



# INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG

## PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

JALAN GANESHA NO. 10 Gedung Labtek V Lantai 2 (022)2508135-36, (022)2500940  
BANDUNG 40132

### Dokumentasi Produk Tugas Akhir

#### Lembar Sampul Dokumen

Judul Dokumen	<b>TUGAS AKHIR TEKNIK ELEKTRO: MONITORING KONDISI INTERNAL BATANG POHON</b>		
Jenis Dokumen	<b>DESAIN SISTEM</b>		
Catatan:	Dokumen ini dikendalikan penyebarannya oleh Prodi Teknik Elektro ITB		
Nomor Dokumen	<b>B300-TA2324.02.002</b>		
Nomor Revisi	<b>04</b>		
Nama File	<b>B300-TA2324.02.002-04</b>		
Tanggal Penerbitan	<b>1 Februari 2025</b>		
Unit Penerbit	<b>Prodi Teknik Elektro - ITB</b>		
Jumlah Halaman	<b>74</b>	(termasuk lembar sampul ini)	

#### Data Pemeriksaan dan Persetujuan

Ditulis Oleh	Nama	Rani Isramiharti	Jabatan	Anggota	
	Tanggal	1 Februari 2025	Tanda Tangan		
	Name	Tifany S. Nababan	Jabatan	Anggota	
	Timestamp	1 Februari 2025	Tanda Tangan		

Disetujui Oleh	Nama Tanggal	Dr. Ir. Akhmadi Surawijaya, S.T, M.Eng. 1 Februari 2025	Jabatan Tanda Tangan	Dosen Pembimbing 
	Nama Tanggal	Indra Sihar, S.T., M.Sc., Ph.D. 1 Februari 2025	Jabatan Tanda Tangan	Dosen Pembimbing 

## DAFTAR ISI

<b>DAFTAR ISI</b>	<b>3</b>
<b>CATATAN SEJARAH PERBAIKAN DOKUMEN</b>	<b>4</b>
<b>1 PENGANTAR</b>	<b>5</b>
1.1 RINGKASAN ISI DOKUMEN	5
1.2 TUJUAN PENULISAN DAN APLIKASI/KEGUNAAN DOKUMEN	5
1.3 REFERENSI	5
1.4 DAFTAR SINGKATAN	6
<b>2 KONSEP SISTEM</b>	<b>7</b>
2.1 PILIHAN SISTEM	7
2.2 ANALISIS	24
2.2.1 <i>Metode Analisis</i>	24
2.2.2 <i>Analisis konsep</i>	25
2.3 SISTEM YANG AKAN DIKEMBANGKAN	31
<b>3 DESAIN SISTEM</b>	<b>32</b>
3.1 DEKOMPOSISI FUNGSI SISTEM	32
3.2 PEMODELAN TINGKAH LAKU SISTEM	40
3.2.1 <i>State Diagram</i>	40
3.2.2 <i>Flowchart</i>	42
3.2.3 <i>Data Flow Diagram (DFD)</i>	43
3.2.4 <i>Entity Relationship Diagram</i>	46
<b>4 PEMILIHAN KOMPONEN</b>	<b>47</b>
4.1 <i>Sensor</i>	47
4.2 Paku	48
4.3 Palu	49
4.4 <i>Mikrokontroler</i>	49
4.5 Kabel	50
4.6 Baterai	50
4.7 <i>Step Up Converter</i>	51
4.8 Modul Charger Baterai	52
4.9 Software Development Kit Aplikasi Perhitungan Kecepatan	53
<b>5 JADWAL PENERJAAN</b>	<b>53</b>
<b>6 Lampiran</b>	<b>57</b>

## Catatan Sejarah Perbaikan Dokumen

VERSI, TGL, OLEH	PERBAIKAN
004, 27 Januari 2025, Tifany, Rani, Bayu, Faris.	Revisi blok alternatif sistem sistem 1, revisi DFD dan flowchart, revisi tata tulis.
003, 29 Desember 2024, Tifany, Rani, Bayu, Faris.	Revisi diagram sistem, revisi DFD, dan revisi pemilihan komponen.
002, 28 Juni 2024, Tifany, Rani.	Menambahkan Link Video Prototype UI dan Hasil Pengujian Awal di bagian Lampiran. Merevisi pemilihan komponen.
001, 25 April 2024, Rany, Tifany, Faris Bayu.	Dokumen dibuat.

