang terjadi pada pemaparan gelombang suara yaitu terdapat sebagian dari energi gelombang suara yang menggetarkan daun sedangkan sebagian yang lain akan dipantulkan dan dibiaskan ke lingkungan, kemudian akan berdampak pada serangga di sekitar tanaman. Stimulasi suara mengakibatkan stomata daun membuka dan meningkatkan pengambilan pupuk yang disemprotkan di udara,

serta mampu meningkatkan resistansi terhadap penyakit pada tanaman dan mengurangi kebutuhan pupuk kimia dan biosida. (Hassanien, 2013: 3-12).

Penelitian tentang pengaruh pemaparan gelombang suara pada tanaman telah banyak dilakukan dan menunjukkan hasil yang positif. Beberapa metode penelitian yang dipilih menggunakan variasi pada jenis suara, frekuensi suara, intensitas suara yang digunakan dalam pemaparan pada tanaman serta durasi pemaparan tertentu sehingga diperoleh karakter suara dan dosis pemaparan yang efektif sesuai dengan kebutuhan tanaman untuk meningkatkan produktivitas dan kualitas morfologi tanaman. Hasilnya menunjukkan bahwa secara umum setiap tanaman memiliki perbedaan dalam menanggapi rangsangan pemaparan suara dengan karakter suara yang berbeda, sehingga untuk mendapatkan produktivitas yang maksimal diperlukan perlakuan yang sesuai.

Pemaparan suara pada tanaman dengan variasi jenis suara menunjukkan bahwa musik, *noise* dan suara campuran dapat meningkatkan faktor morfologi dan produktivitas tanaman sawi hijau (*Brassica juncea*) dengan peningkatan terbaik pada pemaparan musik klasik (Prasetyo, 2014: 5). Hal serupa terjadi pada pemaparan musik klasik yang menghasilkan tanaman lebih tinggi dan memiliki daun yang lebih banyak, dibandingkan dengan pemaparan musik *rock* dan *noise* (Vanol & Vaidya. 2014: 5). Pengaruh pemaparan musik klasik juga ditegaskan dalam penelitian Alavijeh bahwa secara umum pemaparan musik klasik atau sama halnya dengan suara dari alam, dalam beberapa kasus menjadikan tanaman

memiliki kondisi yang lebih baik (Alavijeh et al. 2016: 7). Selanjutnya, pengaruh pemaparan suara binatang alami yang telah dilakukan antara lain pemaparan suara *belalang kecek* untuk merangsang pertumbuhan tanaman kacang tanah di Gunungkidul (Astono, 2014: 4), pemaparan suara *garengpung* yang dapat meningkatkan produktivitas kacang di Dieng (Widyawati, 2011: 6) serta laju pertumbuhan jahe merah (Damayanti, 2016: 46).

3. Teknologi *Sonic Bloom*

Teknologi *sonic bloom* oleh Dan Carlson dalam Oliver (2002) terdiri dari pembangkit suara (*sound generator*) atau suara kaset yang disempurnakan dan dilengkapi semprotan hara (*nutrient spray*). Pembangkit suara yang digunakan menghasilkan nada dengan frekuensi 4000 Hz sampai 6000 Hz, setara dengan frekuensi yang dimiliki oleh kebanyakan burung. Dalam penelitiannya, Carlson juga berpendapat bahwa semprotan hara yang mengandung kombinasi dari 55 *trace mineral*, asam amino dan rumput laut merupakan nutrisi daun terbaik, dan dengan tambahan radioisotop dapat menaikkan tingkat penyerapan hingga 700%, menjadikan tanaman lebih sehat, kaya rasa, dan berumur panjang. Hal ini dapat diartikan bahwa penggunaan teknologi *sonic bloom* menjadi sangat efektif untuk meningkatkan produktivitas dan kualitas tanaman apabila didukung dengan penggunaan nutrisi yang tepat untuk tanaman. Penelitiannya juga berkembang hingga penggunaan *sonic bloom* dalam penyemprotan herbisida menjadi lebih efektif dan efisien (Oliver, 2002).

Teknologi *sonic bloom* pernah diterapkan di beberapa daerah di Indonesia misalnya di Brebes bersama dengan pupuk organik untuk peningkatan produksi bawang merah dan di Yogyakarta untuk mengetahui respon kualitas hasil tomat ceri (*Lycopersicum cerasiforme mill.*) dengan variasi pupuk yang digunakan. Teknologi *sonic bloom* dan pupuk organik dapat bekerja secara sinergis sehingga mampu meningkatkan tinggi tanaman dan hasil bawang merah secara nyata (Yulianto, 2008: 7). Dalam hasil penelitian lain disebutkan bahwa teknologi *sonic bloom* juga memiliki potensi untuk meningkatkan hasil tomat ceri, ditinjau dari komponen bobot buah, diameter buah, kadar gula total dan vitamin C. Selain itu pupuk khusus untuk teknologi *sonic bloom* dapat digantikan dengan pupuk daun yang beredar di pasaran tanpa menurunkan tingkat kualitas hasil panen (Wuryani, 2014: 5).

B. Teknologi Audio Bio Harmonik

1. Pengertian dan Pengaplikasian Teknologi Audio Bio Harmonik

Teknologi Audio Bio Harmonik (ABH) merupakan teknologi untuk memancarkan gelombang bunyi (akustik) sebagai stimulan pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Dalam publikasi ilmiah berjudul “Rancang Bangun *Audio Organic Growth System (AOGS)* melalui Spesifikasi Spektrum Bunyi Binatang Alamiah sebagai *Local Genius* untuk Peningkatan Kualitas dan Produktivitas Tanaman Holtikultura” oleh Nur Kadarisman, disebutkan bahwa

ABH merupakan unit generator penghasil suara akustik dengan frekuensi bolak-balik yang merupakan frekuensi tinggi dengan satuan nilai frekuensi sebesar 3000 Hz sampai 5000 Hz. Frekuensi yang dihasilkan oleh unit suara ini ditujukan untuk mempengaruhi metabolisme sel dalam daun sehingga stomata dapat membuka hingga 125% (Kadarisman, 2011: 3).

Teknologi ABH yang telah digunakan dalam beberapa penelitian oleh Nur Kadarisman ini, berkaitan dengan upaya peningkatan produktivitas tanaman pangan menggunakan rekaman suara binatang alamiah, diantaranya yaitu peningkatan laju pertumbuhan tanaman kentang (*Solanum tuberosum L.*) dengan frekuensi efektif 3000 Hz sedangkan untuk peningkatan produktivitas dengan frekuensi 4500 Hz mencapai 272%, peningkatan produktivitas kacang kedelai melalui pemaparan suara *orong-orong* dengan frekuensi 6000 Hz yang mampu meningkatkan hasil hingga 621%, peningkatan produksi bawang merah hingga 180% dengan frekuensi 3000 Hz, dan pada tanaman kacang di Dieng dengan frekuensi dominan pada 3000 Hz menghasilkan peningkatan produktivitas hingga 318% serta sifat unggul pada morfologi tanaman berupa batang lebih tinggi dan memiliki diameter yang lebih besar, serta jumlah daun yang lebih banyak (Kadarisman, 2011: 10).

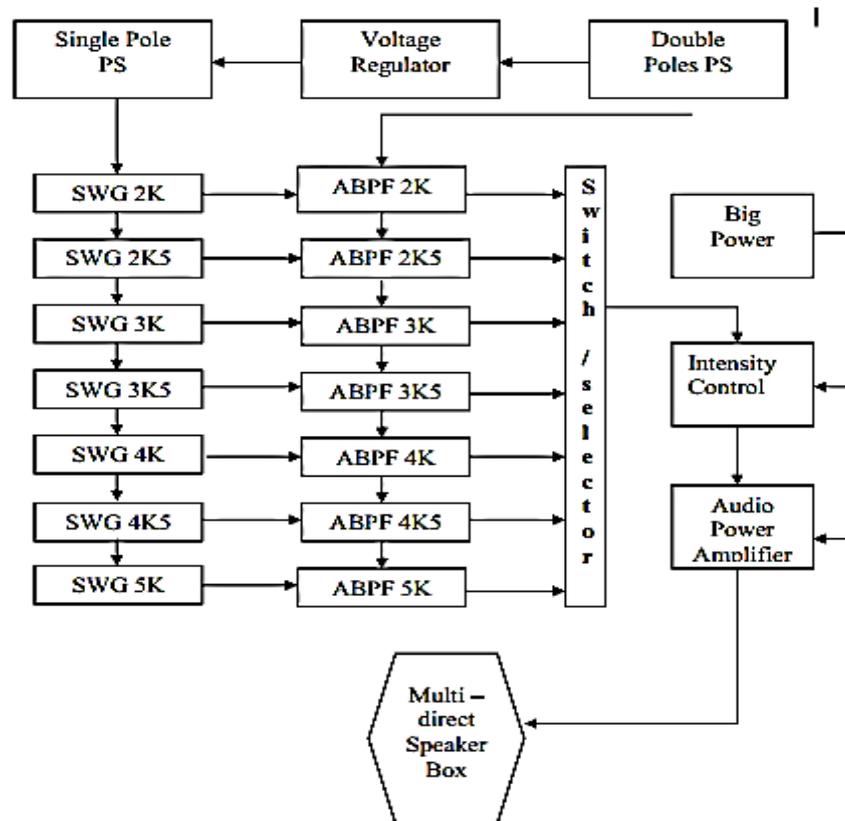
2. Pengembangan Sistem Audio Bio Harmonik

a. Audio Bio Harmonik Analog

Sistem Audio Bio Harmonik Analog merupakan *ABHS* generasi pertama yang dicetuskan oleh Nur Kadarisman, dioperasikan secara manual terdiri dari *power supply*, *amplifier*, dan *speaker* yang masing-masing terpisah. Dalam literatur penelitiannya mengenai rancang bangun teknologi tepat guna audio bio harmonik pada tahun 2012, sistem yang dikembangkan terdiri dari blok-blok rangkaian sebagai berikut:

- 1) *SWG (Square Wave Generator)* yang berupa *astabil multivibrator* untuk menghasilkan gelombang kotak. Ada 7 *SWG* yang masing – masing mengeluarkan frekuensi fundamental 2000 Hz, 2500 Hz, 3000 Hz, 3500 Hz, 4000 Hz, 4500 Hz, dan 5000 Hz.
- 2) *ABPF (Audio Bandpass Filter)* yang bertopologi *multiple feedback*. Blok ini berfungsi untuk meloloskan frekuensi dengan *bandwidth* yang sempit. Ada 7 *ABPF* yang masing-masing dengan frekuensi pusat 2000 Hz, 2500 Hz, 3000 Hz, 3500 Hz, 4000 Hz, 4500 Hz, dan 5000 Hz.
- 3) *Switch* atau *Selector* berguna untuk memilih frekuensi yang diaktifkan untuk men –*treatment* tanaman.
- 4) *Intensity Control* untuk mengatur intensitas gelombang pada frekuensi yang diaktifkan. Blok ini berupa *Tone Control Circuit*.

- 5) *Audio Power Amplifier* untuk menguatkan signal / frekuensi yang diaktifkan dan untuk men-*drive multi-direct speaker box*.
- 6) *Multi-direct Spaker Box* yang berfungsi untuk mengeluarkan bunyi dengan frekuensi dan intensitas yang dikehendaki.
- 7) *Power Supply (PS)* terdiri dari *Single Pole PS* untuk mencatu SWG, *Double Poles PS* untuk mencatu ABPF, dan *Big PS* untuk mencatu *Intensity Control*, dan *Audio Power Amplifier*.



Gambar 3. Bagan Konfigurasi ABHS Analog (Kadarisman, 2012)

ABHS analog ini menghasilkan bunyi dengan pilihan frekuensi yaitu 2000 Hz, 2500 Hz, 3000 Hz, 3500 Hz, 4000 Hz, 4500 Hz, dan 5000 Hz, dengan hasil validasi yang menunjukkan adanya sedikit deviasi sumber bunyi yang dirancang dengan yang terukur. Hal ini disebabkan karena adanya efek layangan bunyi yang muncul dari beberapa *loud speaker* yang dipasang. Berikut merupakan gambar dari bagian-bagian *ABHS* analog:



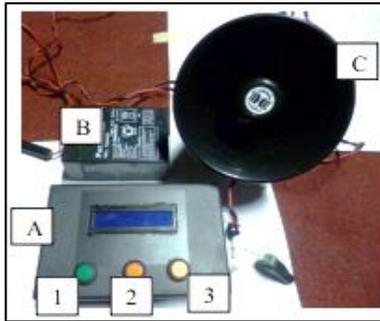
Gambar 4. Bagian-bagian *ABHS* Analog: 1. Power Supply; 2. Amplifier sumber bunyi dengan pilihan frekuensi; 3. Speaker (Kadarisman, 2012: 37)

b. Audio Bio Harmonik Digital

Audio Bio Harmonik Digital merupakan inovasi pertama dari *ABHS* yang dikembangkan menggunakan chip suara WT5001 dan mikrokontroler ATmega yang dilengkapi dengan program dalam Arduino Uno yang berfungsi sebagai prosesor. Rancang bangun *ABH* Digital dengan WT5001 berdasarkan pada literatur hasil penelitian Resti Aulia Supendi (2016),

memiliki tiga bagian utama yaitu instrumen ABH, sumber daya berupa aki baterai 7,25 V-7,45 V, dan komponen keluaran suara berupa *horn speaker*. Pada bagian instrumen ABH terdapat sebuah tombol pemilih frekuensi, dua tombol pengatur volume dan layar *LCD*. Sumber bunyi yang digunakan dalam instrumen ini berupa file mp3 hasil rekaman suara garengpung berdurasi 60 menit dengan pilihan frekuensi 3000 Hz, 3500 Hz, 4000 Hz, 4500 Hz, dan 5000 Hz. File-file suara garengpung tersebut disimpan dalam *SDcard* yang kemudian dipasang pada chip suara WT5001 (Supendi, 2016: 42-46).

Program yang digunakan untuk mengoperasikan instrumen ini berupa program bahasa C, dibuat dengan *software* Arduino 1.6.0, dan diupload pada *board* Arduino Uno. Instrumen memiliki rentang volume output suara dari level 0 sampai dengan level 30 dengan taraf intensitas 0-100 dB sehingga level volume dapat diatur sesuai dengan taraf intensitas yang dibutuhkan dalam pengoperasian instrumen. *ABHS* Digital ini juga dilengkapi dengan layar *LCD* yang berfungsi menampilkan respon perintah program atau kegiatan yang sedang dilakukan oleh *ABHS* seperti informasi kesiapan alat untuk dioperasikan atau nama file bunyi yang sedang diputar. Bagian-bagian *ABHS* Digital tampak seperti Gambar 5.



Gambar 5. Bagian-bagian ABHS Digital: A= Instrumen ABHS, B= Aki Baterai, C= Horn Speaker, 1= Pemilih Frekuensi, 2= Volume (+), 3= Volume (-) (Supendi, 2016: 42).

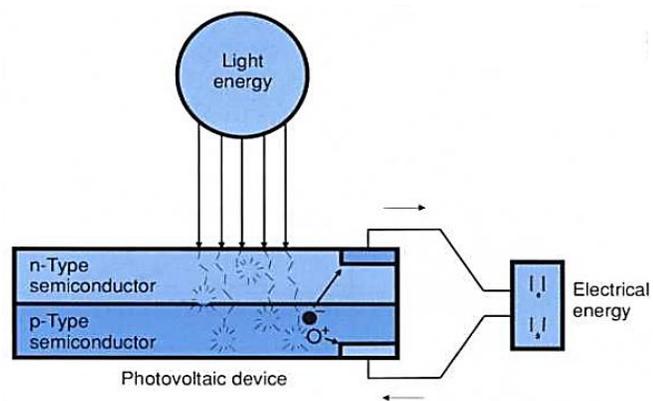
Selanjutnya, pada penelitian oleh Setiyono (2017) dihasilkan alat ABH praktis menggunakan sumber daya baterai 7,4 volt dc. Sistem pengoperasian alat secara manual dengan sebuah tombol saklar, sebuah tombol pemilih frekuensi dan sebuah tombol volume putar. Keunggulan alat ABH ini adalah lebih ringkas karena hanya terdiri dari sebuah *box* berukuran panjang 18 cm x lebar 11 cm x tinggi 8 cm dengan horn speaker di bagian atas *box* seperti yang terlihat pada Gambar 6, meskipun *charger adaptor* terpisah (Setiyono, 2017: 36-37).



Gambar 6. ABHS Praktis (Setiyono, 2017: 46)

C. Teknologi Sel Surya

Sebuah sel surya merupakan bagian terkecil dari perangkat teknologi surya yang memanfaatkan efek fotovoltaiik untuk menghasilkan listrik. Efek fotovoltaiik merupakan proses fisis sederhana dimana sebuah sel fotovoltaiik mengubah cahaya matahari menjadi listrik. Cahaya matahari tersusun atas paket-paket foton dengan jumlah energi berbeda dan secara tidak langsung memiliki panjang gelombang yang berbeda pula. Kemungkinan yang terjadi saat foton mengenai sel fotovoltaiik adalah foton akan dipantulkan, diserap atau dilewatkan. Foton yang diserap sel fotovoltaiik dapat menghasilkan kelistrikan. Energi dari foton diterima oleh atom semikonduktor, sehingga elektron pada atom dapat berpindah dari posisi normal. Energi tersebut membebaskan pembawa muatan yang menjadi bagian dari arus, kemudian terbentuk medan listrik yang mampu menyediakan tegangan untuk mengalirkan arus melalui beban eksternal seperti pada Gambar 5 (Cook, 1995: 8).



Gambar 7. Prinsip Efek Fotovoltaiik

Dalam review berjudul “*Solar Cells in Research and Applications*” oleh Sharma (2015), disebutkan bahwa perkembangan teknologi sel surya terbagi dalam tiga generasi. Generasi pertama merupakan teknologi sel surya yang diproduksi dengan *silicon wafer* dan memiliki efisiensi daya yang tinggi, terdiri dari dua tipe yaitu monokristalin dan polikristalin. Generasi kedua merupakan jenis *thin film solar cells* yang diklasifikasikan menjadi *Amorphous Silicon Thin Film (a-Si)*, *Cadmium Telluride (CdTe)*, dan *Copper Indium Gallium Di-Selenidelcd (CIGS)*. Generasi ketiga merupakan pengembangan sel surya menggunakan teknologi mutakhir tetapi secara komersial belum ditetapkan. Sel surya generasi ketiga terdiri atas sel surya berbasis *nano crystal*, sel surya berbasis *polymer*, *Dye Sensitize Solar Cells (DSSC)*, dan *Concentrated solar cells* (Sharma, 2015: 3-8).

Berdasarkan pada penelitian dari Britain’s Exeter University, pengembangan sel surya terbaru terbuat dari mineral yang disebut *perovskite* yang berpotensi dapat mengonversi energi surya menjadi listrik rumah tangga dengan lebih murah hingga 40% dan efisiensi 50%. Penemuan ini sangat mendukung untuk pengembangan aplikasi energi surya pada berbagai perangkat teknologi, diantaranya pembangkit listrik, sumber listrik peralatan rumah tangga, sumber energi untuk memutar kipas pada sistem ventilasi, pompa tenaga untuk sirkulasi air dalam gedung, penerangan matahari (*solar lighting*), mobil matahari, dan sumber listrik perangkat pada aplikasi jarak jauh. Badan Internasional Energi juga mengatakan bahwa energi surya mampu menjadi sumber energi listrik terbesar dunia pada tahun 2050 mendatang, dengan

adanya peningkatan pasar energi fotovoltaik sebagai akibat dari target produksi energi terbarukan dan pengontrolan emisi CO₂ oleh pemerintah negara-negara maju (Bagher, 2015: 110-111).

Dengan demikian pengembangan teknologi-teknologi terbaru terutama pada instrumen portabel yang diaplikasikan di lahan terbuka dapat dilengkapi dengan penyedia daya dengan teknologi sel surya. Perangkat tersebut dapat membantu menghemat dalam penggunaan energi listrik oleh alat sehingga dapat lebih efisien. Selain itu, dapat meningkatkan SDM masyarakat khususnya para petani dengan mengenalkan dan mengaplikasikan teknologi sel surya dalam bidang pertanian.

D. Rancangan Audio Bio Harmonik dengan Teknologi Sel Surya

Audio bio harmonik bertenaga surya merupakan pengembangan dari sistem audio bio harmonik digital yang akan dilengkapi dengan modul sel surya sebagai penyedia daya listrik dengan memanfaatkan energi matahari. ABH ini dirancang dengan tujuan agar lebih praktis dan efisien dalam pengaplikasian di lahan pertanian serta lebih hemat energi. Komponen-komponen utama dalam sistem ini antara lain:

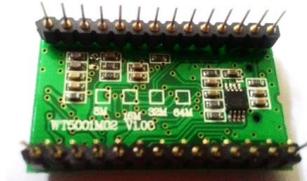
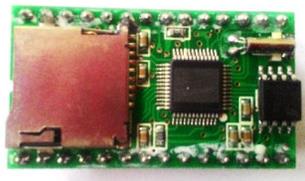
1. Modul Suara dengan Chip WT5001

Modul suara WT5001 merupakan modul elektronik dengan chip suara yang dipasangkan pada *board* arduino. Chip suara WT5001 memiliki 4 jenis modul yaitu WT5001M01-16P, WT5001M02-28P, WT5001M03-28P dan WT5001-48L yang masing-masing memiliki fitur berbeda seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Fitur pada WT5001

Model	Package	Size (mm)	SPI download	RS232 Serial control	Press to copy	ADC_KEY	SD card	SD card socket	U disk	One to one key control	A, B mode
WT5001M01-16P	16PIN module	20.9*19.6	√	√	√	√	×	×	×	×	×
WT5001M02-28P	28PIN module	36.2*19.1	√	√	√	√	√	√	√	√	×
WT5001M03-28P	28PIN module	36.1*19.7	√	√	√	√	√	×	√	×	×
WT5001M04-14P	14PIN module	20.9*19.6	√	√	√		×	×	×	×	×
WT5001-48L	TQFP48module	9.0*9.0	√	√	√	√	√	×	√	√	√

WT5001M02-28P merupakan tipe *smartchip* WT5001 yang memiliki kualitas tinggi dan stabil. Berdasarkan Tabel 1, modul WT5001M02-28P memiliki 28 pin konfigurasi, memiliki 1 watt *amplifier SPI-Flash*, memiliki RS232 serial *port control*, tombol ADC_KEY, dan fungsi *press to copy*. Modul suara model ini juga dilengkapi juga dengan soket *SDcard*, *U-disk pin*, dan *one to one function key*, tetapi tidak memiliki fungsi mode AB. Keseluruhan fasilitas tersebut dijelaskan secara terperinci dalam datasheet modul WT5001.