# 1 Pengantar

## 1.1 Ringkasan Isi Dokumen

Dokumen ini berisi alternatif-alternatif konsep sistem yang dikembangkan dari solusi pilihan. Terdapat lima alternatif konsep sistem yang telah ditentukan dan akan dianalisis berdasarkan aspek-aspek analisis kualitas. Setelah analisis dilakukan, pemberian nilai masing-masing kriteria bagi alternatif dilakukan berdasarkan bobotnya. Pemilihan solusi terbaik menggunakan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) kemudian dilakukan dengan melihat nilai terbesar. Dekomposisi sistem dan analisis pemodelan tingkah laku kemudian dilakukan untuk menggambarkan interaksi dan fungsi sistem. Selanjutnya, dilakukan pemilihan komponen berdasarkan kebutuhan sistem. Di akhir dokumen, *Gantt Chart* yang memberikan gambaran terkait timeline pembuatan produk diberikan untuk memfasilitasi perencanaan dan pelaksanaan penugasan secara terstruktur.

## 1.2 Tujuan Penulisan dan Aplikasi/Kegunaan Dokumen

Dokumen B300 ini dibuat dengan tujuan memberikan penjelasan terkait konsep sistem dari alternatif-alternatif pilihan yang akan dikembangkan. Selain itu dokumen juga memberikan gambaran urutan waktu penggeraan produk dari mulai penggeraan hingga produk selesai. Pembuatan dokumen ditujukan untuk dosen pembimbing tugas akhir dan tim dosen Tugas Akhir Prodi Teknik Elektro ITB sebagai bahan penilaian Tugas Akhir.

## 1.3 Referensi

- [1] L. Liu and G. Li, “*Acoustic tomography based on hybrid wave propagation model for tree decay detection*,” Computers and Electronics in Agriculture, vol. 151, pp. 276–285, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.compag.2018.06.020.
- [2] IML Instrumenta Mechanik Labor Electronic GmbH, “*PiCUS Product Range: Precise Measurement Technology for Tree Surveys and Defect Development Analyses*,” 2022.
- [3] IML Instrumenta Mechanik Labor Electronic GmbH, “*PiCUS Sonic Tomograph 3: High-Resolution Sound Measurement for the Graphic Representation of Wood Defects*”, 2022.
- [4] Myriad Electronic Solutions Inc., “*Manual for the ArborSonic 3D Acoustic Tomograph (Version 6.5)*”, ES Canada, Jun. 2020.
- [5] R. J. Ross, Ed., “*Nondestructive Evaluation of Wood*”, 2nd ed., U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Jul. 2015.
- [6] U. Dackermann, K. I. Crews, B. Kasal, J. Li, M. Riggio, F. Rinn, and T. Tannert, “*In situ assessment of structural timber using stress-wave measurements*,” Materials and Structures, vol. 47, no. 5, pp. 787–803, May 2014, doi: 10.1617/s11527-013-0095-4.
- [7] Y. Barsukov and J. Qian, “*Battery Power Management for Portable Devices*”, Norwood, MA: Artech House, 2013.

- [8] H. J. Bergveld, “*Battery Management Systems: Design by Modelling*”, Enschede, Netherlands: University of Twente, 2001.

#### **1.4 Daftar Singkatan**

SINGKATAN	ARTI
ADC	<i>Analog-to-Digital Converter</i>
RVD	<i>Relative Velocity Decrease</i>
UI	<i>User Interface</i>
AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>