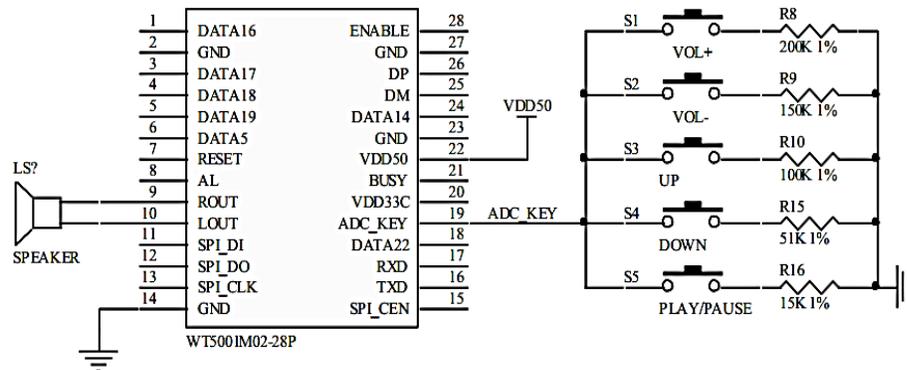


(a) Modul Tampak Depan (b) Modul Tampak Belakang

Gambar 8. Modul Suara WT5001M02-28P

Kelebihan yang dimiliki oleh chip suara WT-5001M02-28P dibandingkan chip suara lain yaitu memungkinkan perubahan audio secara bebas dan fleksibel dalam aplikasi modul pada rangkaian, memiliki banyak fungsi (*multifunction module*), disertai dengan *TF socket* yang memudahkan aplikasi modul. WT5001 bekerja pada

tegangan sumber sebesar 3,3 volt sampai 5 volt dengan daya keluaran audio sebesar 0,132 watt. Selain itu, chip WT5001 didukung dengan kemampuan fungsi pengaturan dengan file *iSound.mp3* yang digunakan untuk mengatur pemutaran file suara yang disimpan dalam *SDcard*. Fungsi ini terdiri dari *Power-On Auto Play Setting*, dan *Play Mode Setting* yang terdiri dari pilihan *single track non cycle*, *single track cycle*, *all track cycle*, dan *play randomly* (Guangzhou Waytronic Electronic Co.,Ltd: 1-16).



Gambar 9. Rangkaian Minimal dengan WT5001M02-28P

Tabel 2. Deskripsi Pin pada WT5001M02-28P

No	Nama	ATTR	Deskripsi
1	DATA16	IO	Salah satu tombol fungsi, sesuai dengan alamat lagu pertama;
2	GND	IO	Menghubungkan ke <i>TF socket shell</i>
3	DATA17	IO	Salah satu tombol fungsi, sesuai dengan alamat lagu kedua;

No	Nama	ATTR	Deskripsi
4	DATA18	IO	Salah satu tombol fungsi, sesuai dengan alamat lagu ketiga;
5	DATA19	IO	Salah satu tombol fungsi, sesuai dengan alamat lagu keempat;
6	DATA5	IO	Kontrol mode tidur dan bangun; ketika DATA5 menerima 2 detik level tinggi, IC masuk mode tidur; ketika IC pada mode tidur, DATA5 menerima pulsa tinggi, IC akan masuk mode bangun
7	RESET	I	Reset eksternal
8	AL	ANA	Audio keluaran ADC
9	ROUT	ANA	Audio keluaran PMW
10	LOUT	ANA	Audio keluaran PMW
11	SPI_DI	IO	<i>SPI output utama input minor data bus</i>
12	SPI_DO	IO	<i>SPI output utama input minor data bus</i>
13	SPI_CLK	IO	<i>SPI clock bus</i>
14	GND	GND	GND
15	SPI_CEN	IO	<i>SPI chip select bus</i>
16	TXD	IO	<i>Bus pengirim UART</i>
17	RXD	IO	<i>Bus penerima UART</i>

No	Nama	ATTR	Deskripsi
18	DATA22	IO	Tekan untuk tombol fungsi <i>copy</i>
19	ADC_KEY	IO	Tombol fungsi MP3 standar ADC
20	VDD33C	PWR	Keluaran 3,3V modul
21	BUSY	IO	Indikasi keluaran saat modul sedang sibuk
22	VDD50	PWR	Gerbang catu daya 5V DC
23	GND	GND	Sambung ke <i>TF socket shell</i>
24	DATA14	IO	Salah satu tombol fungsi, beralih mode siklus putar
25	DM	IO	Garis diferensial DM USB
26	DP	IO	Garis diferensial DP USB
27	GND	GND	<i>U disk power GND</i> , sambung ke <i>TF card socket shell</i>
28	ENABLE	IO	Pin pengaktifan modul <i>amplifier</i> , ketika kosong atau tetap pada level tinggi, <i>amplifier</i> akan terbuka; ketika menyambung ke level rendah, <i>amplifier</i> akan tertutup

2. Modul Mikrokontroler Arduino

a. Arduino Uno dengan Chip ATmega328

Arduino Uno merupakan papan mikrokontroler ATmega328, memiliki 14 pin masukan/keluaran digital (6 diantaranya dapat digunakan sebagai keluaran PWM), 6 pin masukan analog, sebuah osilator kristal 16 MHz, sebuah penghubung

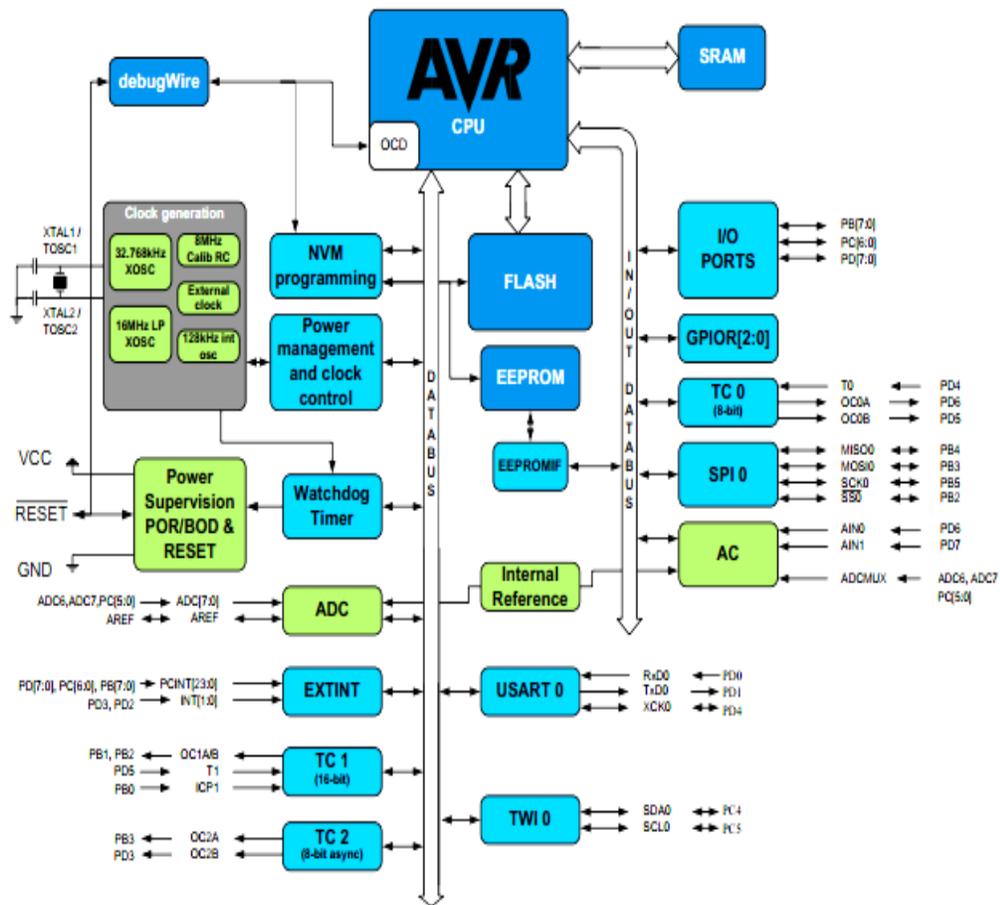
USB, *power jack*, *header ICSP*, dan tombol reset. Di dalamnya terdapat semua yang dibutuhkan untuk mendukung mikrokontroler, yang dapat dijalankan secara sederhana dengan menghubungkannya pada komputer menggunakan kabel USB atau menyalakannya dengan adaptor AC-DC atau baterai. Berikut tabel spesifikasi pada arduino uno:

Tabel 3. Spesifikasi Arduino Uno

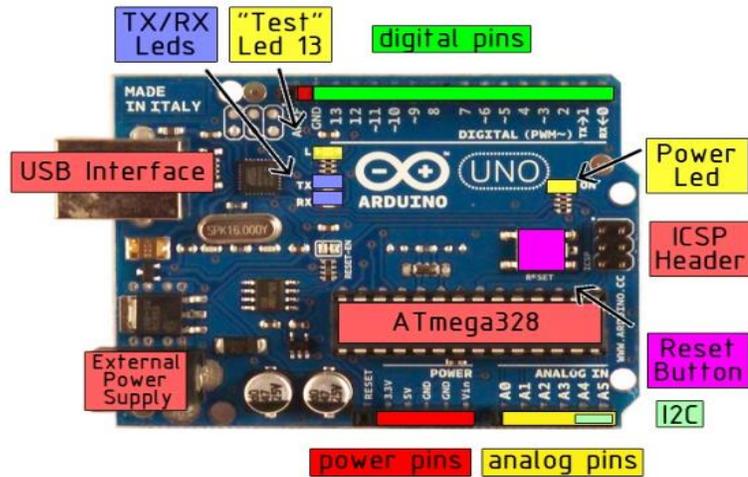
Mikrokontroler	ATmega328
Tegangan operasi	5V
Tegangan masukan (disarankan)	7-12V
Tegangan masukan (batas)	6-20V
Pin I/O digital	14 pin (6 sebagai output PWM)
Pin masukan analog	6 pin
Arus DC per pin I/O	40 mA
Arus DC untuk pin 3.3V	50 mA
Memori Flash	32 KB (0.5 KB untuk <i>bootloader</i>)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
<i>Clock Speed</i>	16 MHz

Mikrokontroler seri ATmega328 memiliki sejumlah fitur diantaranya *On Chip System Debug*, 5 ragam tidur (*Mode Sleep*), 6 saluran ADC yang mendukung

reduksi derau, ragam hemat daya (*Power-save Mode, Power-down*), dan ragam siaga (*Standby Mode*). ATmega328 memiliki kristal 16 Mhz sebagai pembangkit *clock*, blok memori Flash untuk menyimpan instruksi program, *SRAM* untuk penyimpanan variable data sementara, dan *EEPROM* sebagai media penyimpanan data yang tetap tersimpan meskipun mikrokontroler dalam kondisi tidak dicatu (Istiyanto, 2014:6).



Gambar 10. Blok Diagram Mikrokontroler ATmega328 (Atmel. 2016)



Gambar 11. *Board* Arduino Uno (Atmel. 2016)

b. Bahasa dan Pemrograman Arduino

Bahasa Arduino merupakan pengembangan dari bahasa pemrograman *wiring platform* dengan struktur bahasa yang lebih sederhana dari bahasa C. Bahasa *sketch* dapat digabungkan dengan bahasa *wiring* atau bahasa *native* mikrokontroler keluaran AVR, seperti *IDE* Codevision AVR atau WinAVR. Dalam paket perangkat lunak *IDE* Arduino disertakan pustaka dengan fungsi yang spesifik seperti : *EEPROM* untuk dapat membaca dan memasukkan data di blok memori *EEPROM*, dan pustaka *SD* untuk akses baca tulis memori *SDcard*. Pemrograman dapat menambah pustaka *non-official* Arduino, yang dikembangkan oleh komunitas Arduino meskipun terkadang beberapa pustaka sudah tidak kompatibel dengan *IDE* Arduino versi terbaru karena adanya perubahan *rules* pada *class* yang digunakan pustaka tersebut (Istiyanto, 2014:12).

Menurut Oxer, Blemings (2009), *Integrated Development Environment (IDE)* Arduino merupakan aplikasi yang mencakup *editor*, *compiler*, dan *uploader* yang dapat menggunakan semua seri modul keluarga Arduino, seperti : Arduino Duemilanove, Uno, Bluetooth, Mega; kecuali ada beberapa tipe *board* produksi Arduino yang memakai mikrokontroler diluar seri AVR, seperti mikroprosesor ARM. *Editor Sketch* pada *IDE* Arduino juga mendukung fungsi penomoran baris *syntax highlighting*, yaitu pengecekan sintaksis kode *sketch*. Proses kompilasi *IDE* Arduino diawali dengan proses pengecekan kesalahan sintaksis *sketch*, kemudian memanfaatkan pustaka Processing dan *avr-gcc sketch* dikompilasi menjadi berkas *object*, lalu berkas-berkas *object* digabungkan oleh pustaka *arduino* menjadi berkas *bin* yang diunggah ke chip mikrokontroler.

Compiler IDE Arduino juga memanfaatkan pustaka *open source AVRLibc* sebagai standar *de-facto* pustaka referensi dari fungsi register mikrokontroler AVR. *Button compile* pada *IDE* Arduino berfungsi untuk kompilasi *sketch* tanpa diunggah ke *board* Arduino serta untuk pengecekan kesalahan kode sintaks *sketch*, sedangkan *button upload* digunakan untuk mengunggah hasil kompilasi *sketch* ke *board* target. Apabila *board* target belum terpasang atau alamat port COM belum terkonfigurasi dengan benar maka akan muncul pesan *error* pada jendela *IDE* (Istiyanto, 2014:46-48).

3. Amplifier

Sebuah penguat atau amplifier menerima sinyal dari transduser atau sumber masukan lain dan menyediakan sinyal tersebut dengan versi yang lebih besar untuk beberapa alat keluaran atau untuk amplifier tingkat lainnya. Amplifier tegangan menyediakan penguatan tegangan untuk meningkatkan tegangan sinyal masukan, sedangkan amplifier daya menyediakan daya yang cukup pada beban keluaran untuk menjalankan speaker atau daya alat lainnya khusus pada watt kecil hingga puluhan watt.

Berdasarkan kelasnya amplifier dapat dibedakan menjadi lima, yaitu:

- a. Amplifier kelas A, memiliki sinyal keluaran berubah pada satu putaran penuh 360° .
- b. Amplifier kelas B, menimbulkan sinyal keluaran berbeda setelah satu setengah putaran sinyal masukan atau pada sinyal 180° .
- c. Amplifier kelas AB, memiliki putaran sinyal keluaran yang terjadi antara 180° sampai 360° dan tidak termasuk pada operasi kelas A maupun kelas B.
- d. Amplifier kelas C, merupakan amplifier yang memiliki sinyal keluaran yang dibiaskan untuk operasi di bawah 180° dan hanya akan menjalankan rangkaian yang turut bergetar yang menyediakan putaran penuh dari operasi frekuensi getaran. Amplifier kelas C banyak digunakan pada radio dan komunikasi.
- e. Amplifier kelas D, merupakan bentuk operasi amplifier menggunakan sinyal pulsa (digital) yang “*on*” pada interval pendek dan “*off*” pada interval yang lebih

panjang, memungkinkan untuk mendapatkan sinyal yang berubah-ubah selama putaran penuh untuk menciptakan keluaran dari potongan-potongan sinyal input (Boylestad, R., & Nashelsky, L. 1999: 679-680).

Contoh modul amplifier untuk aplikasi perangkat audio yaitu amplifier dengan tipe PAM8610 yang merupakan amplifier audio stereo kelas D. PAM8610 memiliki kontrol volume DC 32 tingkat dari 32dB sampai -75dB. Amplifier jenis ini memiliki efisiensi lebih dari 90% dan *noise* yang rendah -90dB. Daya keluaran yang dihasilkan oleh PAM8610 sebesar 10 watt dengan beban 8 ohm. Dalam aplikasinya PAM8610 ini membutuhkan catu daya sebesar 12 volt (Power Analog Microelectronics, Inc).



Gambar 12. Modul Amplifier PAM8610

(Sumber: <http://www.jogjarobotika.com/amplifier/1762-pam8610-12v-dual-channel-hd-digital-amplifier-2x15w.html>)

4. Speaker

Menurut Kolbrek (2008) dalam “*Horn Theory: An Introduction Part 1*”, terdapat dua aspek penting dalam meningkatkan keluaran suara *horn speaker* yaitu pemuatan pada *driver* dan pengontrolan persebaran suara. Pemuatan *driver* berkaitan dengan impedansi sumber dan impedansi muatan yang memiliki pengaruh terhadap arah radiasi energi yang dikonversi menjadi panas pada koil suara dan hambatan

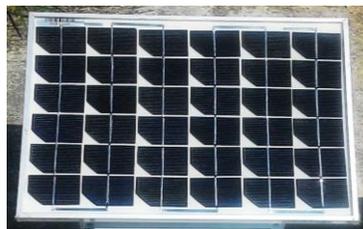
mekanik. Keadaan tersebut memiliki dampak yang berbeda pada frekuensi tinggi dan frekuensi rendah, sehingga tujuan dari horn speaker adalah memungkinkan pemuatan *driver* yang konstan dalam rentang frekuensi yang luas. Selain itu, kontrol persebaran suara pada horn juga memberikan distribusi suara yang sama pada frekuensi rendah dan tinggi pada jangkauan yang luas tanpa memperlmasalahkan gema dan pantulan suara (Kolbrek, 2008).

Salah satu contoh produk horn speaker yaitu merk Narae NSH 70 dengan spesifikasi daya maksimum 12 watt dan impedansi 8 ohm. Berikut merupakan gambar produk horn speaker narae :



Gambar 13. Horn Speaker

5. Modul Sel Surya



Gambar 14. Modul Sel Surya Monokristalin

Modul sel surya merupakan rangkaian sel-sel surya sehingga menghasilkan kapasitas daya tertentu yang lebih besar. Terdapat dua jenis modul sel surya yang cenderung lebih mudah diperoleh, dapat diaplikasikan pada sistem pembangkit listrik dan pengembangan rancang bangun perangkat listrik yaitu tipe polikristalin dan monokristalin. Secara fisik, permukaan polikristalin berwarna biru gelap sedangkan monokristalin berwarna hitam. Berikut merupakan informasi mengenai spesifikasi panel surya 10Wp:

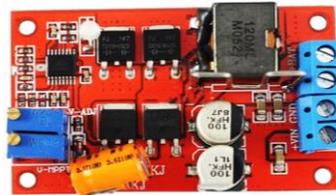
Tabel 4. Spesifikasi Panel Surya 10 WP

Daya maksimum	10 W
Tegangan operasi optimal	17,2 V
Arus operasi optimal	0,58 A
Tegangan <i>open-circuit</i>	21,6 V
Arus <i>short-circuit</i>	0,68 A

6. Modul MPPT

Maximum Power Point Tracker (MPPT) adalah konverter elektronik DC-DC yang dapat mengoptimalkan kesesuaian antara panel fotovoltaik dengan baterai atau segala kegunaannya. Secara sederhana, prinsip *MPPT* adalah mengonversi tegangan tinggi DC yang merupakan keluaran dari panel surya diturunkan menjadi tegangan yang lebih rendah yang dibutuhkan untuk pengisian baterai. Sebagai *power tracker*,

MPPT memiliki kemampuan mengetahui tegangan keluaran dari panel surya, dan membandingkan tegangan tersebut dengan tegangan baterai untuk memastikan daya panel terbaik yang dapat digunakan dalam mengisi daya baterai (Northern Arizona Wind & Sun, 2017).



Gambar 15. Kit Komponen MPPT (Sumber: Alibaba Technology Co., Ltd.)

Pada MPPT tipe tertentu dilengkapi dengan regulator tegangan untuk mengatur besarnya tegangan yang dihasilkan oleh modul sehingga dapat disesuaikan dengan spesifikasi perangkat penyimpanan daya yang digunakan. Misalnya dengan sumber tegangan 18 V akan digunakan penyimpanan daya 12 V maka regulator MPPT dapat diatur agar memiliki keluaran 12 V.

7. Baterai



Gambar 16. Aki Kering VRLA 12 V

Dalam rancang bangun alat portabel yang membutuhkan penyimpanan daya listrik dari panel surya 10Wp digunakan baterai 12 volt. Salah satu tipe baterai yang

sesuai yaitu baterai tipe *VRLA (Valve Regulated Lead Acid)*. Kelebihan *VRLA* antara lain bebas perawatan, memiliki efisiensi pengisian yang tinggi, biaya relatif rendah, tersedia ukuran baterai dari *single -cell (2 V)* hingga baterai besar (48 V) serta keadaan *state of charge* dapat ditentukan dengan pengukuran tegangan baterai (Linden, 2000: 676). Nama lain untuk *VRLA* adalah *SLA (Sealed Lead Acid)* atau aki/baterai kering. Baterai jenis ini bersifat tertutup sehingga penguapan yang dikeluarkan relatif kecil, akibatnya baterai tidak memerlukan penambahan elektrolit selama digunakan (Solar Surya Indonesia, 2012).

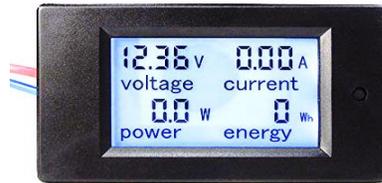
Salah satu produk aki *VRLA* adalah aki kering Panasonic LC-R127RNA, dengan spesifikasi produk sebagai berikut:

- a. Nomor model LC-R127R2NA (12V, 7.2 Ah/20hr).
- b. Tegangan *cycle use* antara 14,5-14,9 V pada suhu 25⁰C.
- c. Arus awal (*initial current*) kurang dari 2.88 A.
- d. Tegangan *stand by use* antara 13,6-13,8 V.
- e. Anti tumpah (*nonspillable*).

8. DC Multimeter Display

DC multimeter display merupakan komponen pengukuran parameter listrik DC (*direct current*) meliputi tagangan, arus, daya dan energi. Komponen ini memiliki fungsi yang sama dengan amperemeter dan voltmeter yaitu untuk mengetahui nilai besaran arus dan tegangan pada rangkaian. Salah satu jenis komponen ini adalah tipe

PZEM-051 atau dikenal juga dengan nama *LCD Screen Voltage Current Power Energy Voltmeter Ammeter PZEM-051*.