## 2 Konsep Sistem

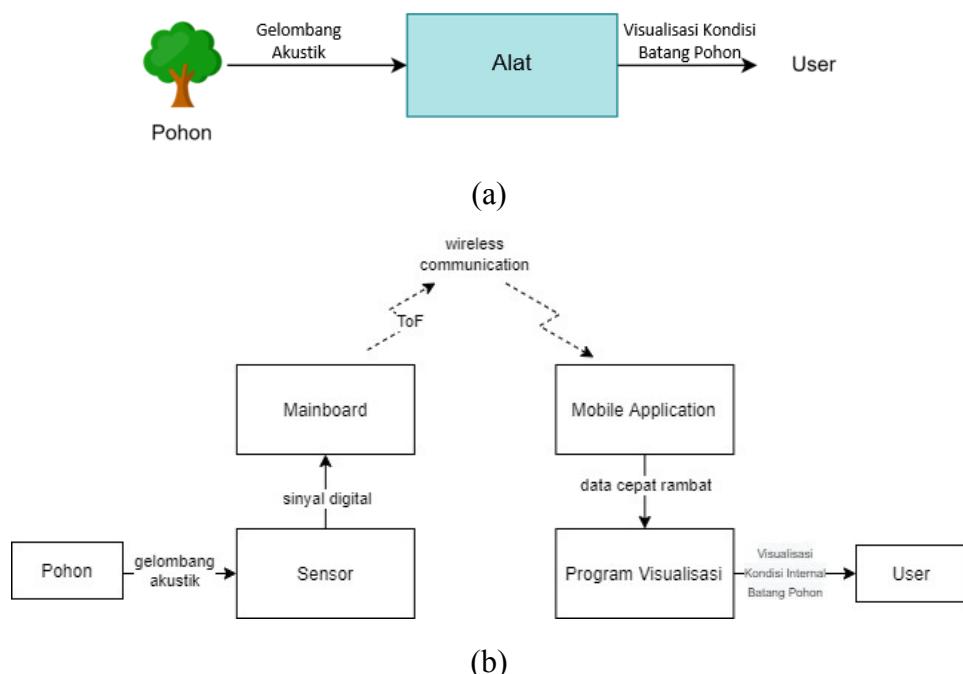
Pada Konsep Sistem ini akan dijelaskan 4 hal utama yang terkait dalam sistem yaitu arsitektur utama, modul atau sub-blok sistem beserta fungsi, interaksi dengan pengguna, dan cara kerja sistem atau algoritma utama yang digunakan. Keempat hal utama tersebut dijelaskan secara rinci dari 5 alternatif yang menjadi pilihan sistem.

### 2.1 Pilihan Sistem

Produk merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui kondisi internal batang pohon yang dilakukan dengan menggunakan prinsip kerja perambatan gelombang akustik kemudian memvisualisasikannya sebagai gambar sebaran densitas. Dalam memenuhi tujuan di atas, terdapat 5 alternatif konsep sistem yang dirancang yaitu sebagai berikut:

#### 2.1.1 Alternatif Sistem 1 : Palu

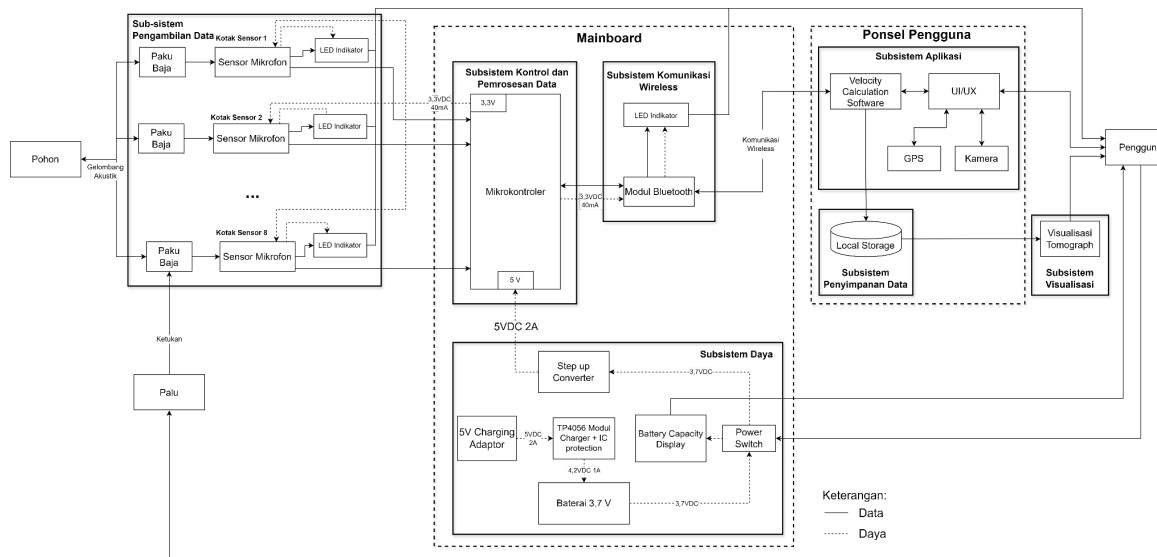
##### 2.1.1.1 Arsitektur Utama



Gambar 2.1.1.1 Arsitektur utama pada alternatif 1

Pada alternatif 1 terdapat 3 blok utama yaitu pohon, alat, dan user seperti yang ditampilkan pada gambar 2.1.1.1(a). Pada blok alat terdapat 4 blok sistem yaitu sensor, *mainboard*, *mobile application* dan program visualisasi seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.1.1.1(b). Sensor berfungsi untuk mendeteksi gelombang akustik yang merambat pada kayu kemudian mengirimkan sinyal digital ke *mainboard* sebagai tanda terdeteksinya gelombang akustik. *Mainboard* berfungsi memproses data waktu *Time-of-Flight* (ToF) berdasarkan sinyal digital yang dikirim oleh sensor kemudian mengirimkan data tersebut ke *mobile application* melalui komunikasi nirkabel. *Mobile application* berfungsi sebagai antarmuka untuk pengguna dalam memasukkan data pohon kemudian mengolah data ToF menjadi data kecepatan. Program Visualisasi berfungsi untuk mengolah data kecepatan menjadi gambar tomogram yang merepresentasikan kondisi internal batang pohon.

### 2.1.1.2 Modul Sistem



Gambar 2.1.1.2 Modul sistem pada alternatif 1

Dalam 4 blok sistem arsitektur utama, terdapat 7 sub-sistem yang memiliki modul-modul sub-sistem dengan fungsi khusus seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1.1.2 di atas. Modul sub-sistem yang terdapat pada alternatif 1 adalah sebagai berikut:

#### Blok Sensor

1. Sub-sistem Pengambilan Data
  - a. Paku Baja

Paku baja yang telah dimodifikasi dan disambungkan dengan lempengan besi berfungsi untuk menyalurkan energi gelombang akustik dari paku ke pohon saat transmisi dan dari kayu pohon ke sensor mikrofon saat menerima sinyal gelombang akustik.

- b. Sensor Mikrofon

Mendeteksi gelombang akustik yang telah merambat dari kayu pohon ke mikrofon, kemudian mengubah sinyal akustik menjadi sinyal digital lalu mengirimkannya ke mikrokontroler.

- c. Led Indikator

Memberikan indikasi suplai daya dan indikasi terdeteksinya sinyal gelombang akustik yang tertangkap oleh sensor mikrofon.

#### Blok Mainboard

2. Sub-sistem Kontrol dan Pemrosesan Data

- a. Mikrokontroler

Mendeteksi sinyal digital dari sensor mikrofon dan memproses sinyal tersebut menjadi data ToF, kemudian mengirimkan data ToF ke modul Bluetooth.

3. Sub-sistem Komunikasi Nirkabel

- a. Modul Bluetooth

Membangun jaringan komunikasi antara mikrokontroler dengan *smartphone* pengguna sebagai jalur pengiriman data ToF dan penerimaan perintah aplikasi *smartphone*.

- b. Led Indikator
  - Memberikan indikasi tersambungnya jaringan komunikasi Bluetooth antara mikrokontroler dengan *smartphone* pengguna.
- 4. Sub-sistem Daya
  - a. Baterai
    - Menyediakan suplai daya ke modul-modul yang terdapat pada sub-sistem.
  - b. Power Switch
    - Memutus dan menyambungkan aliran daya saat pengisian baterai dan memberikan *supply* daya ke setiap modul.
  - c. *Battery Capacity Display*
    - Memberikan informasi kepada pengguna terkait kapasitas energi yang tersimpan pada baterai.
  - d. Modul *Charger* dan *IC Protection*
    - Mengisi ulang baterai dan memberikan proteksi terhadap arus dan tegangan berlebih saat pengisian baterai.
  - e. *Charging Adapter*
    - Mengubah tegangan arus bolak-balik (AC) menjadi tegangan arus searah (DC) untuk mengisi daya baterai.
  - f. *Step-up Converter*
    - Menaikkan tegangan arus searah 3,7 Volt dari baterai menjadi tegangan arus searah 5 Volt untuk suplai daya ke mikrokontroler.