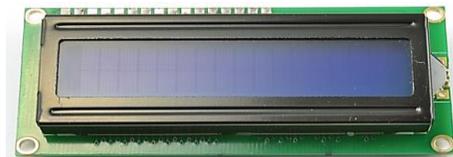


Gambar 17. PZEM-051 (Sumber: <http://leeselectronic.com>)

PZEM-051 memiliki spesifikasi yaitu tegangan kerja 6,5-100V, tegangan uji coba 6,5-100V, nilai daya 100A/10000W, dan akurasi pengukuran 1.0. Beberapa fungsi yang dapat dilakukan oleh PZEM-051 antara lain :

- a. fungsi pengukuran parameter listrik (tegangan, arus, daya aktif dan energi)
- b. fungsi sebagai alarm tegangan (alarm tegangan yang melebihi ambang batas, *backlight*, dan *voltage flashing to alarm*)
- c. fungsi reset tombol energi, menyimpan data ketika *power off*
- d. layar *LCD* yang luas yang menampilkan tegangan, arus, daya, dan energy pada waktu yang bersamaan
- e. fungsi *backlight*

9. *LCD (Liquid Crystal Display)*



Gambar 18. *LCD* (Sumber: <https://cdn-learn.adafruit.com>)

Liquid crystal display (LCD) adalah komponen elektronika yang dapat menampilkan tulisan. Salah satu jenis *LCD* yang memiliki dua baris dimana setiap barisnya terdiri atas 16 karakter dikenal dengan nama *LCD 16x2*. Pada antarmuka *LCD* dengan arduino, pada *sketch* program *LCD* dapat dikontrol dengan memanfaatkan *library LCD* yang tersedia pada *IDE* Arduino sehingga pada *sketch* dapat dimunculkan perintah `#include <LiquidCrystal.h>` (Kadir, 2013). Berikut merupakan fungsi pin-pin *LCD 16x2*:

Tabel 5. Fungsi Pin *LCD 16x2*

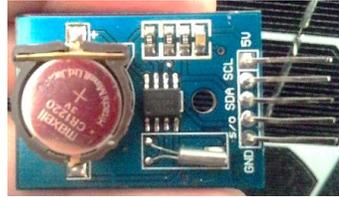
Nomor Pin	Simbol	Keterangan Pin
1	VSS	Catu daya,
2	VDD	Catu daya positif (5V)
3	VL	Pengatur kontras <i>LCD</i> ,
4	RS	Pilihan register untuk mengirim data atau instruksi
5	R/W	Mode <i>read/write</i>
6	E	Enable
7	D0	Data (I/O)
8	D1	Data (I/O)
9	D2	Data (I/O)
10	D3	Data (I/O)

Nomor Pin	Simbol	Keterangan Pin
11	D4	Data (I/O)
12	D5	Data (I/O)
13	D6	Data (I/O)
14	D7	Data (I/O)
15	BLA	Cahaya latar positif (anoda)
16	BLK	Cahaya latar negative (katoda)

(Sumber: <http://funduino.de/DL/1602LCD.pdf>)

10. RTC

RTC (Real Time Clock) merupakan modul elektronika yang berfungsi sebagai *clock timer*. DS1307 merupakan tipe *clock/kalender* dengan 56 byte *battery-backed SRAM*. Informasi waktu yang disediakan oleh DS1307 meliputi detik, menit, jam, hari, bulan dan tahun. Informasi tanggal secara otomatis dapat memperbarui setiap bulan (kurang dari 31 hari) termasuk untuk pergantian tahun. *Clock* ini dapat beroperasi dalam format 24 jam atau 12 jam dengan indikator AM/PM. DS1307 memiliki rangkaian pengindera daya yang mampu mendeteksi kegagalan daya sehingga secara otomatis mengganti ke daya cadangan. Operasi penjagaan waktu tetap berlanjut sementara bagiannya beroperasi dari daya cadangan. Rentang suhu penggunaan DS1307 adalah -40°C sampai 85°C (Maxim Integrated Products, Inc., 2015:1)



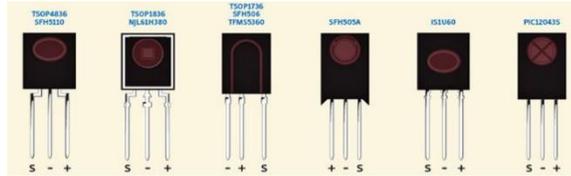
Gambar 19. Modul *RTC* DS1307

Menurut Murali (2016), keunggulan DS1307 terletak pada baterai *back up coin cell*, yang mampu bertahan sampai 9 tahun penggunaan karena konsumsi daya yang rendah. DS1307 menggunakan komunikasi I²C dengan pengiriman data dalam bentuk desimal yang setiap bentuk desimal adalah 4 bit data biner atau disebut juga *Binary Coded Decimal System*. Selain itu, pin penting pada DS1307 yaitu pin 5V untuk pengiriman data (saat *high*) atau menjalankan tombol *back up* (saat *low*), pin GND yang merupakan pin ground modul dari baterai dan dari sumber daya, serta pin SCL untuk *clock* I²C dan pin SDA untuk pin data I²C (Murali, 2016).

11. Sensor Inframerah (*IR Receiver*)

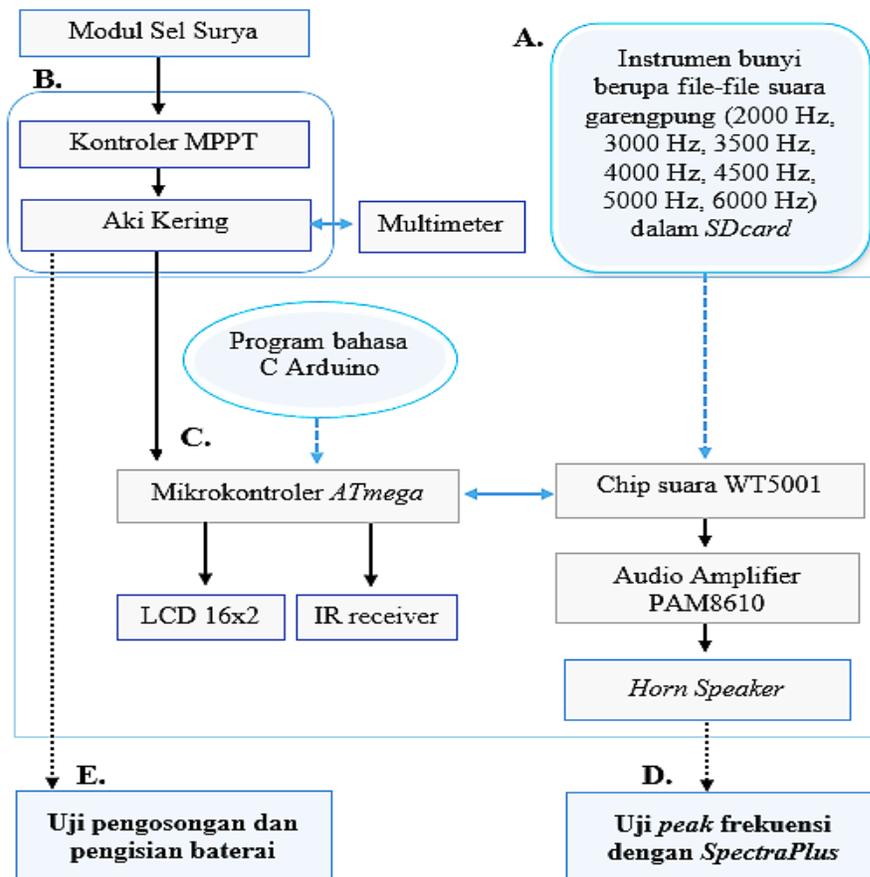
IR receiver merupakan komponen elektronika yang memiliki fungsi sebagai penerima sinyal inframerah dari *remote control*. Apabila alat ABH yang dilengkapi dengan *IR receiver* dapat dioperasikan menggunakan *remote control*. *IR receiver* menerima sinyal perintah dari *remote* kemudian perintah tersebut akan diproses oleh mikrokontroler dan disampaikan ke modul suara untuk memutar file suara yang dikehendaki. Pada umumnya, *IR receiver* memiliki 3 *pin-out* yaitu Gnd (*ground* negatif), Vcc (*catu daya positif*), dan sinyal (S). Letak ketiga *pin-out* tersebut

berbeda-beda untuk setiap produk *receiver*, diantaranya yaitu ditunjukkan pada Gambar 20.



Gambar 20. Letak *Pin-out* pada beberapa Tipe *IR receiver*
(Sumber: <http://arduino-info.wikispaces.com>)

E. Kerangka Berpikir



Gambar 21. Bagan Rancangan Penelitian

Keterangan bagan rancangan penelitian ABH dengan teknologi sel surya:

- Bagian A merupakan sumber bunyi berupa file mp3 suara garengpung yang terdiri dari 7 macam pilihan *peak frequency* yaitu 2000 Hz, 3000 Hz, 3500 Hz, 4000 Hz, 4500 Hz, 5000 Hz dan 6000 Hz, disimpan dalam *SDcard* dengan nama file yang berurutan. *SDcard* kemudian dipasang pada chip suara WT5001.
- Bagian B merupakan sistem modul yang berfungsi sebagai penyedia daya listrik alat yang terdiri dari modul sel surya, MPPT, aki kering, dan dilengkapi dengan *multimeter display*. Sel surya memanfaatkan energi dari cahaya matahari untuk menghasilkan energi listrik. Aki kering digunakan untuk menyimpan daya listrik dari sel surya. Penggunaan MPPT bertujuan untuk memberikan tegangan stabil untuk pengisian daya aki dan mencegah terjadinya *over charging* pada aki baterai.
- Bagian C merupakan instrumen bunyi ABH yang terdiri dari mikrokontroler ATmega, chip suara WT5001, *audio amplifier* PAM8610, serta *horn speaker* sebagai komponen keluaran suara dan *LCD* matrik 16x2 sebagai *visual display* ketika ABH dioperasikan. Dalam mikrokontroler Arduino dipasang program untuk mengoperasikan chip WT5001 agar dapat memutar file suara garengpung dalam *SDcard*. Program mikrokontroler dibuat menggunakan aplikasi *Arduino (IDE)* dengan bahasa C yang kemudian di-*upload* pada *board* Arduino sehingga mikrokontroler dapat difungsikan sebagai prosesor yang memerintahkan WT5001 untuk memanggil dan memutar file suara garengpung. Keluaran dari modul suara

WT5001 diperkuat menggunakan *amplifier* PAM8610 kemudian dihubungkan dengan *horn speaker* sehingga menghasilkan suara garengpung dengan intensitas bunyi tertentu. Modul *LCD* berfungsi sebagai penampil teks dan angka waktu pada alat ABH. *IR receiver* berfungsi sebagai penerima perintah *remote control*.

Sistem yang terbentuk oleh bagian A, B, dan C merupakan ABH dengan sel surya yang selanjutnya diuji, meliputi uji *peak frequency* bunyi menggunakan aplikasi *SpectraPlus* (bagian D) serta uji pengosongan dan pengisian baterai (bagian E).

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian rancang bangun ABH dengan *smartchip* seri WT5001 menggunakan teknologi sel surya dilakukan pada bulan Januari-Oktober 2017 di Laboratorium Jurusan Teknik Audio Video SMK Negeri 2 Depok, Yogyakarta dan Laboratorium Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta.

B. Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam penelitian rancang bangun ABH dengan WT5001 menggunakan teknologi sel surya antara lain:

1. Instrumen Bunyi

Instrumen bunyi terdiri dari sistem rangkaian modul dan komponen elektronika yang memiliki fungsi kerja menghasilkan suara garengpung. Instrumen bunyi tersusun atas beberapa komponen pokok, yaitu:

a. Sumber Bunyi Suara Garengpung

Sumber bunyi yang digunakan pada alat berupa file mp3 hasil rekaman suara garengpung dengan variasi *peak* antara frekuensi 2000 Hz-6000 Hz. File suara mp3 disimpan dalam *SDcard* yang akan dipasangkan pada *socket* modul suara. Selain itu, di dalam *SDcard* juga ditambahkan file *iSound.mp3* untuk mengatur mode pemutaran file suara. Penggunaan file suara dalam format mp3 mempertimbangkan ukuran file yang relatif lebih kecil dibandingkan dengan format wav.

b. Modul Suara WT5001

Modul suara WT5001 merupakan modul suara multifungsi dengan fitur yang lengkap. Salah satu kelebihan WT5001 adalah modul dapat digunakan pada perangkat manual maupun perangkat dengan program otomatisasi menggunakan mikrokontroler. WT5001M02-28P dalam penelitian ini memiliki fitur *TF-socket* untuk *SDcard* memungkinkan penggantian sumber suara dengan mudah, didukung dengan fasilitas pengaturan pemutaran file suara yaitu *iSound.mp3*, sehingga dapat diatur *autoplay* atau *non autoplay*, dan *cycle*, *noncycle*, atau *random*. Selain itu, terdapat amplifier 1 W dan penyimpanan *SPI-Flash* untuk format file mp3 dengan *bit rate* sekitar 6Kbps-320Kbps.

c. Amplifier Power Audio

Amplifier power audio yang digunakan berupa kit komponen penguat tipe PAM8610, termasuk dalam penguat kelas D. Secara umum, penguat kelas D memiliki tingkat efisiensi daya yang tinggi, sehingga hemat daya dan mendukung untuk diaplikasikan pada perangkat audio portabel. PAM8610 menghasilkan daya keluaran sebesar 10 watt.

d. Horn Speaker

Horn speaker dipilih sebagai komponen keluaran pada sistem instrumen bunyi karena prinsip modul horn speaker yang beroperasi khusus pada frekuensi suara manusia (*audible sound*) dan merupakan komponen *outdoor loudspeaker*. *Horn speaker* yang digunakan memiliki impedansi 8 ohm dengan daya maksimum

12 watt, sehingga mampu menghasilkan suara dari penguatan yang dihasilkan oleh *amplifier* PAM8610.

2. Instrumen Penyedia Daya Listrik

Instrumen penyedia daya listrik merupakan sistem rangkaian modul yang berfungsi menyediakan daya listrik untuk operasi alat ABH. Modul-modul tersebut antara lain:

a. Modul Sel Surya Monokristalin

Modul sel surya yang digunakan adalah tipe monokristalin dengan daya maksimum 10 W. Modul ini berfungsi untuk menghasilkan energi listrik DC alat ABH dengan sumber energi cahaya matahari. Tegangan efektif yang dihasilkan modul pada intensitas cahaya maksimum sebesar 18 V. Apabila intensitas berubah-ubah maka tegangan yang dihasilkan menjadi tidak stabil sehingga diperlukan komponen *charger controller* untuk menghasilkan tegangan yang stabil.

b. Kit MPPT

MPPT merupakan kit *charger controller* yang berfungsi untuk mengontrol proses pengisian baterai pada penggunaan sel surya, umumnya dikenal juga sebagai *solar charger controller*. Kit komponen MPPT yang digunakan memiliki regulator tegangan keluaran yang dapat diatur dari 5 V-26 V, sehingga dapat disesuaikan dengan batas tegangan maksimum baterai yang digunakan. Prinsip kerja komponen ini adalah memberikan tegangan stabil pada pengisian baterai, dan secara otomatis melakukan pengisian ketika tegangan baterai berkurang serta menghentikan

pengisian ketika baterai penuh, sehingga dapat menghindarkan resiko *overcharged* pada baterai.

c. Baterai

Baterai yang digunakan berupa aki kering 12 V yang berfungsi sebagai catu daya alat ABH dan penyimpan daya listrik yang dihasilkan oleh modul sel surya. Baterai ini memiliki kapasitas 7,2 Ah. Baterai dihubungkan dengan komponen tambahan *dc multimeter display* dan *FL-shunt* untuk menampilkan informasi nilai tegangan baterai, arus, daya dan energi yang dikonsumsi oleh alat ABH.

Selain modul dan komponen pokok pada instrumen bunyi dan penyedia daya listrik seperti yang telah diuraikan tersebut, terdapat modul dan komponen tambahan antara lain modul *LCD*, modul *RTC*, IR receiver, remote, resistor, kapasitor, saklar, led, *header*, kabel, sekering serta papan PCB.

C. Metode dan Teknik Pembuatan Alat

Rancang bangun alat ABH dengan WT5001 menggunakan teknologi sel surya dibuat dalam beberapa tahapan yaitu:

1. Persiapan

a. Persiapan PCB untuk Rangkaian pada Mikrokontroler

Persiapan PCB untuk rangkaian meliputi pembuatan *layout*, pencetakan *layout* papan, dan pengeboran papan sesuai dengan *layout* komponen yang telah dibuat. Pembuatan *layout* menggunakan aplikasi proteus, kemudian dicetak pada

kertas *glossy* menggunakan printer laser. Tahap pencetakan *layout* rangkaian pada PCB menggunakan teknik sablon dengan setrika yang dipanaskan dan alat *press* untuk memindahkan *layout* dari kertas *glossy* ke papan PCB. Lapisan PCB selanjutnya dilarutkan dengan FeCl_2 hingga tersisa bagian yang tertutup garis *layout*. Tahap pengeboran yaitu melubangi PCB sebagai tempat kaki-kaki komponen sesuai *layout* rangkaian.

b. Persiapan Sumber Suara

- 1) Membuka folder penyimpanan file suara yang akan digunakan.
- 2) Menghubungkan *SDcard* dengan PC.
- 3) Membuat folder baru misalnya dengan nama folder “ABH MP3” di dalam *SDcard*.
- 4) Melakukan perintah *copy-paste* file suara dari folder penyimpanan awal ke dalam folder “ABH MP3”.
- 5) Menambahkan program *iSound.mp3* yang berisi kode untuk mengatur pemutaran file suara sesuai dengan datasheet chip suara WT5001 ke dalam folder “ABH MP3”.
- 6) Setelah selesai *SDcard* dapat dilepaskan dari PC, dan *SDcard* berisi file-file suara dan program *iSound.mp3* siap untuk dipasangkan pada *TF-socket* modul WT5001.

c. Pembuatan Program Mikrokontroler

- 1) Membuka aplikasi Arduino melalui PC.

- 2) Meng-*include* komponen terkait, yaitu *LCD*, *RTC* dan sensor *infrared* dengan *library* pada arduino, apabila *library* yang dibutuhkan belum tersedia maka dapat ditambahkan dengan mengunduhnya dari internet.
- 3) Menyusun program bagi masing-masing antarmuka komponen yang terdiri dari program *LCD*, program *RTC*, program sensor dan remote *infrared*, dan program pemutaran file suara dengan modul WT5001.
- 4) Meng-*upload* program yang telah dibuat (program seperti yang tertulis pada lampiran) ke mikrokontroler dengan cara:
 - a) Menghubungkan *board* arduino ke PC dengan USB Arduino.
 - b) Meng-*klik* toolbar “*Upload*” pada jendela aplikasi maka akan secara otomatis memulai proses *compiling* program dilanjutkan *upload* program dari aplikasi arduino ke mikrokontroler.
 - c) Setelah proses *upload* selesai maka akan muncul laporan pada jendela aplikasi arduino.
 - d) Melepaskan sambungan USB Arduino dari PC, dan mikrokontroler Arduino yang sudah terprogram siap untuk digunakan.

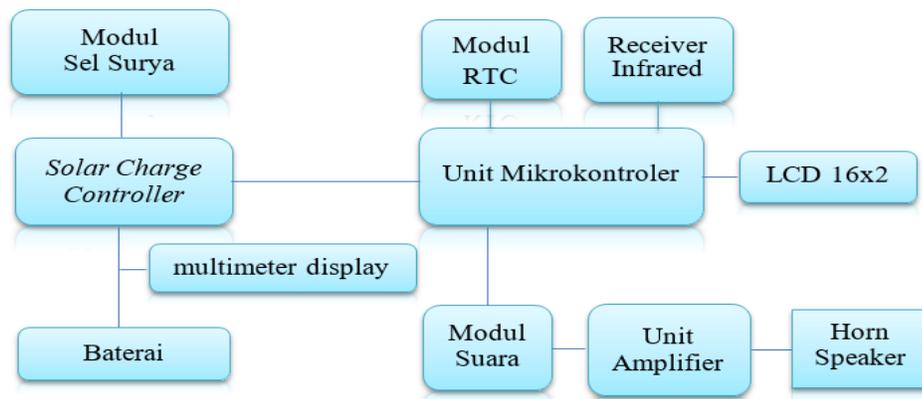
2. Perancangan dan Pembuatan Alat

Dalam satu unit rancangan alat ABH menggunakan teknologi sel surya terdiri dari rangkaian modul-modul berikut:

- a. Modul sel surya yang mampu mengonversi energi matahari menjadi energi listrik dengan arus DC.

- b. *Solar charge controller* tipe MPPT dengan pengaturan tegangan *charging* 13 V.
- c. Baterai berupa aki kering 12 volt sebagai penyimpan daya listrik, dihubungkan dengan *multimeter display* untuk memudahkan dalam memonitor tegangan baterai.
- d. Modul suara WT5001, receiver infrared, modul *RTC*, dan *LCD* 16x2 yang masing-masing terhubung pada mikrokontroler yang dioperasikan dengan program. Modul suara dengan *SDcard* berisi file suara garengung frekuensi 2000 Hz, 3000 Hz, 3500 Hz, 4000 Hz, 4500 Hz, 5000 Hz, dan 6000 Hz. *IR receiver* untuk menerima perintah kerja dari *remote control*, *RTC* sebagai penghitung waktu, *LCD* 16x2 sebagai layar penampil teks.
- e. *Amplifier power audio* berupa kit rangkaian komponen elektronika yang berfungsi menguatkan daya audio yang dihasilkan oleh modul suara.
- f. *Horn speaker* berfungsi sebagai komponen keluaran yang menghasilkan bunyi setelah mengalami penguatan oleh *amplifier*.

Skema konfigurasi alat yang dirancang:



Gambar 22. Skema Konfigurasi ABH Menggunakan Sel Surya

3. Pengujian Alat

a. Uji *Peak Frequency*

Uji validasi *peak* dilakukan dengan menganalisis *peak frequency* pada file mp3 suara garengpung dan bunyi keluaran yang dihasilkan alat ABH menggunakan aplikasi *Spectraplus 0.5*. Langkah-langkah yang dilakukan yaitu:

1) Analisis *Peak Frequency* pada File Mp3

- a) File mp3 yang akan diuji, disimpan ulang dalam format file wav ke folder lain, misalnya folder “*Uji Peak 01*”. Hal ini dilakukan karena aplikasi tidak mendukung untuk pemutaran file mp3.
- b) Membuka aplikasi *Spectraplus* pada PC, memilih mode “*Post process*” kemudian mengatur tampilan spektrum dan menambahkan menu tampilan *peak frequency*.
- c) Membuka file suara yang akan diuji melalui menu “Open”, klik ikon *run* kemudian mengamati nilai *peak frequency* yang muncul. Klik ikon *stop* untuk menghentikan pemutaran file.
- d) Mencatat dan menyimpan gambar spektrum dengan *peak frequency* yang dominan.
- e) Mengulangi langkah a) hingga d) untuk menguji file sumber suara lain.

2) Analisis *Peak Frequency* pada Bunyi Keluaran Alat

- a) Membuka aplikasi *Spectraplus*, memilih mode “*Recorder*”.

- b) Melakukan perekaman sampel bunyi keluaran alat menggunakan aplikasi Spectraplus dengan perangkat input mic kondensor yang dihubungkan ke PC.
- c) Klik ikon *rec* untuk mulai merekam dan klik ikon *stop* untuk berhenti merekam, lalu *save* untuk menyimpan file rekaman. Format file rekaman tersimpan dalam format file wav.
- d) Melakukan langkah-langkah uji *peak* a)-d) seperti yang dilakukan dalam uji *peak* file sumber suara garengpung pada *sub numbering* 1).
- e) Mengulangi langkah b)-d) untuk menganalisis suara keluaran alat dengan sampel sumber suara dengan frekuensi yang berbeda.

b. Uji Pengosongan

Uji pengosongan ditujukan untuk mengetahui kemampuan alat dapat bekerja tanpa adanya proses pengisian ulang daya listrik baterai. Pada uji pengosongan ini alat dinyalakan untuk menghasilkan suara garengpung dengan volume maksimal dari baterai penuh hingga batas tegangan minimumnya. Variabel yang digunakan dalam uji pengosongan yaitu waktu, tegangan baterai, rata-rata arus, rata-rata daya dan energi serta intensitas bunyi yang dihasilkan. Tegangan baterai dapat diukur menggunakan *multimeter digital* dan melalui *dc multimeter display* yang telah dirangkai. Rata-rata arus, daya dan energi diperoleh dari data arus, daya dan energi yang ditampilkan pada *dc multimeter display* saja, dalam rentang waktu tertentu,

sedangkan untuk data intensitas bunyi keluaran yang dihasilkan alat dapat diukur menggunakan *Sound Level Meter* (SLM) pada jarak tertentu dan tetap.

c. Uji Pengisian

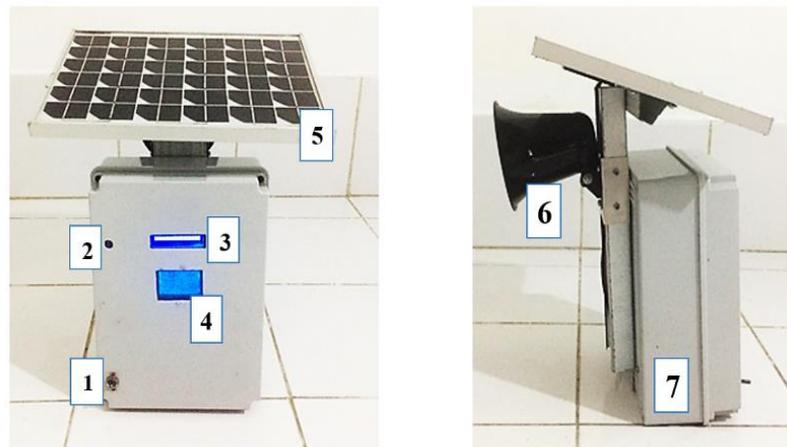
Uji pengisian ditujukan untuk mengetahui kemampuan pengisian baterai atau penyediaan daya listrik oleh modul sel surya melalui ketersediaan energi matahari. Variabel yang digunakan dalam pengujian ini yaitu waktu, tegangan baterai dan intensitas cahaya matahari. Pengukuran tegangan baterai menggunakan *multimeter digital* sedangkan pengukuran intensitas cahaya matahari menggunakan *luxmeter digital*.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

B. Rancang Bangun ABH dengan WT5001 Menggunakan Teknologi Sel Surya

1. Bagian-bagian Alat



(a) Tampak Depan

(b) Tampak Samping

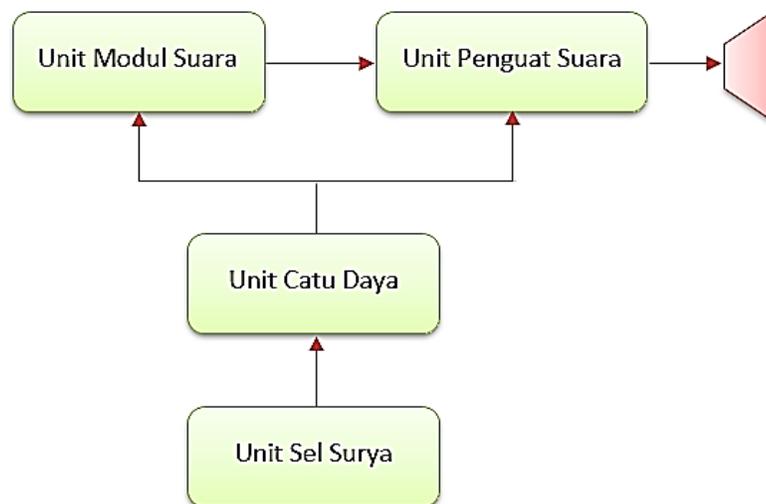
Gambar 23. Hasil Rancang Bangun ABH dengan Teknologi Sel Surya

Hasil rancang bangun ABH dengan teknologi sel surya memiliki bagian-bagian antara lain:

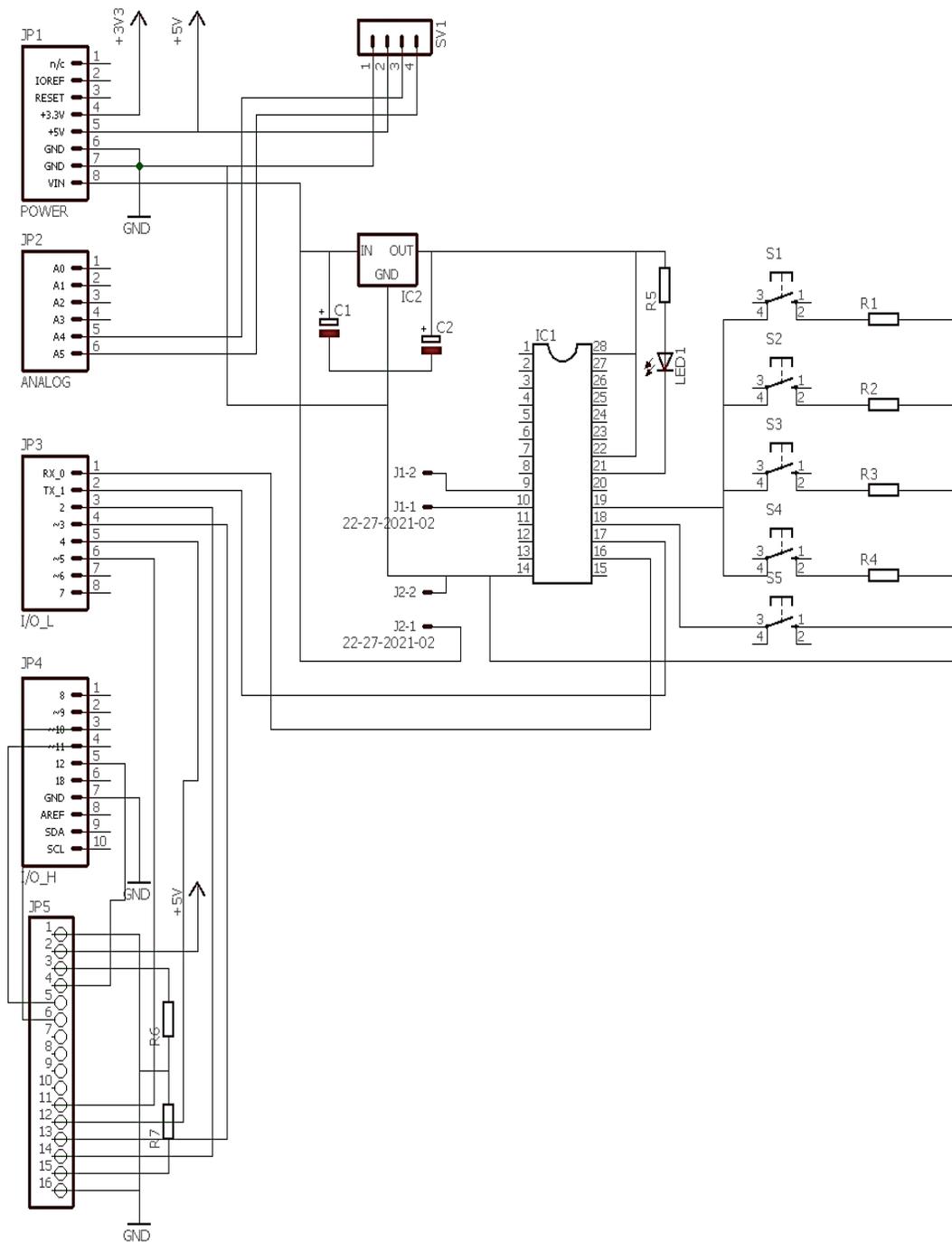
- Bagian 1, merupakan saklar untuk menyalakan (*on*) atau mematikan (*off*) alat.
- Bagian 2, merupakan kepala sensor dari *IR receiver* yang berfungsi sebagai penerima sinyal dari *remote control*.
- Bagian 3, merupakan bagian depan (layar) *LCD 16x2* untuk menampilkan teks atau angka dengan pengaturan melalui program pada mikrokontroler.

- d. Bagian 4, merupakan bagian depan (layar) *digital multimeter display* yang dapat menampilkan nilai tegangan, arus, daya dan energi alat ABH.
- e. Bagian 5, merupakan modul/panel sel surya monokristalin 10 Wp sebagai pengubah energi matahari menjadi listrik dc.
- f. Bagian 6, merupakan *horn speaker* sebagai modul keluaran suara untuk memaparkan bunyi garengpung.
- g. Bagian 7, merupakan *box* alat yang berisi rangkaian elektronika dan modul-modul yang harus dipasang secara internal agar terlindung dari perubahan cuaca dan faktor lain dari lingkungan yang dapat mempengaruhi kerja alat.

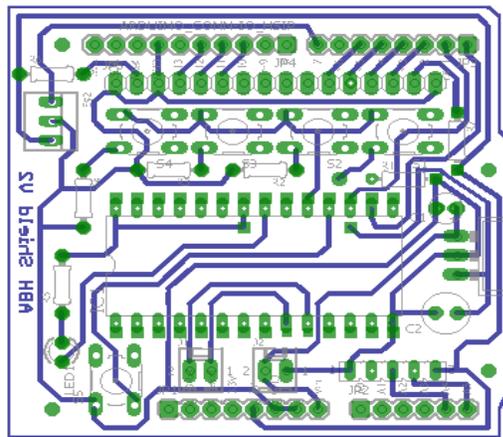
2. Blok Diagram dan Rangkaian Alat



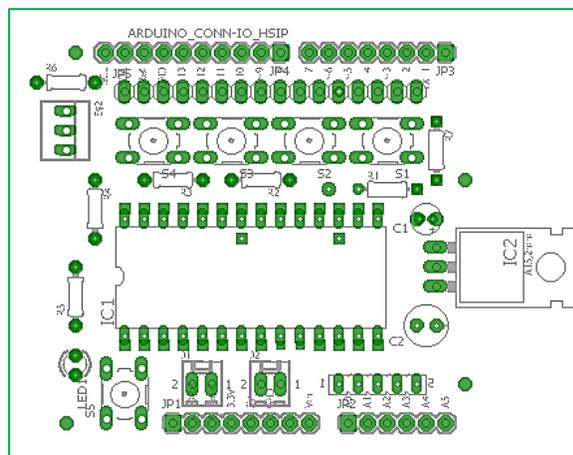
Gambar 24. Blok Diagram ABH Menggunakan Sel Surya



Gambar 25. Rangkaian Instrumen Bunyi ABH



Gambar 26. *Layout PCB*

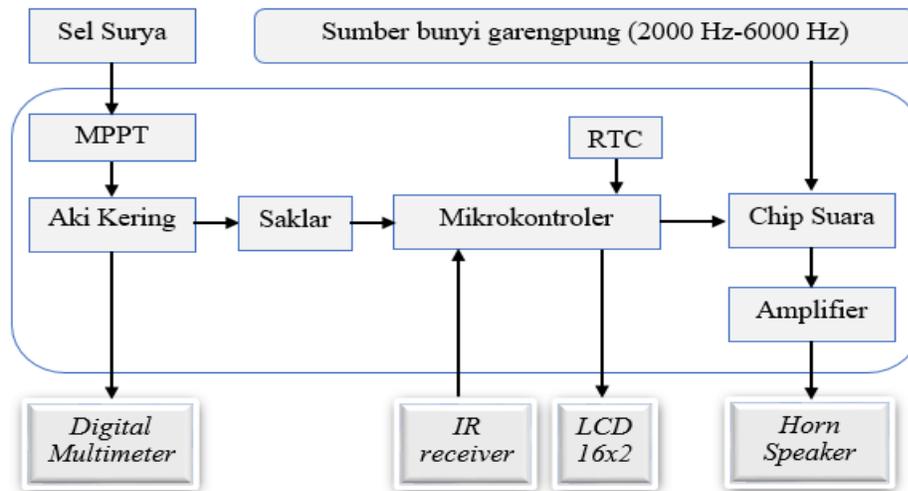


Gambar 27. *Tata Letak Komponen*

3. Prinsip Kerja Alat

Prinsip kerja alat dalam rancang bangun alat ABH menggunakan teknologi sel surya terdiri dari dua bagian sistem yang terpadu yaitu sistem instrumen bunyi dan sistem pengisi daya listrik alat. Instrumen bunyi terdiri dari komponen utama berupa modul suara, sumber bunyi, penguat, serta komponen keluaran berupa *horn*

speaker. Instrumen pengisi daya listrik alat yang terdiri dari sel surya, kontroler, serta aki kering sebagai penyimpanan daya.



Gambar 28. Bagan Prinsip Kerja Alat ABH dengan Teknologi Sel Surya

Sumber suara berupa file mp3 suara garengpung terdiri dari tujuh sampel suara dengan variasi *peak* yaitu 2000 Hz, 3000 Hz, 3500 Hz, 4000 Hz, 4500 Hz, 5000 Hz, dan 6000 Hz, disimpan dalam *SDcard* yang dipasangkan pada *socket* modul suara WT5001. Sumber tegangan yang digunakan pada alat berasal dari aki 12 V yang dihubungkan dengan *board* mikrokontroler dan *amplifier* PAM8610. Modul WT5001 dicatu dengan tegangan yang berasal dari *Vin* mikrokontroler melalui regulator 7805 dengan sebuah kapasitor 100 μ F yang terhubung pada pin *input* regulator dan pin 17 WT5001 (*UART receive bus*). Pin 17 ini, juga terhubung dengan *header transmit (TX)* mikrokontroler. Terdapat kapasitor 100 μ F yang lain memiliki kaki *input* yang terhubung dengan *Vin*, sedangkan kaki *output* terhubung

dengan tombol *select* manual dan *IR receiver*. Selain itu, terdapat *LED* indikator kerja rangkaian yang terhubung pada pin 21 modul WT5001.

Pada saat saklar *On*, mikrokontroler aktif dan mencatu modul WT5001 sehingga dapat bekerja ditandai dengan indikator *LED* menyala biru. Pemilihan file suara yang akan diputar dapat dilakukan dengan tombol *select* manual maupun *remote control*, tetapi tombol *select* hanya dapat digunakan ketika *box* alat dalam keadaan terbuka karena terletak pada papan rangkaian *PCB* internal. Selain itu, pemilihan file dengan tombol *select* harus bergantian sesuai urutan file yang disimpan. Berbeda dengan penggunaan *remote control* yang prinsip kerjanya telah diatur menggunakan program mikrokontroler. Pemilihan suara dengan *remote* tidak bergantung pada urutan penyimpanan file, yang berarti dapat dipanggil secara acak hanya dengan menekan tombol angka pada *remote* yang sesuai dengan kode pemutaran dalam program. Selain untuk pemilihan suara, pengaturan volume juga dapat dilakukan dengan *remote*.

Berdasarkan perintah pemilihan suara maka WT5001 akan memanggil file suara yang dipilih untuk diproses dan dikeluarkan melalui pin 9 (*ROUT*) dan pin 10 (*LOUT*). Kedua pin keluaran WT5001 tersebut kemudian dihubungkan dengan input *amplifier* PAM8610 untuk proses penguatan sinyal. Hasil penguatan berupa sinyal *audio* dengan daya maksimum 10 W (*stereo* 5W+5W). Keluaran *amplifier* kemudian dihubungkan dengan *horn speaker* Narae 12 watt untuk menghasilkan

bunyi suara garengpung. Alat ABH ini mampu menghasilkan suara hingga 100 dB, diukur dengan *sound level meter* pada jarak 2 meter dari sumber bunyi.

Selanjutnya pada pengisian daya listrik alat, modul sel surya yang digunakan mampu mengkonversi energi matahari menjadi listrik dc dengan tegangan efektif hingga 18 volt. Listrik dc kemudian dilewatkan modul *MPPT* untuk memperoleh tegangan stabil sesuai kebutuhan pengisian baterai. Untuk baterai 12 volt, regulator *MPPT* dapat diatur pada tegangan keluaran antara 12,5-13 V, disesuaikan dengan spesifikasi baterai yang akan digunakan. Indikator pengisian pada *MPPT* berupa *LED* yang menyala merah saat *charging* atau biru ketika baterai mulai penuh.

Pada hasil rancang bangun ABH ini terdapat tiga kondisi kerja yaitu *Off*, *On*, dan *Standby*. Kondisi *Off* dan *On* diatur dengan saklar, sedangkan kondisi *Standby* dengan perintah *remote* atau tombol *select* pada rangkaian internal di dalam *box*.. Pada kondisi *On* arus yang mengalir sekitar 3 A, pada kondisi *Standby* sekitar 0,8 A, sedangkan pada kondisi *Off* arus yang terdeteksi oleh *multimeter display* sebesar 0 A.

4. Cara Mengoperasikan Alat

Langkah-langkah mengoperasikan alat untuk menghasilkan suara garengpung berdasarkan keterangan pada Gambar 22 :

- a. Menggeser saklar ke posisi *ON* untuk menyalakan alat, menunggu sampai layar *LCD* juga menyala.

- b. Memilih frekuensi suara yang akan diputar dengan menekan tombol pada *remote control* yaitu:
- 1) Tombol angka 1 : perintah untuk memutar file suara 2000 Hz.
 - 2) Tombol angka 2 : perintah untuk memutar file suara 4500 Hz.
 - 3) Tombol angka 3 : perintah untuk memutar file suara 5000 Hz.
 - 4) Tombol angka 4 : perintah untuk memutar file suara 6000 Hz.
 - 5) Tombol angka 5 : perintah untuk beralih ke mode *standby*.
 - 6) Tombol angka 6 : perintah untuk memutar file suara 3000 Hz.
 - 7) Tombol angka 7 : perintah untuk memutar file suara 3500 Hz.
 - 8) Tombol angka 8 : perintah untuk memutar file suara 4000 Hz.
- c. Mengatur volume sesuai kebutuhan dengan menekan tombol berikut:
- 1) Tombol angka 0 : untuk perintah volume minimum
 - 2) Tombol (-) : untuk perintah menurunkan level volume
 - 3) Tombol (+) : untuk perintah menaikkan level volume
- d. Ketika alat selesai digunakan, dapat dioperasikan dalam *mode standby* dengan menekan tombol 5 atau dimatikan dengan menggeser saklar pada posisi *OFF*.

5. Spesifikasi Alat

Spesifikasi alat ABH menggunakan teknologi surya antara lain:

- a. Dimensi ukuran alat yaitu panjang ± 40 cm, lebar ± 30 cm, tinggi ± 50 cm.
- b. Tegangan efektif modul sel surya 18 V.

- c. Penyimpanan daya dengan aki kering 12 V, 7,2 Ah.
- d. Tegangan minimal operasi alat sekitar 6 V.
- e. Sumber bunyi terdiri dari tujuh variasi frekuensi harmonik yaitu 2000 Hz, 3000 Hz, 3500 Hz, 4000 Hz, 4500 Hz, 5000 Hz, dan 6000 Hz.
- f. Media penyimpanan suara menggunakan *SDcard*, yang dipasangkan pada *TF-socket* modul suara WT5001.
- g. Menggunakan *audio amplifier* kelas D dengan keluaran stereo 10 W.
- h. Menggunakan *horn speaker* 12 W 8 ohm sebagai komponen keluaran yang mampu menghasilkan suara hingga 100 dB.

6. Kelebihan dan Kekurangan Alat Hasil Rancangan

- a. Kelebihan alat :
 - 1) Menggunakan modul sel surya untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik sebagai penyedia daya listrik alat sehingga petani tidak perlu melakukan pengisian baterai secara manual (tidak memerlukan pengecasan).
 - 2) Dilengkapi dengan *multimeter display* sehingga dapat mengetahui informasi mengenai tegangan, arus, daya dan energi alat, untuk memudahkan dalam pemantauan kerja alat.
 - 3) Penggunaan *SDcard* sebagai media penyimpanan file memungkinkan adanya penggantian atau pengembangan file suara yang akan diputar dengan lebih mudah.

4) Memungkinkan untuk memanipulasi fungsi kerja alat hanya dengan mengubah program pada mikrokontroler tanpa banyak merubah rangkaian *hardware* alat.

b. Kekurangan alat :

1) Pengaturan mode pemutaran suara masih terbatas pada program modul suara, belum bisa dilakukan langsung secara manual dengan tombol.

2) Rangkaian internal banyak menggunakan kabel-kabel kecil dengan sambungan *non-permanen* sehingga sangat memungkinkan terjadinya kendala operasi berupa sambungan yang longgar dan rentan lepas.

3) Pengaturan perintah dalam kerja alat seperti perintah pemilihan suara, pengaturan volume yang dihasilkan dan perubahan mode kerja alat yaitu *on* dan *standby* masih terbatas pada penggunaan *remote control*.

4) Dari segi biaya pembuatan masih kurang terjangkau oleh petani kecil, sehingga dibutuhkan manipulasi *hardware* alat untuk memperoleh harga yang lebih ekonomis.

C. Uji *Peak Frequency* pada Alat ABH

Uji *peak frequency* pada alat ABH dilakukan untuk mengetahui rentang penyimpangan frekuensi bunyi keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian audio alat ABH ketika dibandingkan dengan frekuensi file mp3 yang digunakan sebagai sumber bunyi. Hasil dari pengukuran frekuensi yang telah dilakukan yaitu:

Tabel 6. Data *Peak Frequency* File Mp3 dan Bunyi Keluaran Alat ABH

No	Frekuensi File Suara (Hz)	Frekuensi Bunyi Keluaran (Hz)			
		50 cm	100 cm	150 cm	Rata-rata $\pm \Delta f$
1	1982,42	2088,72	2034,89	2005,28	2042,96 \pm 42,30
2	2972,66	3001,19	3095,40	3084,63	3060,41 \pm 51,56
3	3483,00	3483,00	3456,08	3469,54	3469,54 \pm 13,46
4	3946,29	4072,47	4007,87	4123,61	4067,98 \pm 58,00
5	4438,48	4355,09	4263,57	4274,34	4297,67 \pm 50,02
6	5036,13	5001,09	4998,39	4995,70	4998,39 \pm 2,69
7	5988,28	6099,28	6107,35	6104,66	6103,76 \pm 4,11

Berdasarkan Tabel 6, dapat diketahui nilai *peak* dari frekuensi asli sumber bunyi garengpung dan rata-rata hasil pengukuran berulang pada frekuensi bunyi keluaran alat ABH. Pada tujuh sampel bunyi yang diukur terdapat penyimpangan frekuensi bunyi keluaran terhadap frekuensi file bunyi asli, yaitu sebesar 60,54 Hz pada sampel 1; sebesar 87,75 Hz pada sampel 2; sebesar 13,46 Hz pada sampel 3; sebesar 121,69 Hz pada sampel 4; sebesar 140,81 Hz pada sampel 5; sebesar 37,74 Hz pada sampel 6; dan sebesar 115,48 Hz pada sampel 7; sehingga penyimpangan *peak* dari bunyi keluaran yang dihasilkan alat ABH berada dalam rentang frekuensi 13,46 Hz sampai 140,81 Hz. Penyimpangan *peak* dari bunyi yang dihasilkan alat diperkirakan disebabkan oleh karakteristik atau spesifikasi dari komponen keluaran alat yang berupa *horn speaker*,

dalam mendistribusikan suara tidak merata ke segala arah, sehingga pengukuran bunyi keluaran pada sudut yang berbeda memperoleh hasil yang berbeda pula. Oleh karena itu, jarak dan sudut terhadap sumber bunyi pada pengukuran *peak* perlu diperhatikan guna memperoleh hasil pengukuran yang lebih akurat mengenai nilai *peak* dari bunyi keluaran alat. Spektrum bunyi pada uji *peak frequency* secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 1 dan Lampiran 2.