### **Blok Mobile Application**

- 5. Sub-sistem Aplikasi
  - a. *Velocity Calculation Software*
    - Mengolah data ToF antar sensor menjadi data cepat rambat gelombang akustik pada kayu pohon.
  - b. UI/UX
    - Menyediakan tampilan hasil pengukuran dan menerima masukan dari pengguna sebagai informasi pengukuran pada pohon.
  - c. GPS
    - Memberikan koordinat lokasi pohon yang akan diukur.
  - d. Kamera
    - Mengambil gambar dari pohon yang sedang diamati.
- 6. Sub-sistem Penyimpanan Data

a. Local Storage

Menyimpan data pengukuran dan data pohon di *smartphone* pengguna.

### Blok Program Visualisasi

7. Sub-sistem Visualisasi

a. Visualisasi Tomogram

Mengolah data cepat rambat gelombang akustik pada kayu pohon menjadi gambar tomogram 2 dimensi yang merepresentasikan kondisi internal batang pohon.

#### 2.1.1.3 Interaksi Dengan Pengguna

Berikut adalah interaksi pengguna dengan sistem pada alternatif 1:

#### Setup Alat Saat Melakukan Pengukuran

1. Masukkan ujung meteran ke paku sensor 1, lalu tancapkan sensor 1 ke pohon dengan mengetuk sensor sampai pembatas paku bersentuhan dengan kulit pohon.
2. Ukur keliling batang pohon dan ketinggian titik ukur dan biarkan meteran terpasang selama pengukuran.
3. Masukkan data geometri pohon ke aplikasi.
4. Memasang sensor ke pohon berdasarkan lokasi pemasangan sensor yang muncul di aplikasi.
5. Menghubungkan sensor ke konektor pada *mainboard* menggunakan kabel sesuai nomor.
6. Menyalakan kotak *mainboard* dan menyambungkan koneksi *wireless* antara *smartphone* dengan kotak *mainboard* dengan memilih Terawang\_v.1 di pilihan device yang tersambung.
7. Pilih nomor sensor yang akan diketuk pada aplikasi.
8. Ambil data dengan mengetuk bagian logam paku sensor yang sesuai dengan yang dipilih.
9. Tunggu setidaknya selama 3 detik, jika ketukan benar dan diterima di semua sensor penerima lainnya, teks “Data valid.” dengan warna hijau akan muncul di aplikasi dan jumlah data yang diterima juga akan bertambah. Sebaliknya, teks “Data tidak valid, ambil data lain.” dengan warna merah akan muncul dan jumlah data tidak bertambah.
10. Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, lakukan pengambilan data dengan mengetuk lebih dari satu kali.
11. Untuk menampilkan rata-rata dari hasil ketukan, tekan “Hitung rata-rata kecepatan”.
12. Simpan data pengukuran sensor terpilih dengan menekan “Simpan”. Jika ingin menghapus data, data pengukuran sensor terpilih dapat dihapus dengan menekan “Hapus Data”.
13. Ulangi pengukuran dengan memilih nomor sensor lainnya, sampai data semua sensor telah didapatkan dan disimpan.
14. Setelah semua data sensor didapatkan, simpan data pengukuran ke *smartphone* dengan menekan button “Simpan Data Pengukuran” di layer *home screen*.
15. Mengunggah data pengukuran dari *smartphone* secara manual ke program di laptop untuk mendapatkan tomogram.

16. Mematikan kotak *mainboard*, melepaskan sensor dari pohon, dan menyusun kembali alat ke koper alat.

### **Pairing dengan Bluetooth *Mainboard***

1. Nyalakan koneksi Bluetooth, cari Terawang\_v.1 di bagian “Perangkat yang Tersedia”
2. Tekan perangkat tersebut, lalu masukkan 1234 sebagai password.
3. *Mainboard* sudah ditambahkan sebagai perangkat dan bisa disambungkan.

### **Hardware-Setup Kotak *Mainboard***

Kotak *mainboard* adalah komponen utama yang dirancang untuk memproses dan mengirimkan data melalui koneksi Bluetooth, sekaligus menyediakan sistem daya. Berikut adalah spesifikasi dan panduan penggunaannya:

#### 1. Baterai

Kotak *mainboard* menggunakan baterai Li-Po isi ulang berkapasitas 3,7V. Direkomendasikan untuk memeriksa kapasitas baterai secara berkala melalui tampilan baterai yang tersedia.