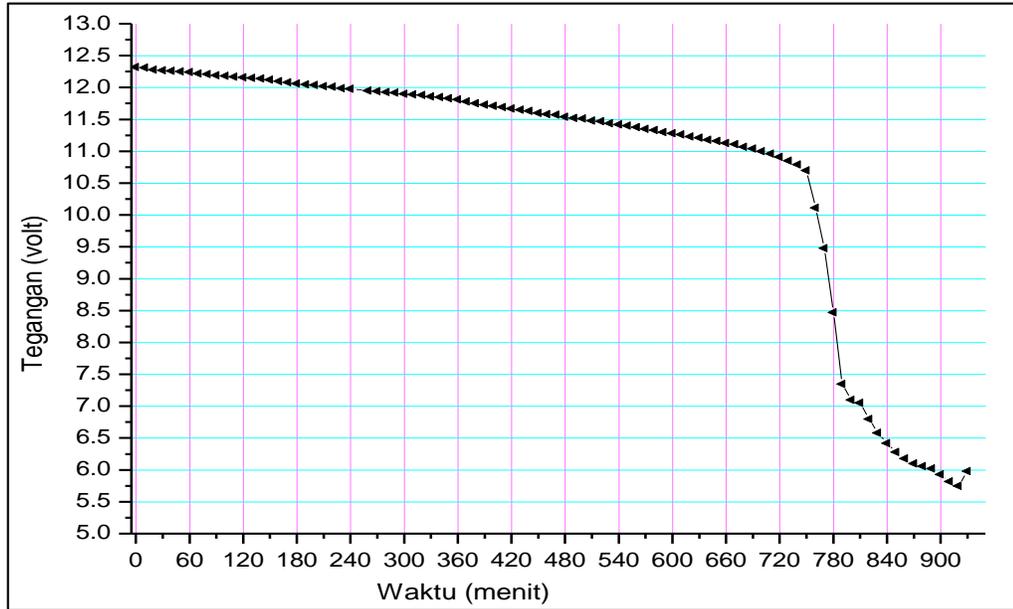
Pengukuran berulang frekuensi bunyi yang dihasilkan alat ABH dimaksudkan untuk memperoleh nilai rata-rata frekuensi bunyi keluaran sehingga hasil pengukuran diharapkan memiliki pendekatan yang lebih baik. Pemilihan jarak yang divariasikan pada pengukuran frekuensi bunyi keluaran dapat membuktikan bahwa jarak sumber bunyi tidak memiliki pengaruh terhadap frekuensi yang dihasilkan. Berdasarkan hal tersebut, dapat diartikan bahwa dalam aplikasi alat ABH setiap tanaman menerima perlakuan frekuensi yang sama. Δf pada kolom terakhir Tabel 6 merupakan standar deviasi dari pengukuran berulang pada variasi jarak yang diperoleh melalui analisis perhitungan.

D. Efektivitas Penggunaan Sel Surya dalam Menyediakan Daya Listrik ABH

1. Uji Pengosongan Baterai

Uji pengosongan daya alat dilakukan dengan maksud untuk mengetahui tingkat konsumsi daya baterai ketika alat dioperasikan. Konsumsi daya baterai terjadi saat alat dalam kondisi *On* dan kondisi *Standby*, sehingga pengujian dilakukan pada dua kondisi tersebut.

a. Mode On



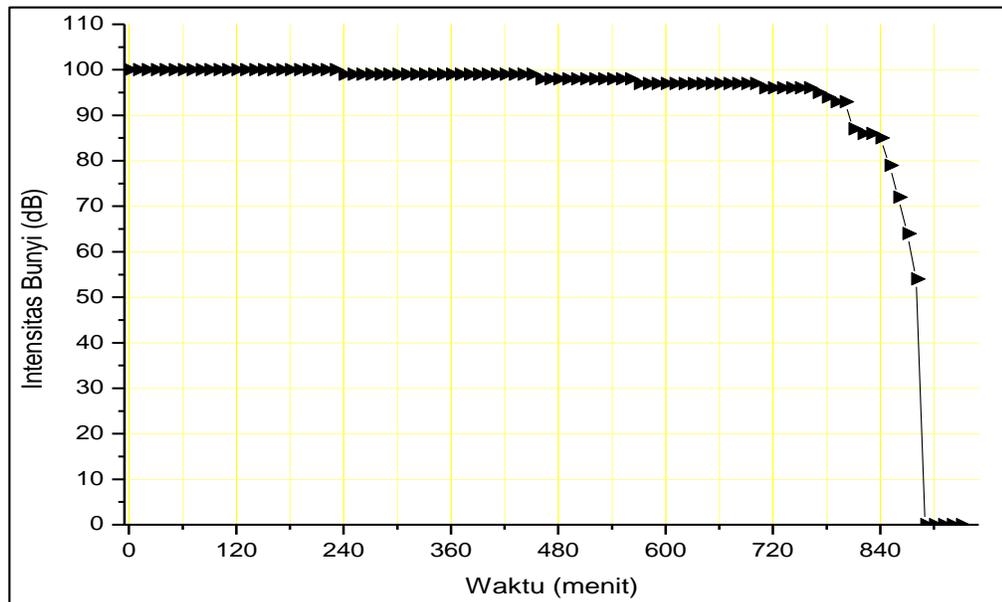
Gambar 29. Grafik Pengosongan pada Mode On

Grafik Pengosongan pada Mode *On* merupakan *plotting* data pengukuran tegangan pada proses pengosongan daya baterai alat melalui pengoperasian alat (untuk memutar file suara) pada volume maksimal. Grafik menunjukkan perubahan nilai tegangan terhadap waktu yang diukur setiap 10 menit, berdasarkan data pada Lampiran 3. Pada grafik dapat dilihat karakter penurunan tegangan yang relatif kecil dan linier saat tegangan baterai diatas 10,5 V. Ketika tegangan kurang dari 10,5 V tegangan menurun drastis terhadap perubahan waktu, ditunjukkan dengan grafik yang curam. Dalam setiap satu jam dapat diketahui nilai rata-rata penurunan tegangan yang terjadi beserta dengan rata-rata arus, rata-rata daya dan energi yang digunakan seperti yang tertulis pada Tabel 7.

Tabel 7. Data Pengosongan dengan Mode On

Waktu (jam)	Penurunan Tegangan (V)	Rata-rata Arus (A)	Konsumsi Daya (W)	Selisih Energi (Wh)
1	0,08	3,23	0,26	18
2	0,08	3,48	0,28	14
3	0,1	3,44	0,34	12
4	0,08	3,39	0,27	13
5	0,08	3,24	0,26	12
6	0,09	3,25	0,29	14
7	0,14	3,4	0,48	13
8	0,13	3,42	0,44	14
9	0,12	3,5	0,42	16
10	0,14	3,4	0,48	18
11	0,15	3,4	0,51	19
12	0,22	3,39	0,75	23
13	2,44	3,44	8,39	33
14	2,05	1,66	3,40	11
15	0,44	0,62	0,27	6
Rata-rata	0,42	3,08	1,12	15,73

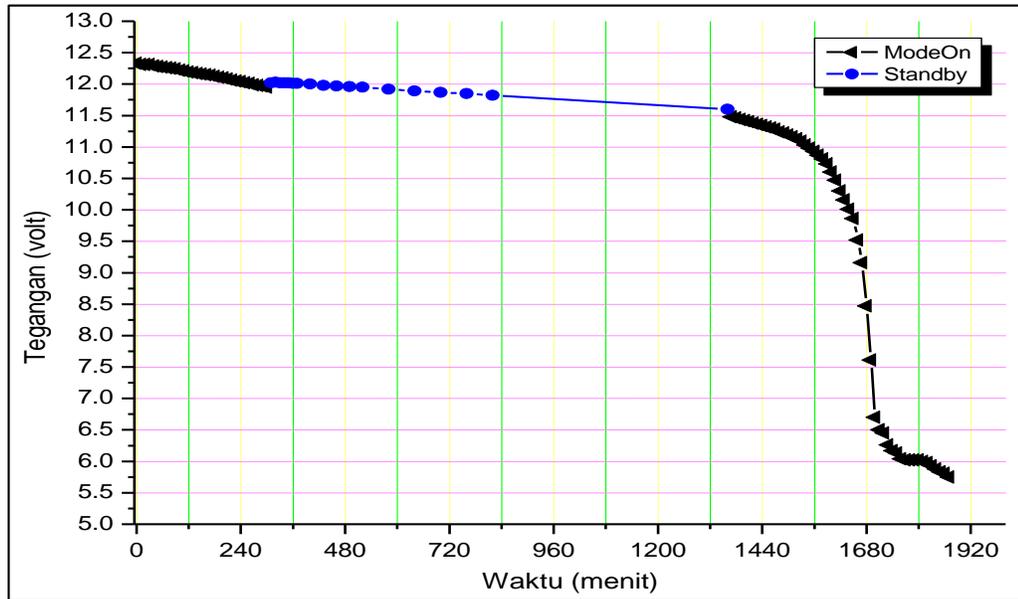
Estimasi secara kuantitatif kerja alat berdasarkan rata-rata penurunan tegangan apabila alat dioperasikan (*mode on* dengan volume maksimal) hingga tegangan minimal yaitu 6 V dari tegangan baterai 12,3 V adalah $6,3 \text{ V} / (0,42 \text{ V per jam}) = 15 \text{ jam}$, sedangkan rata-rata konsumsi daya alat sebesar 1,12 W. Selain itu, karakter dari nilai intensitas bunyi yang dihasilkan oleh alat dengan volume maksimal terhadap waktu ditunjukkan pada Gambar 25.



Gambar 30. Grafik Perubahan Nilai Intensitas Bunyi terhadap Waktu

Berdasarkan grafik, intensitas bunyi yang dihasilkan oleh alat pada kerja alat dengan volume maksimal yang mencapai intensitas 100dB pada frekuensi 2000 Hz, cenderung stabil selama sekitar 13 jam (780 menit) dan selama 1 jam berikutnya menurun drastis hingga intensitas 0 dB karena tegangan sudah mencapai nilai minimal sehingga tidak dapat digunakan untuk mengoperasikan alat.

b. Mode *Standby*



Gambar 31. Grafik Pengosongan pada Mode *Standby*

Grafik pengosongan pada Gambar 31, menunjukkan pengoperasian alat ABH pada mode *on* dan mode *standby*. Di awal waktu alat dioperasikan dalam mode *on* selama 2x150 menit, dilanjutkan dengan mode *standby* selama 17,5 jam, dan diakhiri dengan mode *on* hingga tegangan baterai minimal berdasarkan tabel data pengosongan pada mode *standby* dalam Lampiran 4. Pengosongan dengan dua mode alat sekaligus ini diperlukan karena diperkirakan memiliki pengaruh berbeda terhadap penurunan tegangan yang akan berpengaruh juga pada besarnya konsumsi daya baterai. Penurunan tegangan, rata-rata arus operasi, rata-rata daya, dan selisih energi yang digunakan setiap satu jam pengoperasian alat, baik pada mode *on* maupun mode *standby* dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Pengosongan pada Mode *Standby*

No	Penurunan Tegangan (V)	Rata-rata Arus (A)	Rata-rata Daya (W)	Penggunaan Energi (Wh)	Mode
1	0,07	3,28	0,2296	40	On (85-87 dB)
2	0,09	3,25	0,2925	38	On (85-87 dB)
3	0,01	0,82	0,0082	10	Standby (0 dB)
4	0,02	0,81	0,0162	10	Standby (0 dB)
5	0,03	0,81	0,0243	10	Standby (0 dB)
6	0,03	0,81	0,0243	9	Standby (0 dB)
7	0,14	3,13	0,4382	35	On (85-87dB)
8	1,05	3,01	3,1605	28	On (84-85 dB)
9	0,62	0,91	0,5642	3	On (45-83 dB)
Rata-rata*	0,34	3,17	1,03	35,25	*On
Rata-rata**	0,02	0,81	0,02	9,75	**standby

Rata-rata konsumsi daya listrik alat pada mode *on* sesuai data pada Tabel 8 yaitu 0,34 V per jam dengan arus 3,71 A, sedangkan pada mode *standby* adalah 0,02 V per jam dengan arus 0,81 A. Apabila dalam satu hari alat diaplikasikan dalam mode on selama 2x2 jam maka akan menghabiskan sebanyak $2 \times (2 \times 0,34 \text{ V}) = 1,36 \text{ V}$ dan selama 20 jam dalam mode *standby* menghabiskan $20 \times 0,02 \text{ V} = 0,4 \text{ V}$

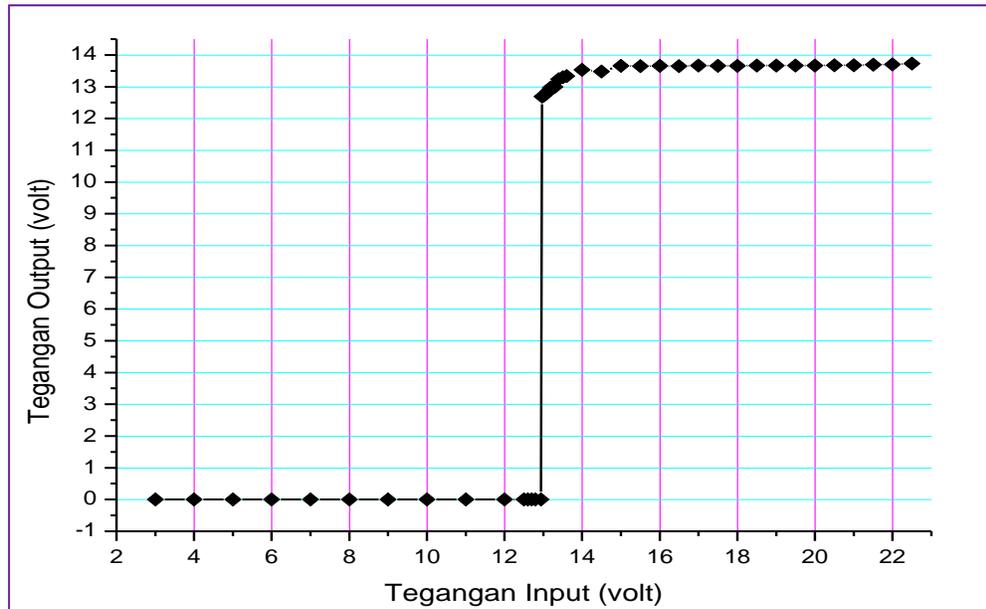
sehingga total konsumsi tegangan baterai dalam sehari adalah 1,76 V dengan rata-rata daya operasi 1,03 W pada mode on dan 0,02 W pada mode standby.

Keadaan konsumsi tegangan yang linear pada pengosongan baterai berada dalam rentang tegangan baterai 8-12,5 V maka tegangan yang tersedia sebanyak $\pm 4,5V$. Dengan estimasi yang serupa pada uji pengosongan, dapat diperkirakan alat mampu bekerja selama sekitar $(4,5V/1,36V) \times 24 \text{ jam} = 79,2$ jam atau sekitar 3 hari lebih 7 jam. Setelah jangka waktu tersebut, alat akan berada dalam mode *standby* tidak mampu menghasilkan suara karena tegangan yang dimiliki baterai tidak mampu lagi untuk mencatu kerja alat ABH.

2. Uji Pengisian Baterai

a. Uji Tegangan *MPPT* dan Sel Surya

Pada pengisian baterai perlu diketahui mengenai karakter komponen utama pengisian yaitu modul sel surya, kontroler *MPPT*, dan penyimpan daya yang digunakan. Oleh karena itu, dilakukan pengujian karakter tegangan pada komponen-komponen tersebut. Berdasarkan uji *MPPT* dengan *power supply*, diperoleh bahwa pengaturan tegangan regulator memiliki pengaruh terhadap tegangan dc input minimal yang dapat dilewatkan oleh *MPPT*. Secara grafis karakter *MPPT* yang digunakan sesuai dengan hasil pengukuran tegangan keluaran *MPPT* dalam Lampiran 5 dapat ditunjukkan oleh Gambar 32.



Gambar 32. Grafik Karakter Tegangan Keluaran *MPPT*

Berdasarkan grafik, dapat diketahui bahwa nilai tegangan input minimal yang dibutuhkan *MPPT* adalah 12,97 volt pada pengaturan regulator 13 volt, dalam kondisi rangkaian tanpa beban. Apabila nilai tegangan input kurang dari 12,97 volt maka tegangan yang dihasilkan *MPPT* sangat kecil mendekati 0 volt (hasil pengukuran dalam Lampiran 5 menunjukkan nilai 0,0001-0,0007 volt). Selain itu, terbukti bahwa tegangan yang dihasilkan *MPPT* cenderung stabil meskipun nilai tegangan input terus dinaikkan, sehingga dapat menghindarkan baterai dari kerusakan yang disebabkan oleh ketidakstabilan tegangan sel surya akibat intensitas cahaya matahari yang tinggi-rendahnya juga tidak stabil. Selanjutnya mengenai kemampuan sel surya dalam mengonversi cahaya

matahari menjadi tegangan dc dapat ditunjukkan pada sampel data pengukuran tegangan sel surya dan intensitas cahaya matahari pada Tabel 9.

Tabel 9. Data Intensitas Cahaya Matahari dan Tegangan Sel Surya

Jam	Intensitas Cahaya (lux)	Tegangan Sel Surya (V)	Kondisi
08:30	48000	18,59	Cerah
09:30	14600	11,11	Berawan
10:30	46000	13,90	Cerah
11:30	58000	15,01	Cerah
12:30	45500	15,00	Cerah

Berdasarkan hasil pengukuran intensitas cahaya dan tegangan sel surya dapat diketahui bahwa tinggi-rendahnya intensitas cahaya mempengaruhi besarnya tegangan yang dihasilkan oleh sel surya. Faktor lain yang mungkin memiliki pengaruh terhadap besarnya tegangan yang dihasilkan yaitu suhu efektif dan karakter bahan penyusun sel surya.

b. Pengisian Baterai dengan Modul Sel Surya

Uji pengisian dilakukan untuk mengetahui kemampuan pengisian daya pada aki kering menggunakan modul sel surya. Variabel dalam uji pengisian yaitu tegangan baterai, intensitas cahaya matahari, dan waktu yang dibutuhkan. Hasil pengukuran dalam uji pengisian baterai ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Pengisian Baterai dengan Modul Sel Surya

No	Jam	Tegangan Baterai (V)	Intensitas Cahaya (lux)
1	07:00	6.86	28700
2	08:00	8.63	29000
3	09:00	10.79	41500
4	10:00	11.00	4800
5	11:00	11.85	45200
6	12:00	12.30	30800
7	13:00	12.45	31700
8	14:00	12.50	32900

Berdasarkan Tabel 10, waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pengisian baterai menggunakan modul sel surya yaitu ± 7 jam dengan intensitas cahaya matahari 28700-45200 lux yang terdistribusi secara random pada pukul 07:00-14:00. Uji pengisian ini dilakukan pada saat cuaca mendung sehingga intensitas matahari kurang optimal untuk menghasilkan tegangan efektif. Intensitas cahaya matahari memiliki pengaruh terhadap nilai tegangan yang dihasilkan oleh sel surya, sehingga kondisi cuaca yang berawan menyebabkan intensitas rendah yang mengakibatkan tegangan yang dihasilkan sel surya kecil. Dengan demikian, apabila intensitas matahari cukup optimal dimungkinkan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pengisian daya baterai lebih sedikit.

3. Tingkat Efektivitas Penggunaan Modul Sel Surya pada Alat ABH

Berdasarkan estimasi dari hasil uji pengosongan dan pengisian baterai 12 V sebagai catu daya alat ABH dapat diketahui bahwa penggunaan modul sel surya 10 Wp mampu menyediakan daya listrik yang dapat digunakan untuk kerja alat dalam mode *on* selama 15 jam sedangkan waktu pengisian (*charging*) hanya sekitar 7 jam. Selain itu, pada rancang bangun ABH menggunakan teknologi sel surya ini, dapat dilihat ketika alat beroperasi dan berada di bawah cahaya matahari yang cukup. secara teknis tidak terjadi proses pengosongan karena daya yang digunakan oleh alat langsung berasal dari keluaran *MPPT* sementara tetap terjadi proses pengisian sebagai dampak sambungan paralel antara *MPPT*, baterai dan rangkaian instrumen bunyi ABH.

BAB V

SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil rancang bangun alat ABH dengan teknologi sel surya yang telah diuji coba, tersusun atas sistem pemutar file bunyi suara garengpung dan sistem pengisian daya listrik dengan sumber energi cahaya matahari, serta memiliki pilihan file sumber bunyi dengan frekuensi 2000 Hz, 3000 Hz, 3500 Hz, 4000 Hz, 4500 Hz, 5000 Hz, dan 6000 Hz.
2. Hasil uji *peak frequency* pada file suara garengpung dan uji *peak frequency* pada bunyi keluaran yang dihasilkan oleh alat, menunjukkan adanya deviasi *peak frequency* yaitu sebesar 13,46-140,81 Hz.
3. Hasil uji pengosongan selama 15 jam dalam mode *on*, dan uji pengisian selama 7 jam, menunjukkan bahwa penggunaan modul sel surya 10Wp cukup efektif untuk menyediakan daya listrik alat ABH pada 12 volt 7,2 Ah.

B. Saran

Beberapa hal yang dapat peneliti sarankan sebagai bentuk dukungan terhadap penelitian pengembangan ABH selanjutnya, antara lain:

1. Dengan ketersediaan sumber energi yang cukup dan sistem yang lebih baik, diharapkan penelitian selanjutnya mengenai ABH dengan teknologi sel surya dapat

memiliki kinerja yang lebih efektif dan multifungsi, misalnya dengan memodifikasi bagian sumber suara dengan jenis atau frekuensi yang sekaligus dapat berfungsi sebagai pengusir hama tanaman pangan.

2. Alat ABH bertenaga surya ini dapat dikembangkan lagi dengan penambahan sensor-sensor terkait yang dapat memberikan informasi-informasi fisis yang dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman, seperti kelembaban udara, curah hujan, kecepatan angin atau parameter lain yang berkaitan dengan kesuburan tanah.
3. Jika memungkinkan dapat dikembangkan ABH portabel yang dapat terhubung dalam koneksi internet sehingga informasi kerja alat dapat diketahui dari jarak jauh.
4. Untuk penghematan biaya, akan lebih efisien apabila rancang bangun alat ABH dengan teknologi sel surya disesuaikan dengan kebutuhan daya sistem. Ketika daya yang dibutuhkan untuk kerja alat kurang dari 5 watt, maka cukup menggunakan modul sel surya dan aki penyimpanan dengan spesifikasi daya 5 watt.
5. Untuk pengembangan instrumen sumber bunyi alat ABH selanjutnya sebaiknya menggunakan fasilitas penyimpanan file suara pada memori internal modul suara untuk mencegah kemungkinan terjadinya pencurian data suara. Selain itu, sangat perlu untuk terus mencari referensi modul suara terbaru yang kompatibel dengan fungsi alat yang akan dikembangkan.
6. Strategi pemasaran teknologi ABH dapat dilakukan dengan memproduksi alat ABH portabel yang memiliki fungsi spesifik dengan frekuensi tertentu disesuaikan dengan kebutuhan tanaman, sehingga dari segi teknis dapat menghemat memori

modul suara, menghemat tempat (praktis) didukung dengan sistem blok rangkaian internal (*non-modular*), dengan harga yang lebih terjangkau oleh petani kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Alavijeh, R. Z., Sadeghipour, o., Riahi, H., dinparvar, S. V. (2016). The Effect of Sound and Music on Some Physiological and Biochemical Traits, Leaf Nutrient Concentration and Grain Yield of Cowpea. *Published 10 September 2016. IIOABJ Vol. 7, Suppl 2, 447-458.*
- Astono, J., Purwanto, A., A'mallina, A. Y., & Widowati, A. (2014). Pengaruh Frekuensi Belalang Kecek Termodifikasi terhadap Pertumbuhan Tanaman Kacang di Desa Pucung Saptosari Gunungkidul. *Prosiding Pertemuan Ilmiah XXVIII HFI Jateng & DIY, Yogyakarta, 26 April 2014.*
- Atmel. (2016). *8-bit AVR Microcontrollers ATmega328/P Datasheet Complete*. Diakses melalui laman http://www.atmel.com/Images/Atmel-42735-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega328-328P_Datasheet.pdf pada hari Kamis tanggal 8 Juni 2017 pukul 11:43 WIB.
- Bagher, A. M., Vahid, M. M. A., & Mohsen, M. (2015). Types of Solar Cells and Application. *American Journal of Optics and Photonics. Vol. 3, No. 5, 2015, pp. 94-113. doi: 10.11648/j.ajop.20150305.17.*
- Boylestad, R., & Nashelsky, L. (1998). *Electronic Devices and Circuit Theory. Seventh Edition*. Ohio : Pentice Hall.
- Cook, G., Billman, L., and Adcock, R. (1995). *Photovoltaic Fundamentals. Booklet*. Washington (U.S.) : National Renewable Energy Laboratory.
- Damayanti, R.A. (2016). Pengaruh Pemberian Suara Garengpung (*Dundubia manifera*) dengan Intensitas Waktu tertentu terhadap Pertumbuhan Tanaman Jahe Merah (*Zingiber officinale*). *Skripsi*. Yogyakarta: Sanata Dharma.
- Guangzhou Waytronic Electronic Co.,Ltd. *The Manual of WT5001 Modules*. Diakses dari laman <http://www.microelectronicos.com/datasheets/WT5001.pdf> pada hari Rabu tanggal 26 April 2017 pukul 18:04 WIB.
- Hassanien, R.H.E. (2013). Advances in Effects of Sound Waves on Plants. *Article in Journal of Integrative Agriculture February 2014. Doi: 10.1016/S2095-3119(13)60492-X.*
- Istiyanto, J.E. (2014). *Pengantar Elektronika dan Instrumentasi (Pendekatan Project Arduino dan Android)*. Edisi I. Yogyakarta: ANDI.

- Kadarisman, N., Purwanto, A., & Dadan R. (2011). Rancang Bangun *Audio Organic Growth System (AOGS)* melalui Spesifikasi Spektrum Bunyi Binatang Alamiah sebagai Local Genius untuk Peningkatan Kualitas dan Produktivitas Tanaman Holtikultura. *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA*. Yogyakarta: FMIPA-UNY.
- Kadarisman, N., Purwanto, A., & Dadan R. (2012). Peningkatan Laju Pertumbuhan dan Produktivitas Tanaman Kentang melalui Spesifikasi Variabel Fisis Gelombang Akustik pada Pemupukan Daun (Rancang Bangun Teknologi Tepat Guna Audio Bio Harmonik). *Laporan Hibah Bersang Bidang MIPA*. Yogyakarta : FMIPA-UNY.
- Kadir, Abdul. 2013. *Panduan Praktis Mempelajari Aplikasi Mikrokontroler dan Pemrogramannya Menggunakan Arduino*. Yogyakarta : Andi.
- King, George C. (2009). *Vibrations and Waves*. United Kingdom: John Wiley and Sons.
- Kolbrek, B. (2008). *Horn Theory: An Introduction, Part 1*. Audio Xpress. Tube, Solid State, Loudspeaker Technology.
- Linden, D., & Reddy, T. B., Ed. (2001). *Handbook of Batteries (3rd ed)*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Maxim Integrated Products, Inc. (2015) *DS1307 64x8, Serial, I²C Real-Time Clock*. Diakses dari laman <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1307.pdf> pada hari Rabu tanggal 26 April 2017 pukul 17:45 WIB.
- Murali, N. (2016). *Arduino Real Time Clock (DS1307)*. Autodesk, Inc. Diakses melalui laman <http://www.instructables.com/id/Arduino-Real-Time-Clock-DS1307/> pada hari Senin tanggal 17 Juli 2017 pukul 15:26 WIB.
- Newman, J. (2008). *Physics of the Life Sciences*. DOI: 10.1007/978-0-387-77259-2_11. Springer Science+Business Media, LLC.
- Northern Arizona Wind & Sun. (2017). *All About Maximum Power Point Tracking (MPPT) Solar Charge Controllers*. Diakses melalui laman <https://www.solar-electric.com/learning-center/batteries-and-charging/mppt-solar-charge-controllers.html> pada hari Kamis tanggal 8 Juni 2017 pukul 12:42 WIB.

- Oliver, P. (2002). Alternative Gardening: Sonic Bloom :Music to Plants' Stomata. *Article from Countryside & Small Stock Journal, Vol. 86 No.4, July/August 2002.* [Diakses pada Sabtu tanggal 29 April 2017 pukul 11:31 WIB dari laman \(\[http://originalsonicbloom.com/published/sonic%20bloom%20julyaug%2002.p\]\(http://originalsonicbloom.com/published/sonic%20bloom%20julyaug%2002.pdf\)
\[df\]\(http://originalsonicbloom.com/published/sonic%20bloom%20julyaug%2002.p\)\).](http://originalsonicbloom.com/published/sonic%20bloom%20julyaug%2002.pdf)
- Prasetyo, J. (2014). Efek Paparan Musik dan *Noise* pada Karakteristik Morfologi dan Produktivitas Tanaman Sawi Hijau (*Brassica juncea*). *Jurnal Keteknik Pertanian Vol. 2 No. 1 April 2014.*
- Serway, R. A. & Vuille C. (2010). *College Physics 9th Ed.* Boston (USA) : Brooks/Cole Cengage Learning.
- Sharma, S., Jain, K. K., & Sharma, A. (2015). Solar Cells: In Research and Applications-A Review. *Scientific Research Publishing Inc. Materials Sciences and Applications, 2015, 6, 1145-1155.*
- [Setiyono, Restu. \(2017\). Rancang Bangun Teknologi Audio Bio Harmonik dengan Smartchip WT5001 yang Lebih Praktis. Skripsi. Yogyakarta : FMIPA-UNY.](#)
- [Solar Surya Indonesia. \(2012\). VRLA Baterai. Diakses pada Kamis 26 Oktober 2017 pukul 21:36 WIB, melalui laman <https://solarsuryaindonesia.com/info/vrla-baterai.html>.](#)
- Supendi, Restiana Aulia. (2016). Rancang Bangun Teknologi Tepat Guna Audio Bio Harmonik (ABH) dengan Smartchip WT5001. *Skripsi*. Yogyakarta : FMIPA-UNY.
- Vanol, D. & Vaidya, R. (2014). Effect of Types of Sound (Music and Noise) and Varying Frequency on Growth of Guar or Cluster Bean (*Cyamopsis tetragonoloba*) and Growth of Plants. *Quest, July 2014, Vol.2, No.3, 9-14.*
- Widyawati, Y., Kadarisman, N., & Purwanto, A. (2011). Pengaruh Suara "Garengpung" (*Dundubia manifera*) Termanipulasi pada *Peak* Frekuensi $(6,07 \pm 0,04) \times 10^3$ Hz terhadap Pertumbuhan dan Produktivitas Tanaman Kacang Dieng (*Vicia faba* Linn). *Prosiding Seminar Nasional Penelitian Pendidikan dan Penerapan MIPA. Fakultas MIPA Universitas Negeri Yogyakarta, 14 Mei 2011. F515-F522.*
- Wuryani, S., Herastuti, H., & Supriyanto, D. (2014). Respon Kualitas Hasil Tomat Cherry (*Lycopersicum cerasiforme mill.*) terhadap Penggunaan Teknologi *Sonic Bloom* dengan Berbagai Pupuk Daun. *Agrivet (2014) 18:1-5.*

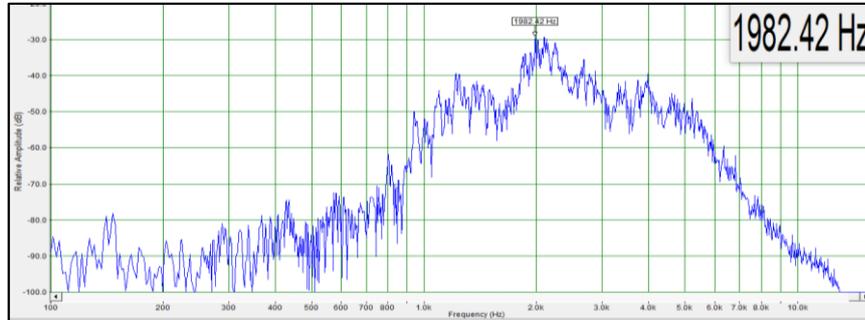
Yulianto. (2008). Penerapan Teknologi *Sonic Bloom* dan Pupuk Organik untuk Peningkatan Produksi Bawang Merah (Studi Kasus Bawang Merah di Brebes, Jawa Tengah). *Jurnal Agroland* 15(3):148-155, September 2008. ISSN: 0854641X.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

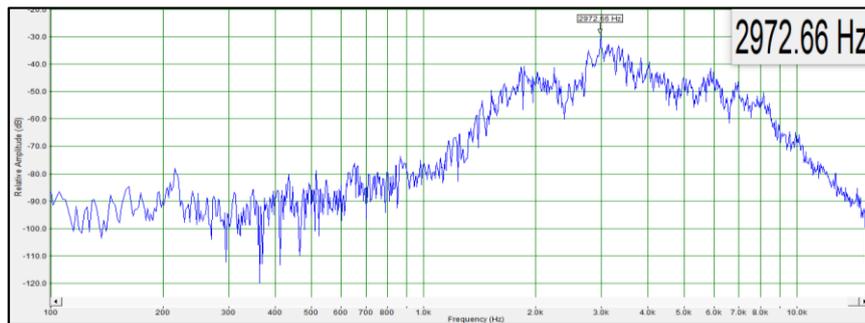
Spektrum File Mp3 Suara Garengpung dengan Aplikasi *Spectraplus 5.0*

A. Nama file : 0001, *Peak Frequency 1982,42 Hz*



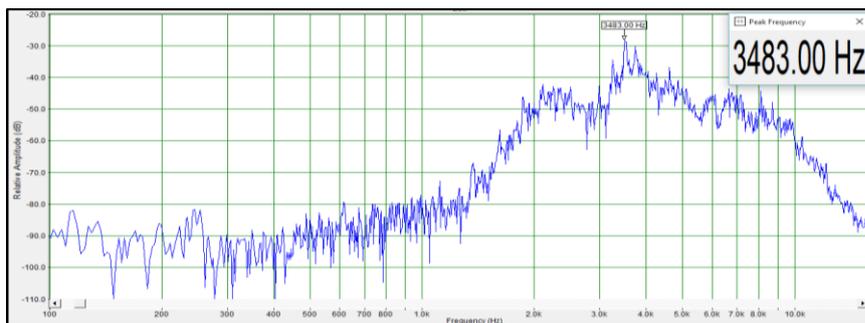
Gambar 1. Plot Spektrum Sampel Bunyi 2000 Hz

B. Nama file : 0002, *Peak Frekuensi 2972,66 Hz*



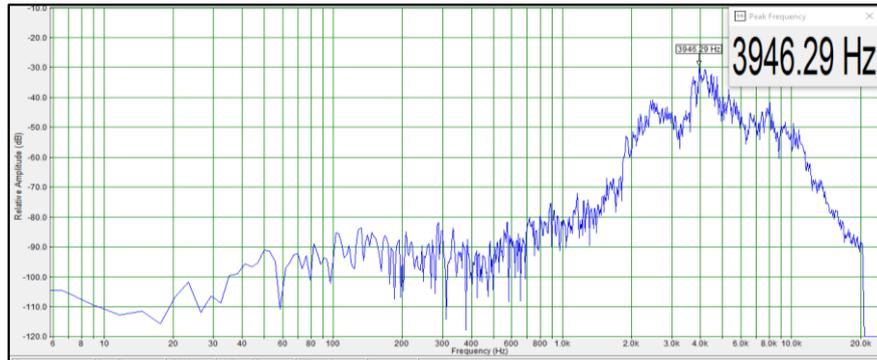
Gambar 2. Plot Spektrum Sampel Bunyi 3000 Hz

C. Nama file : 0003, *Peak Frequency 3483,00 Hz*



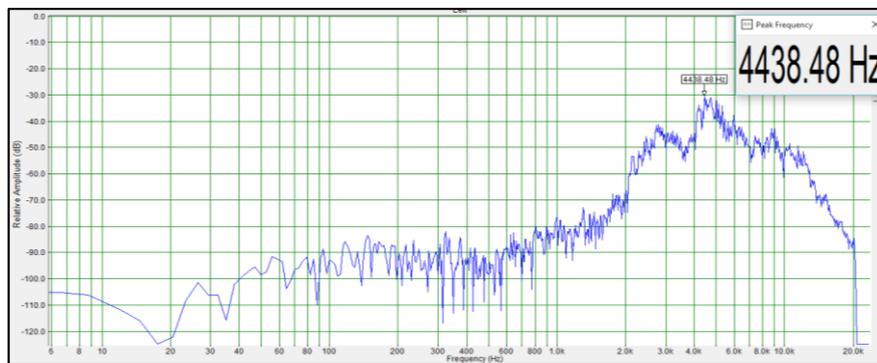
Gambar 3. Plot Spektrum Sampel Bunyi 3500 Hz

D. Nama file : 0004, Peak Frequency 3946,29 Hz



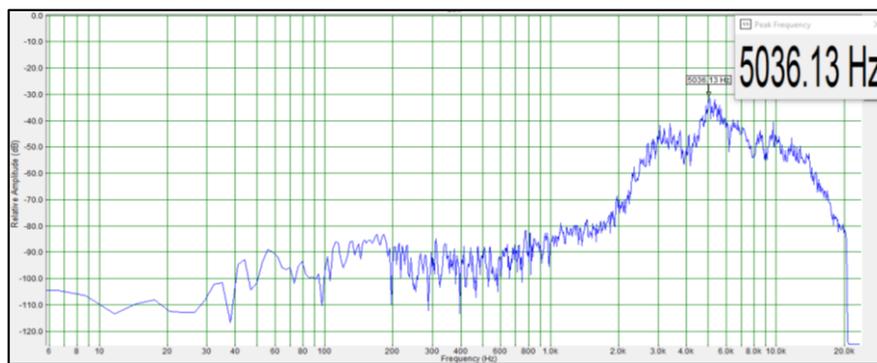
Gambar 4. Plot Spektrum Sampel Bunyi 4000 Hz

E. Nama file : 0005, Peak Frequency 4438,48 Hz



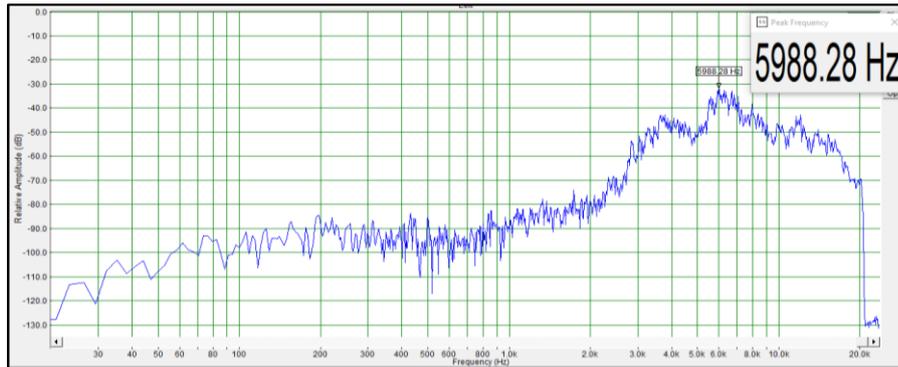
Gambar 5. Plot Spektrum Sampel Bunyi 4500 Hz

F. Nama file : 0006, Peak Frequency 5036,13 Hz



Gambar 6. Plot Spektrum Sampel Bunyi 5000 Hz

G. Nama file : 0007, *Peak Frequency* 5988,28 Hz



Gambar 7. Plot Spektrum Sampel Bunyi 6000 Hz

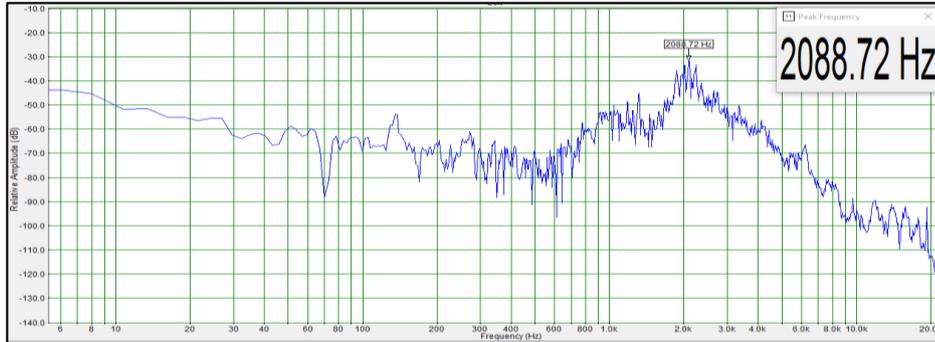
LAMPIRAN 2

Spektrum Bunyi Keluaran Alat ABH dengan Aplikasi *Spectraplus 5.0*

A. *Peak frequency file mp3 : 1982,42 Hz*

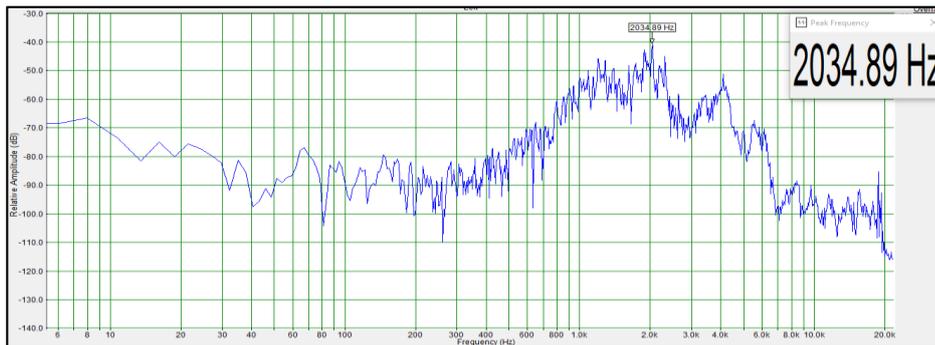
Spektrum bunyi keluaran diukur pada:

1. Jarak 50 cm



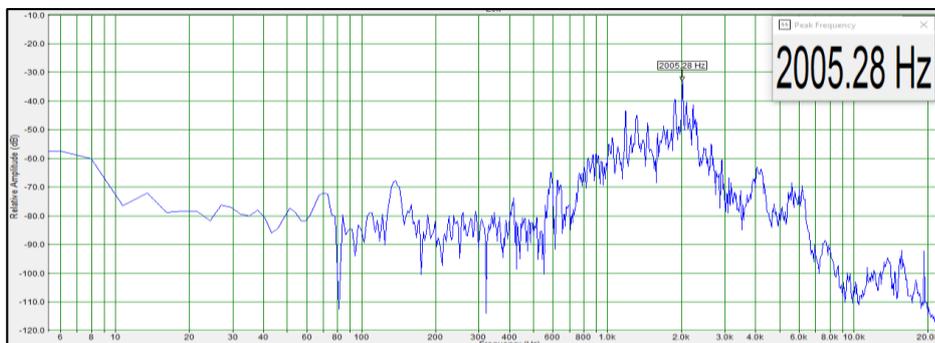
Gambar 8. *Peak Frequency : 2088,72 Hz*

2. Jarak 100 cm



Gambar 9. *Peak Frequency : 2034,89 Hz*

3. Jarak 150 cm

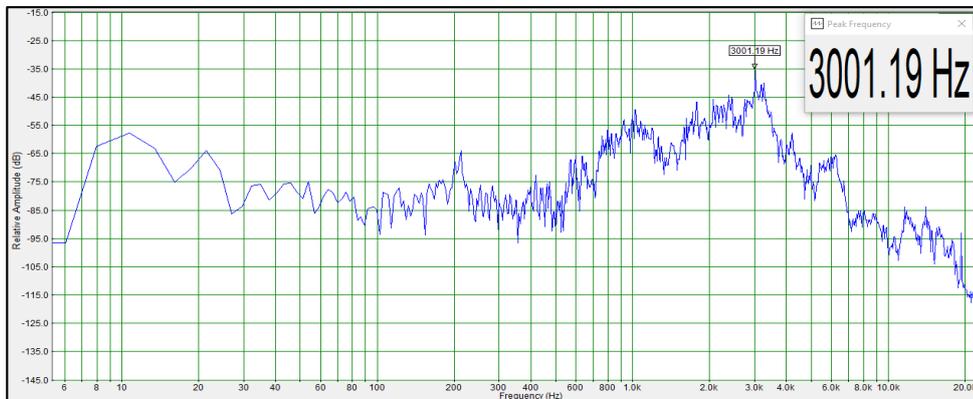


Gambar 10. *Peak Frequency : 2005,28 Hz*

B. Peak frequency file mp3 : 2972,66 Hz

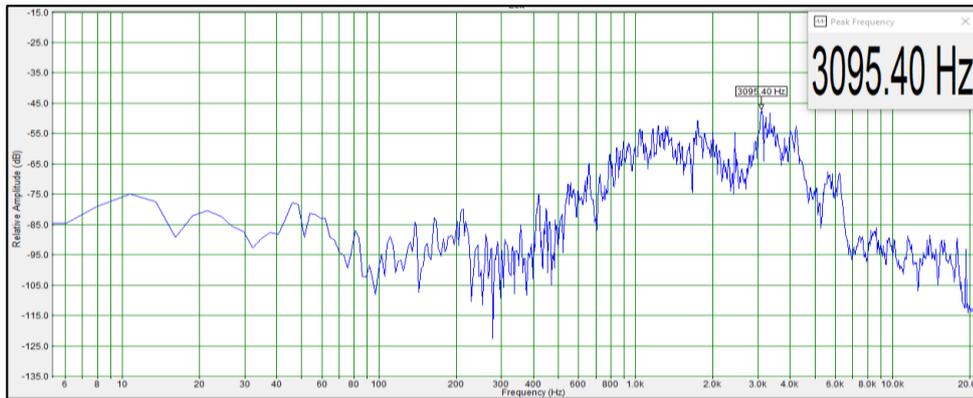
Spektrum bunyi keluaran diukur pada:

1. Jarak 50 cm



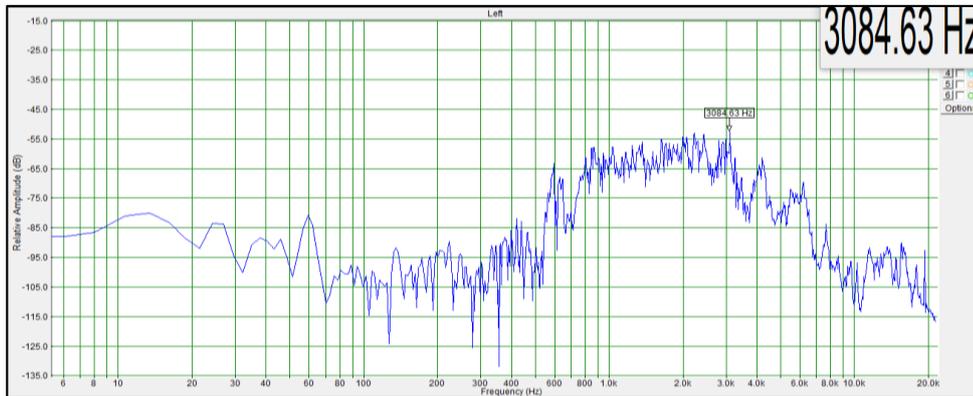
Gambar 11. Peak Frequency : 3001,19 Hz

2. Jarak 100 cm



Gambar 12. Peak Frequency : 3095,40 Hz

3. Jarak 150 cm

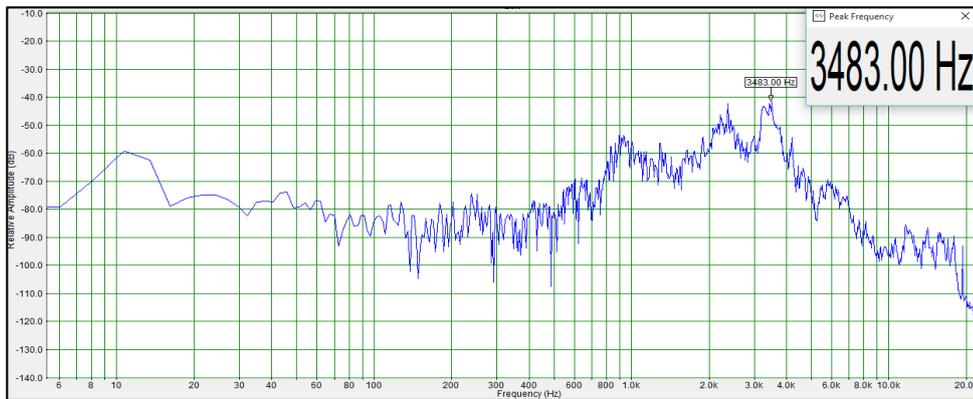


Gambar 13. Peak Frequency : 3084,63 Hz

C. Peak frequency file mp3 : 3483,00 Hz

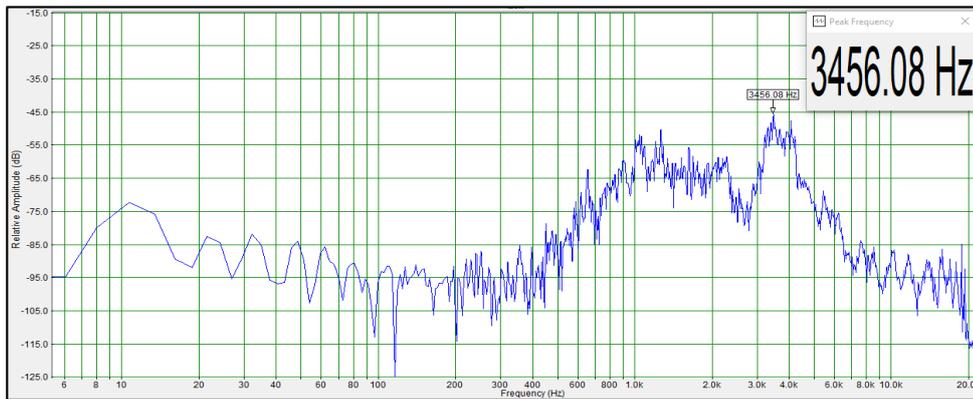
Spektrum bunyi keluaran diukur pada:

1. Jarak 50 cm



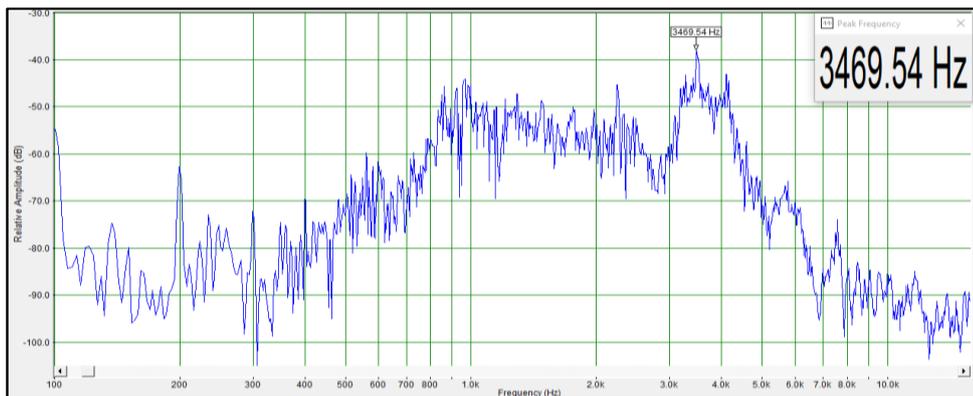
Gambar 14. Peak Frequency : 3483,00 Hz

2. Jarak 100 cm



Gambar 15. Peak Frequency : 3456,08 Hz

3. Jarak 150 cm

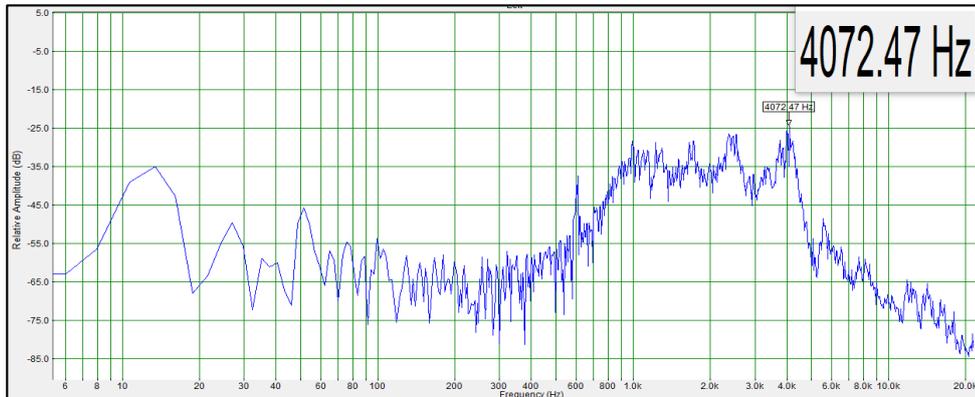


Gambar 16. Peak Frequency : 3469,54 Hz

D. Peak frequency file mp3 : 3946,29 Hz

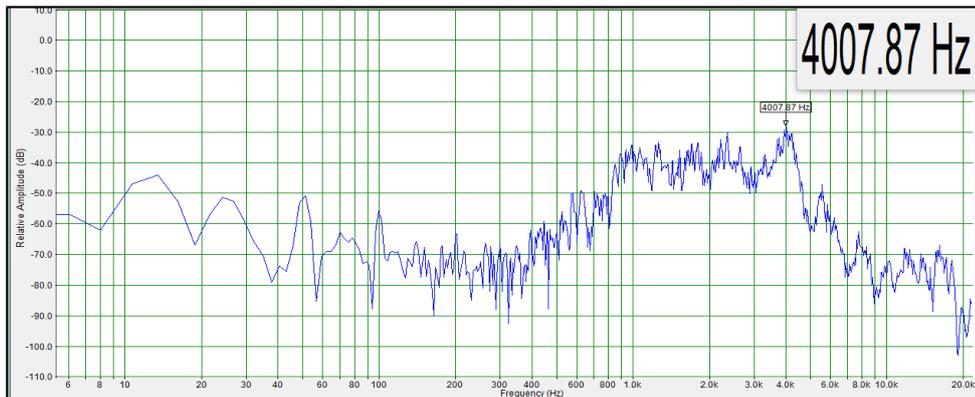
Spektrum bunyi keluaran diukur pada :

1. Jarak 50 cm



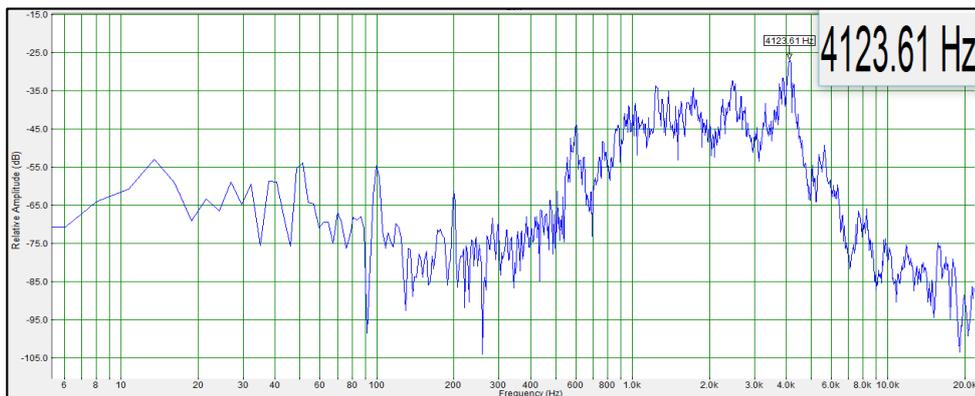
Gambar 17. Peak Frequency : 4072,47 Hz

2. Jarak 100 cm



Gambar 18. Peak Frequency : 4007,87 Hz

3. Jarak 150 cm

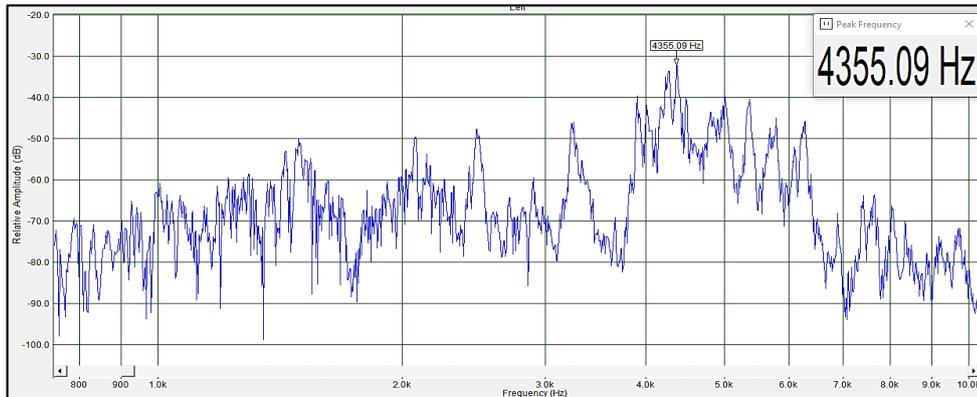


Gambar 19. Peak Frequency : 4123,61 Hz

E. Peak frequency file mp3 : 4438,48 Hz

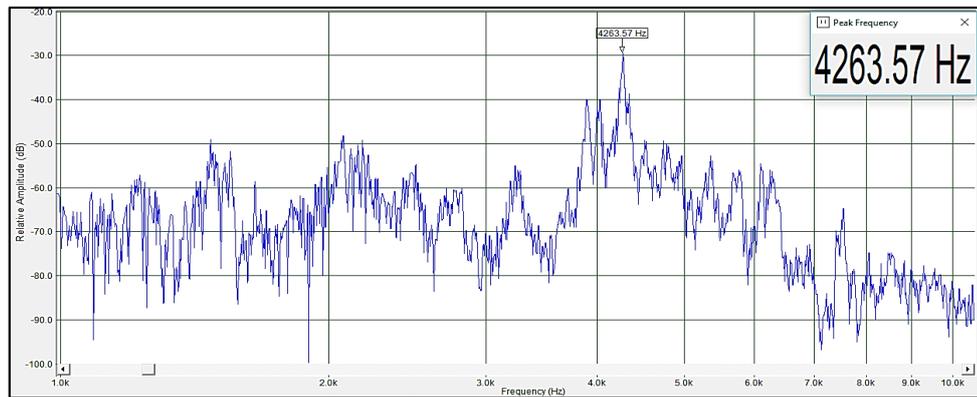
Spektrum bunyi keluaran diukur pada jarak:

1. Jarak 50 cm



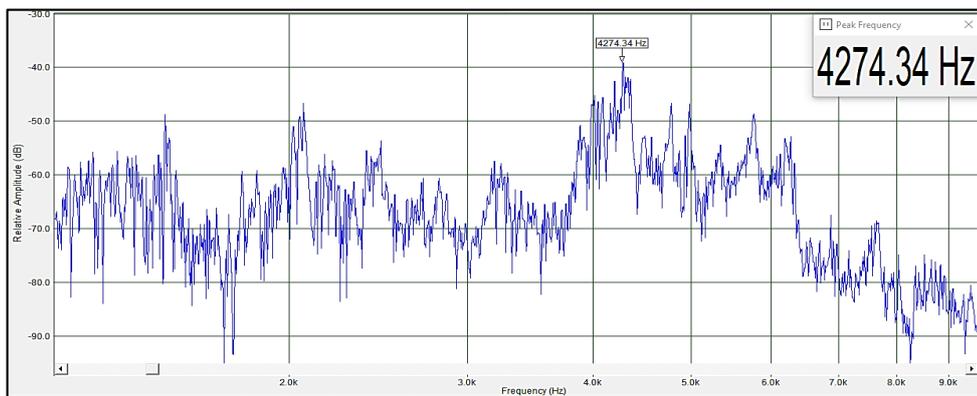
Gambar 20. Peak Frequency : 4355,09 Hz

2. Jarak 100 cm



Gambar 21. Peak Frequency : 4263,57 Hz

3. Jarak 150 cm

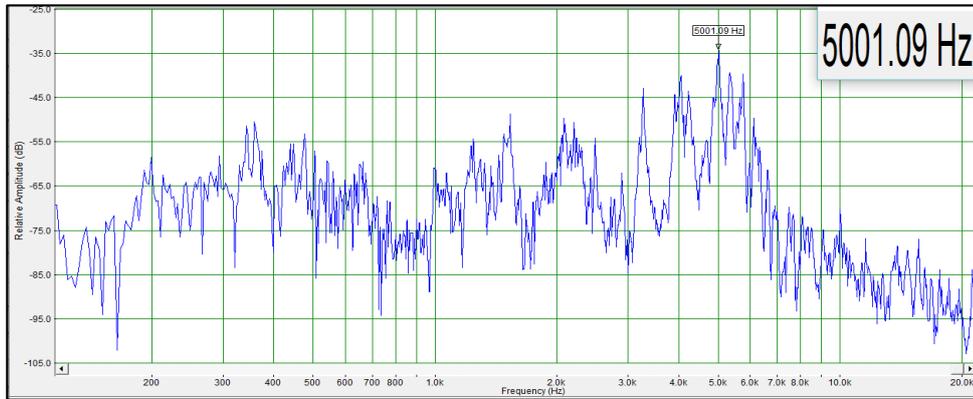


Gambar 22. Peak Frequency : 4274,34 Hz

F. Peak frequency file mp3 : 5036.13 Hz

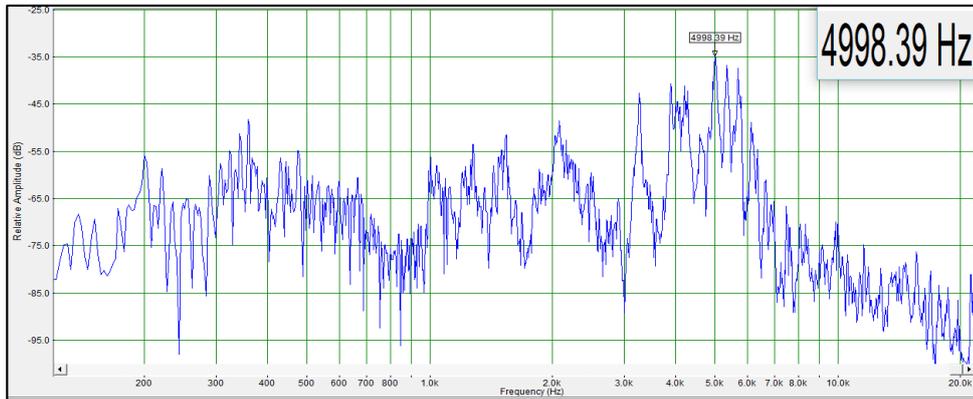
Spektrum bunyi keluaran diukur pada jarak:

1. Jarak 50 cm



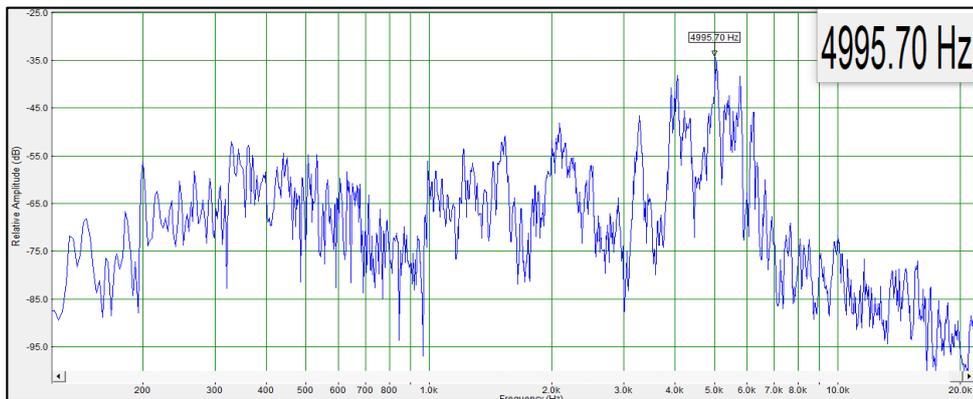
Gambar 23. Peak Frequency : 5001.09 Hz

2. Jarak 100 cm



Gambar 24. Peak Frequency : 4998.39 Hz

3. Jarak 150 cm

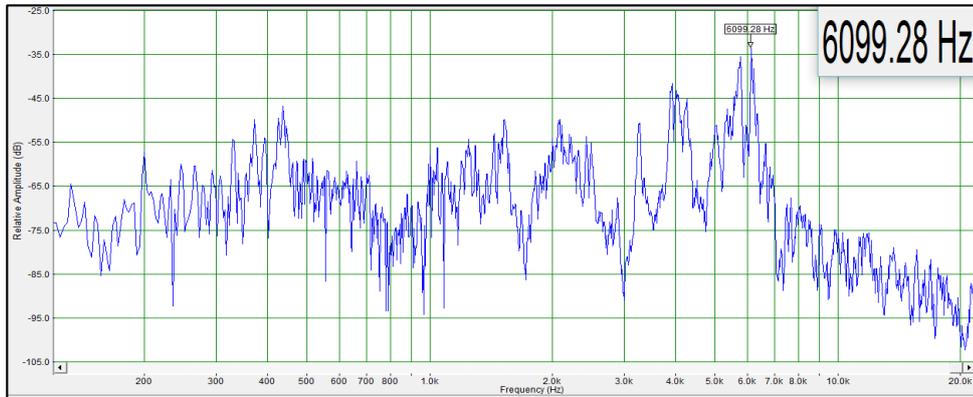


Gambar 25. Peak Frequency : 4995.70 Hz

G. Peak frequency file mp3 : 5988.28 Hz

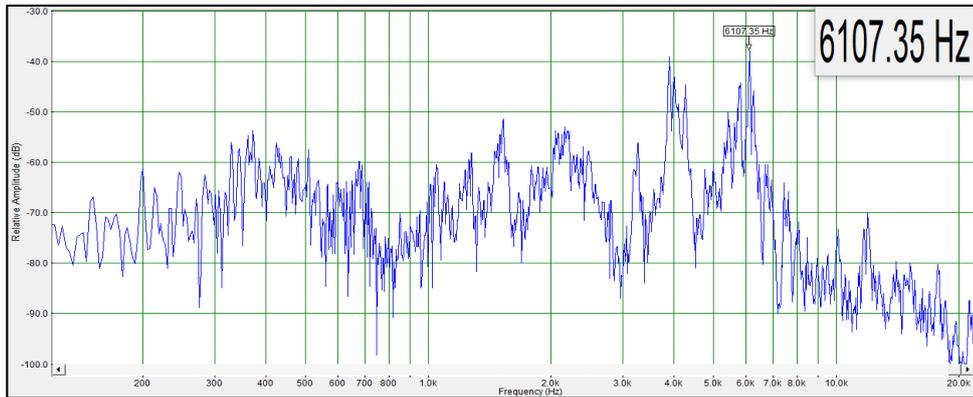
Spektrum bunyi keluaran diukur pada jarak:

1. Jarak 50 cm



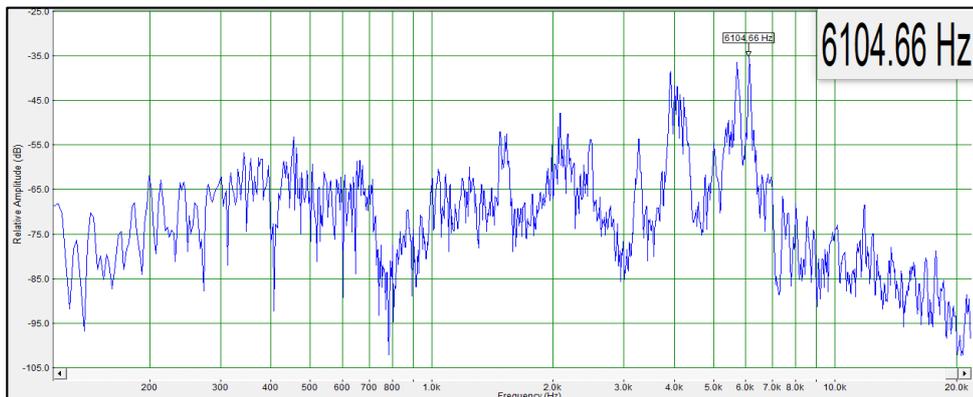
Gambar 26. Peak Frequency : 6099.28 Hz

2. Jarak 100 cm



Gambar 27. Peak Frequency : 6107.35 Hz

3. Jarak 150 cm



Gambar 28. Peak Frequency : 6104.66 Hz

LAMPIRAN 3

Tabel 1. Data Pengosongan pada Mode On

1						
Waktu (menit)	Tegangan* (V)	DC Multimeter Display				Intensitas bunyi (dB)
		Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energi (Wh)	
0	12,32	12,34	3,06	37,8	471	100
10	12,31	12,33	3,08	38,0	474	100
20	12,28	12,30	3,14	38,6	477	100
30	12,27	12,29	3,24	39,8	480	100
40	12,26	12,28	3,28	40,3	483	100
50	12,25	12,27	3,32	40,7	486	100
60	12,24	12,26	3,50	42,9	489	100
2						
70	12,22	12,24	3,49	42,7	492	100
80	12,21	12,23	3,55	43,4	494	100
90	12,19	12,21	3,54	43,2	496	100
100	12,18	12,20	3,40	41,5	498	100
110	12,17	12,19	3,43	41,8	501	100
120	12,16	12,17	3,48	42,4	503	100
3						
130	12,15	12,16	3,59	43,7	506	100
140	12,14	12,15	3,62	44,0	508	100
150	12,12	12,14	3,42	41,5	510	100
160	12,10	12,11	3,38	40,9	512	100
170	12,08	12,10	3,31	40,1	514	100
180	12,06	12,08	3,32	40,1	515	100
4						
190	12,05	12,06	3,36	40,5	517	100
200	12,04	12,06	3,33	40,2	519	100
210	12,02	12,04	3,37	40,6	521	100
220	12,01	12,03	3,40	40,9	523	100
230	11,99	12,01	3,44	41,3	526	100
240	11,98	12,00	3,42	41,0	528	99

5						
Waktu (menit)	Tegangan* (V)	DC Multimeter Display				Intensitas bunyi (dB)
		Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energi (Wh)	
250	11,97	11,99	3,35	40,2	530	99
260	11,95	11,97	3,31	39,6	532	99
270	11,94	11,96	3,16	37,8	534	99
280	11,93	11,95	3,08	36,8	536	99
290	11,92	11,94	3,24	38,7	538	99
300	11,90	11,92	3,27	39,0	540	99
6						
310	11,89	11,91	3,24	38,6	542	99
320	11,88	11,89	3,10	36,9	545	99
330	11,86	11,88	3,33	39,6	547	99
340	11,85	11,86	3,31	39,3	549	99
350	11,83	11,84	3,21	38,0	552	99
360	11,81	11,83	3,31	39,2	554	99
7						
370	11,78	11,79	3,38	39,9	556	99
380	11,75	11,77	3,32	39,1	558	99
390	11,73	11,75	3,22	37,8	561	99
400	11,71	11,73	3,33	39,1	563	99
410	11,69	11,71	3,51	41,1	565	99
420	11,67	11,69	3,62	42,3	567	99
8						
430	11,65	11,67	3,26	38,0	569	99
440	11,63	11,65	3,38	39,4	571	99
450	11,60	11,62	3,54	41,1	574	99
460	11,58	11,60	3,40	39,4	576	98
470	11,57	11,59	3,43	39,8	578	98
480	11,54	11,56	3,48	40,2	581	98