#### 2. Indikator dan Switch

- *Switch On/Off*: Berfungsi untuk menghidupkan atau mematikan kotak *mainboard*.
- *Display Kapasitas Baterai*: Menunjukkan kapasitas baterai terkini untuk memudahkan pemantauan. Jika kapasitas hanya tersisa 1-2 kotak, segera isi ulang baterai menggunakan *port pengisian daya* yang tersedia.
- LED Indikator Hijau: Menyala jika Bluetooth telah berhasil tersambung.

#### 3. Port Pengisian Daya

Kotak *mainboard* dilengkapi dengan port pengisian daya *type-C* untuk memudahkan proses pengisian baterai. Pastikan pengisi daya kompatibel dan gunakan daya yang sesuai agar baterai tetap awet.

#### 4. Koneksi Bluetooth

- LED hijau akan menyala selama proses penyambungan Bluetooth. Jika baterai lemah, sambungan Bluetooth dapat terganggu, sehingga disarankan untuk selalu memastikan kapasitas baterai mencukupi.
- Perhatikan bahwa koneksi Bluetooth mengonsumsi daya lebih cepat dibandingkan sambungan kabel.

#### 5. Panduan Penggunaan

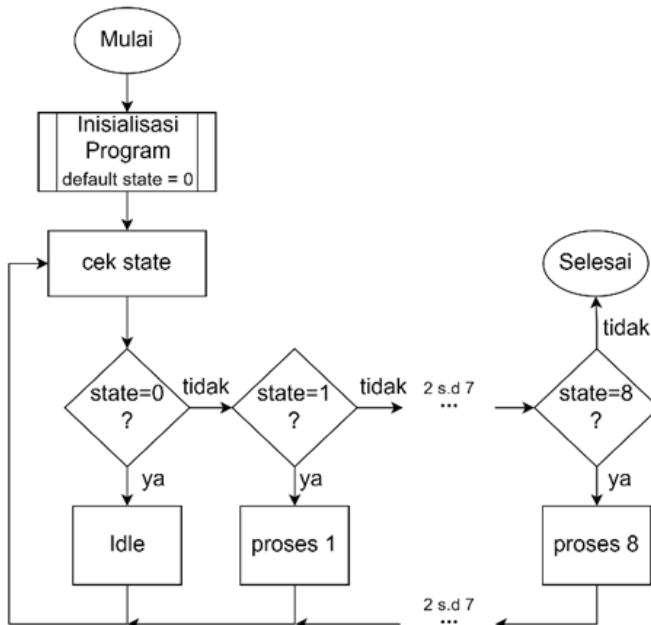
- Nyalakan kotak *mainboard* hanya saat diperlukan untuk pengukuran. Matikan perangkat jika tidak digunakan untuk menghemat daya.
- Periksa kapasitas baterai pada tampilan, dan jika berada di bawah 30% (ditandai dengan 1-2 kotak tersisa), segera isi ulang daya menggunakan adaptor 5V DC/2A *type C*.