9						
Waktu (menit)	Tegangan* (V)	DC Multimeter Display				Intensitas bunyi (dB)
		Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energi (Wh)	
490	11,52	11,55	3,70	42,7	584	98
500	11,51	11,52	3,69	42,5	586	98
510	11,48	11,49	3,31	38,0	588	98
520	11,47	11,48	3,44	39,5	591	98
530	11,44	11,46	3,42	39,2	594	98
540	11,42	11,44	3,45	39,5	597	98
10						
550	11,40	11,42	3,41	38,9	600	98
560	11,38	11,39	3,40	38,7	603	98
570	11,35	11,36	3,36	38,2	606	97
580	11,33	11,34	3,38	38,3	609	97
590	11,30	11,32	3,45	39,1	612	97
600	11,28	11,30	3,39	38,3	615	97
11						
610	11,26	11,28	3,43	38,7	618	97
620	11,23	11,26	3,36	37,8	621	97
630	11,21	11,23	3,40	38,2	624	97
640	11,18	11,21	3,38	37,9	627	97
650	11,16	11,19	3,39	37,9	630	97
660	11,13	11,16	3,41	38,1	634	97
12						
670	11,11	11,13	3,45	38,4	638	97
680	11,07	11,10	3,42	38,0	642	97
690	11,04	11,07	3,37	37,3	645	97
700	11,00	11,02	3,34	36,8	649	97
710	10,96	10,98	3,38	37,1	653	96
720	10,91	10,91	3,36	36,7	657	96

13						
Waktu (menit)	Tegangan* (V)	DC Multimeter Display				Intensitas bunyi (dB)
		Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energi (Wh)	
730	10,85	10,86	3,41	37,0	661	96
740	10,79	10,80	3,33	36,0	664	96
750	10,70	10,67	3,68	39,3	674	96
760	10,11	10,26	3,51	36,0	679	96
770	9,48	9,56	3,64	34,8	685	95
780	8,47	8,40	3,07	25,8	690	94
14						
790	7,35	7,49	2,68	20,1	693	93
800	7,10	6,91	2,73	18,9	696	93
810	7,05	7,11	1,30	9,24	698	87
820	6,80	6,86	1,25	8,58	699	86
830	6,58	6,76	1,04	7,03	700	86
840	6,42	6,44	0,98	6,31	701	85
15						
850	6,28	6,29	0,87	5,47	702	79
860	6,18	6,18	0,81	5,01	703	72
870	6,10	6,18	0,75	4,64	704	64
880	6,06	6,22	0,61	3,79	705	54
890	6,02	6,27	0,56	3,51	705	*no sound
900	5,93	6,40	0,58	3,71	706	*no sound
910	5,82	6,56	0,51	3,35	706	*no sound
920	5,75	6,68	0,47	3,14	707	*no sound
930	5,98	6,27	0,40	2,51	707	*no sound

LAMPIRAN 4

Tabel 2. Data Pengosongan pada Mode *Standby*

1						
Waktu (menit)	Tegangan* (V)	Ammeter-Voltmeter Display				Intensitas bunyi (dB)
		Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energi (Wh)	
0	12,33	12,35	3,25	40,1	709	87
10	12,31	12,33	3,22	39,7	716	87
20	12,31	12,33	3,28	40,4	722	87
30	12,31	12,32	3,38	41,6	729	86
40	12,29	12,31	3,35	41,2	736	86
50	12,28	12,30	3,31	40,7	742	86
60	12,27	12,29	3,26	40,1	749	86
70	12,26	12,28	3,21	39,4	756	86
80	12,25	12,27	3,21	39,4	762	86
90	12,24	12,26	3,28	40,2	769	85
100	12,22	12,24	3,21	39,3	776	85
110	12,21	12,23	3,33	40,7	783	85
120	12,19	12,21	3,47	42,4	789	85
130	12,18	12,20	3,21	39,2	796	85
140	12,17	12,19	3,27	39,9	803	85
150	12,16	12,17	3,29	40,0	810	85
Selisih tegangan baterai		:	0,17 V	≈	0,07 V	per jam
Selisih tegangan pada display		:	0,18 V	≈	0,07 V	per jam
Selisih energi pada display		:	101 Wh	≈	40 Wh	per jam
Rata-rata arus		:				3,28 A
Rata-rata daya		:				40,3 W

Waktu (menit)	Tegangan* (V)	Ammeter-Voltmeter Display				Intensitas bunyi (dB)
		Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energi (Wh)	
0	12,18	12,18	3,26	39,7	811	87
10	12,15	12,16	3,32	40,4	815	87
20	12,14	12,15	3,31	40,2	822	87
30	12,12	12,14	3,31	40,2	828	86
40	12,11	12,12	3,18	38,5	835	86
50	12,10	12,11	3,33	40,3	841	86
60	12,08	12,10	3,39	41,0	849	86
70	12,06	12,08	3,34	40,3	855	86
80	12,05	12,06	3,38	40,8	861	86
90	12,04	12,06	3,17	38,2	867	85
100	12,02	12,04	3,16	38,0	873	85
110	12,01	12,03	3,17	38,1	880	85
120	11,99	12,01	3,16	38,0	888	85
130	11,98	12,00	3,17	38,0	893	85
140	11,97	11,99	3,09	37,0	899	85
150	11,95	11,97	3,24	38,8	906	85
Selisih tegangan baterai		:	0,23 V	≈	0,09 V	per jam
Selisih tegangan pada display		:	0,21 V	≈	0,08 V	per jam
Selisih energi pada display		:	95 Wh	≈	38 Wh	per jam
Rata-rata arus		:				3,25 A
Rata-rata daya		:				39,2 W

3						
Waktu (menit)	Tegangan* (V)	Ammeter-Voltmeter Display				Intensitas bunyi (dB)
		Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energi (Wh)	
0	12,02	12,05	0,82	9,9	906	Stand by
10	12,03	12,06	0,81	9,8	908	Stand by
20	12,02	12,05	0,82	9,9	910	Stand by
30	12,02	12,05	0,82	9,9	912	Stand by
40	12,02	12,05	0,81	9,8	914	Stand by
50	12,01	12,04	0,82	9,9	915	Stand by
60	12,01	12,04	0,82	9,9	916	Stand by
Selisih tegangan baterai		:		≈	0,01 V	per jam
Selisih tegangan pada display		:		≈	0,01 V	per jam
Selisih energi pada display		:		≈	10 Wh	per jam
Rata-rata arus		:			0,82 A	
Rata-rata daya		:			9,8 W	
4						
Waktu (menit)	Tegangan* (V)	Ammeter-Voltmeter Display				Intensitas bunyi (dB)
		Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energi (Wh)	
90	12,00	12,03	0,81	9,7	921	Stand by
120	11,98	12,01	0,81	9,7	926	Stand by
150	11,97	12,00	0,81	9,7	931	Stand by
180	11,96	11,99	0,81	9,7	937	Stand by
210	11,95	11,98	0,81	9,7	941	Stand by
Selisih tegangan baterai		:	0,06	≈	0,02 V	per jam
Selisih tegangan pada display		:	0,06	≈	0,02 V	per jam
Selisih energi pada display		:	25	≈	10 Wh	per jam
Rata-rata arus		:			0,81 A	
Rata-rata daya		:			9,7 W	

5						
Waktu (menit)	Tegangan* (V)	Ammeter-Voltmeter Display				Intensitas bunyi (dB)
		Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energi (Wh)	
270	11,92	11,96	0,81	9,7	950	Stand by
330	11,89	11,94	0,81	9,7	960	Stand by
390	11,87	11,91	0,81	9,6	970	Stand by
450	11,85	11,89	0,81	9,6	980	Stand by
510	11,82	11,87	0,81	9,6	989	Stand by
Selisih tegangan baterai		:	0,13	≈	0,03 V	per jam
Selisih tegangan pada display		:	0,11	≈	0,02 V	per jam
Selisih energi pada display		:	48	≈	10 Wh	per jam
Rata-rata arus		:				0,81 A
Rata-rata daya		:				9,7 W
6						
Waktu (menit)	Tegangan* (V)	Ammeter-Voltmeter Display				Intensitas bunyi (dB)
		Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energi (Wh)	
1050	11,60	11,64	0,81	9,4	1074	Stand by
Selisih tegangan baterai		:	0,22	≈	0,03 V	per jam
Selisih tegangan pada display		:	0,23	≈	0,02 V	per jam
Selisih energi pada display		:	85	≈	9 Wh	per jam
Rata-rata arus		:				0,81 A
Rata-rata daya		:				9,4 W

Waktu (menit)	Tegangan* (V)	Ammeter-Voltmeter Display				Intensitas bunyi (dB)
		Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energi (Wh)	
0	11,52	11,55	3,25	37,5	1074	87
10	11,50	11,53	3,31	38,2	1079	87
20	11,48	11,51	3,17	36,5	1086	87
30	11,46	11,49	3,19	36,7	1092	86
40	11,44	11,48	3,04	34,9	1098	86
50	11,42	11,45	3,16	36,2	1104	86
60	11,40	11,43	3,19	36,5	1110	86
70	11,38	11,41	3,11	35,5	1115	86
80	11,36	11,38	3,04	34,6	1122	86
90	11,34	11,37	3,09	35,1	1127	85
100	11,32	11,34	3,00	34,0	1133	86
110	11,30	11,32	3,14	35,5	1139	85
120	11,28	11,29	3,17	35,8	1144	85
130	11,24	11,26	3,11	35,0	1151	85
140	11,22	11,24	3,14	35,3	1156	85
150	11,19	11,21	3,02	33,9	1162	85
160	11,16	11,18	3,11	34,8	1166	85
170	11,13	11,15	3,09	34,5	1173	85
180	11,09	11,11	3,07	34,1	1178	85
Selisih tegangan baterai		:	0,43 V	≈	0,14 V	per jam
Selisih tegangan pada display		:	0,44 V	≈	0,15 V	per jam
Selisih energi pada display		:	104 Wh	≈	35 Wh	per jam
Rata-rata arus		:				3,13 A
Rata-rata daya		:				35,5 W

8						
Waktu (menit)	Tegangan* (V)	Ammeter-Voltmeter Display				Intensitas bunyi (dB)
		Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energi (Wh)	
0	11,09	11,11	3,16	35,1	1184	85
10	11,03	11,04	3,20	35,3	1190	85
20	10,98	11,00	3,11	34,2	1195	85
30	10,93	10,94	3,12	34,1	1200	85
40	10,87	10,88	3,04	33,1	1206	85
50	10,81	10,81	3,14	33,9	1212	85
60	10,73	10,73	3,12	33,5	1217	85
70	10,60	10,61	3,10	32,9	1223	84
80	10,47	10,48	3,06	32,1	1228	84
90	10,30	10,30	3,02	31,1	1233	84
100	10,16	10,15	2,98	30,3	1238	84
110	10,01	10,00	2,94	29,4	1243	84
120	9,86	9,84	2,90	28,5	1248	84
130	9,52	9,45	2,82	26,6	1250	84
140	9,16	9,14	2,73	25,0	1252	84
150	8,47	8,38	2,64	22,1	1254	84
Selisih tegangan baterai		:	2,62 V	≈	1,05 V	per jam
Selisih tegangan pada display		:	2,73 V	≈	1,09 V	per jam
Selisih energi pada display		:	70 Wh	≈	28 Wh	per jam
Rata-rata arus		:				3,01 A
Rata-rata daya		:				31,1 W

Waktu (menit)	Tegangan* (V)	Ammeter-Voltmeter Display				Intensitas bunyi (dB)
		Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Energi (Wh)	
0	7,61	7,70	2,54	19,6	1260	83
10	6,70	6,70	2,00	13,4	1262	83
20	6,50	6,52	1,50	9,8	1263	83
30	6,45	6,39	0,98	6,3	1263	83
40	6,26	6,24	1,00	6,2	1264	77
50	6,17	6,15	0,91	5,6	1264	71
60	6,13	6,12	0,84	5,1	1265	69
70	6,04	6,19	0,81	5,0	1265	61
80	6,02	6,21	0,75	4,7	1266	60
90	6,02	6,20	0,71	4,4	1266	59
100	6,02	6,21	0,63	3,9	1266	53
110	6,02	6,21	0,63	3,9	1266	45
120	6,00	6,25	0,65	4,1	1267	*no sound
130	5,98	6,28	0,64	4,0	1267	*no sound
140	5,93	6,35	0,61	3,9	1267	*no sound
150	5,88	6,42	0,57	3,7	1268	*no sound
160	5,83	6,49	0,53	3,4	1268	*no sound
170	5,81	6,55	0,53	3,5	1268	*no sound
180	5,75	6,66	0,49	3,3	1268	*no sound
Selisih tegangan baterai		:	1,86 V	≈	0,62 V	per jam
Selisih tegangan pada display		:	1,04 V	≈	0,35 V	per jam
Selisih energi pada display		:	8 Wh	≈	3 Wh	per jam
Rata-rata arus		:				0,91 A
Rata-rata daya		:				6,0 W

LAMPIRAN 5

Tabel 3. Data Karakterisasi MPPT tanpa Beban Baterai

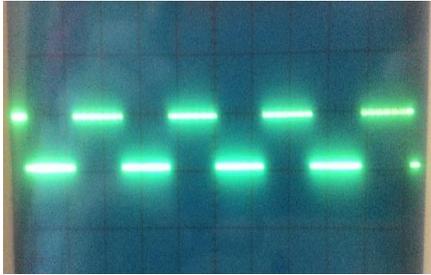
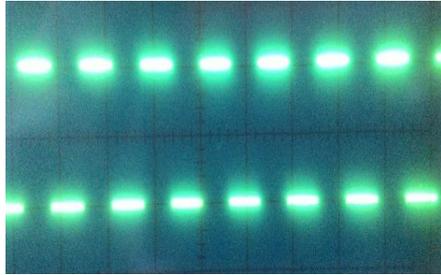
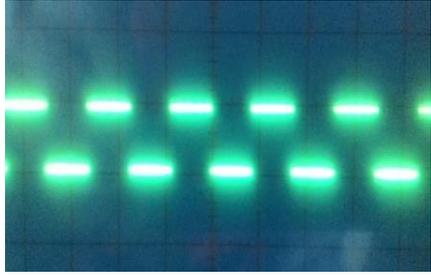
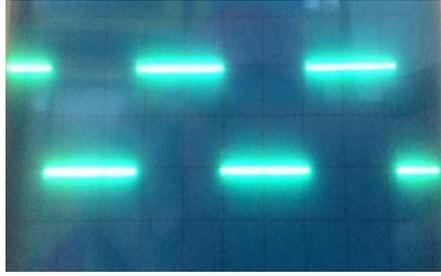
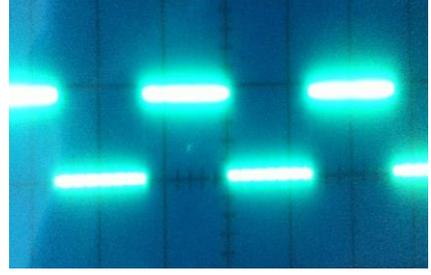
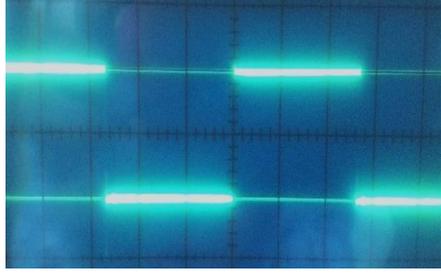
Tegangan input (volt)	Tegangan output (volt)	Indikator :LED
3,00	0,0001	Mati
4,00	0,0001	Mati
5,00	0,0001	Mati
6,00	0,0001	Menyala-merah redup
7,00	0,0003	Menyala-merah redup
8,00	0,0003	Menyala-merah redup
9,00	0,0004	Menyala-merah
10,00	0,0004	Menyala-merah
11,00	0,0004	Menyala-merah
12,00	0,0005	Menyala-merah
12,50	0,0005	Menyala-merah
12,60	0,0005	Menyala-merah
12,70	0,0004	Menyala-merah
12,80	0,0006	Menyala-merah terang
12,94	0,0007	Menyala-merah terang
12,97	12,69	Mati
13,00	12,71	Mati
13,06	12,78	Mati
13,10	12,83	Mati
13,14	12,87	Mati
13,18	12,96	Mati
13,20	12,98	Mati

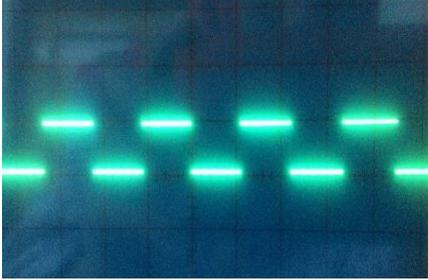
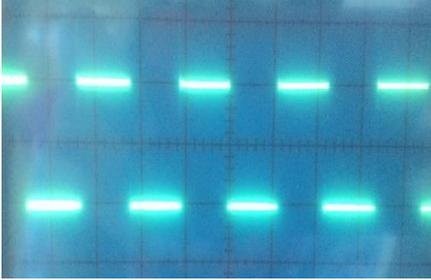
Tegangan input (volt)	Tegangan output (volt)	Indikator :LED
13,24	12,98	Mati
13,30	13,00	Menyala-merah redup
13,40	13,24	Menyala-merah redup
13,50	13,30	Menyala-merah terang
13,60	13,34	Menyala-biru-merah muda
14,00	13,53	Menyala-biru-merah muda
14,50	13,48	Menyala-biru-merah muda
15,00	13,66	Menyala-biru-merah muda
15,50	13,65	Menyala-biru-merah muda
16,00	13,66	Menyala-biru-merah muda
16,50	13,65	Menyala-biru-merah muda
17,00	13,67	Menyala-biru-merah muda
17,50	13,66	Menyala-biru-merah muda
18,00	13,66	Menyala-biru-merah muda
18,50	13,67	Menyala-biru-merah muda
19,00	13,67	Menyala-biru-merah muda
19,50	13,67	Menyala-biru-merah muda
20,00	13,67	Menyala-biru-merah muda
20,50	13,68	Menyala-biru-merah muda
21,00	13,68	Menyala-biru-merah muda
21,50	13,69	Menyala-biru-merah muda
22,00	13,70	Menyala-biru-merah muda
22,50	13,73	Menyala-biru-merah muda

**Pengaturan regulator charging pada tegangan 13 V.*

LAMPIRAN 6

Tabel 4. Data Input dan Output Amplifier PAM8610 pada Tampilan CRO

No	Channel Input Amplifier (AFG)	Channel Output Amplifier (R/L)
1.	 <p style="text-align: center;">Gambar 29. Frekuensi 2000 Hz Volt/div: 5V; Time/div: 0.1 ms Tegangan input: 5V</p>	 <p style="text-align: center;">Gambar 30. Frekuensi 2000 Hz Volt/div: 5V; Time/div: 0.1 ms Tegangan output: 10V</p>
2.	 <p style="text-align: center;">Gambar 31. Frekuensi 3000 Hz Volt/div: 5V; Time/div: 50 μs Tegangan input: 5V</p>	 <p style="text-align: center;">Gambar 32. Frekuensi 3000 Hz Volt/div: 5V; Time/div: 20 μs Tegangan output: 10V</p>
3.	 <p style="text-align: center;">Gambar 33. Frekuensi 4500 Hz Volt/div: 5V; Time/div: 20 μs Tegangan input: 5V</p>	 <p style="text-align: center;">Gambar 34. Frekuensi 4500 Hz Volt/div: 5V; Time/div: 10 μs Tegangan output: 10V</p>

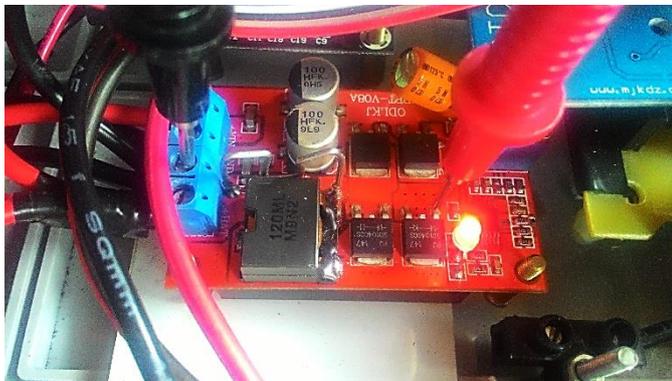
No	Channel Input Amplifier (AFG)	Channel Output Amplifier (R/L)
4.	 <p data-bbox="419 607 825 768">Gambar 35. Frekuensi 6000 Hz Volt/div: 5V; Time/div: 20 μs Tegangan input: 5V</p>	 <p data-bbox="911 607 1316 768">Gambar 36. Frekuensi 6000 Hz Volt/div: 5V; Time/div: 20 μs Tegangan output: 10V</p>

LAMPIRAN 7

Dokumentasi Penelitian



Gambar 37. Rangkaian pada Mikrokontroler



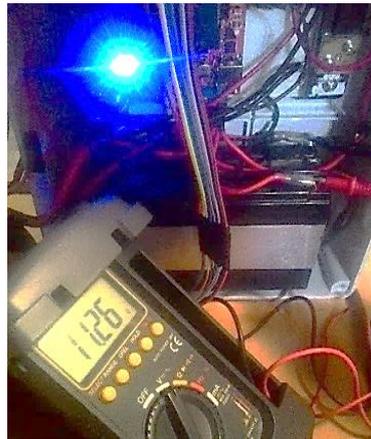
Gambar 38. Pengecekan Komponen MPPT



Gambar 39. Karakterisasi MPPT



Gambar 40. Persiapan Uji Pengisian Baterai ABH



Gambar 41. Pengukuran Tegangan pada Pengosongan Baterai



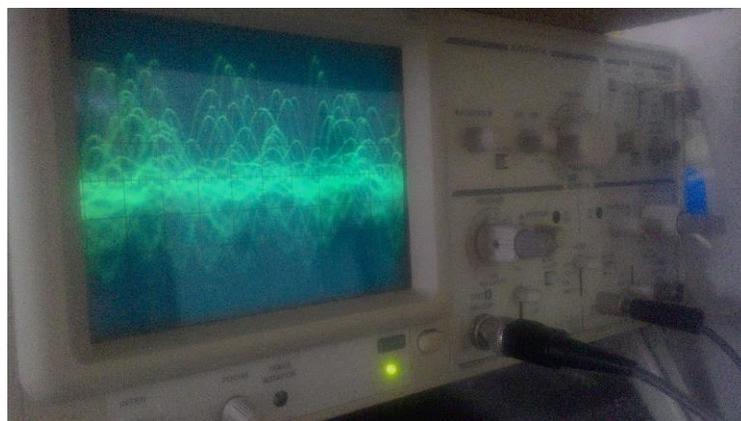
Gambar 42. Pemasangan LCD dan Multimeter Display



Gambar 43. Tampilan LCD dan Multimeter Display



Gambar 44. Sound Level Meter



Gambar 45. Gelombang Harmonik pada Tampilan CRO