#### 2.1.1.4 Cara Kerja Sistem

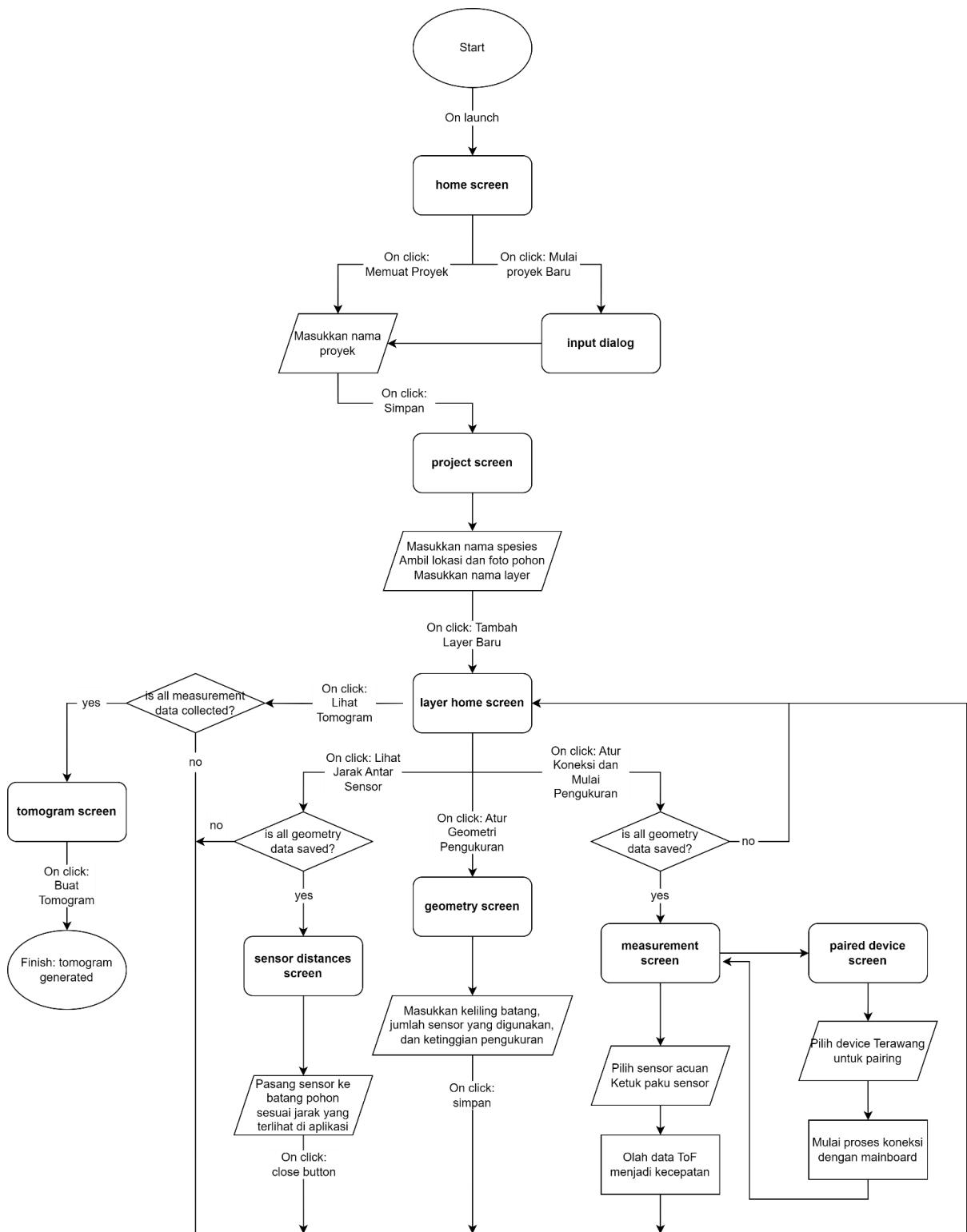
Gelombang akustik yang dihasilkan dari ketukan palu ke paku baja merambat menuju 7 paku baja lainnya. Gelombang yang merambat pada setiap paku baja dibaca oleh sensor mikrofon dengan output berupa sinyal digital. Mikrokontroler menerima sinyal digital yang kemudian diproses untuk menghitung selang waktu penerimaan masing-masing sensor terhadap sensor acuan yang diketuk. Data waktu ToF dikirim ke *smartphone* melalui modul komunikasi nirkabel.

Pada *smartphone* data ToF dan data geometri pohon diproses untuk mendapatkan data cepat rambat di masing-masing sensor. Data pengukuran kemudian dipindahkan ke laptop untuk divisualisasikan dengan cara mengubah besaran setiap variabel sebagai bobot garis pada bidang permukaan batang. Posisi garis-garis tersebut disesuaikan dengan posisi setiap sensor. Pada bidang diberikan warna berbeda berdasarkan total bobot pada area tertentu. Hasil visualisasi bidang kemudian dapat ditampilkan pada layar laptop.

Secara garis besar cara kerja sistem dibedakan menjadi 2 bagian sistem yaitu yang pertama sistem sensor/*mainboard* dan yang kedua sistem *smartphone*. Jika digambarkan melalui diagram alir dapat dilihat pada gambar 2.1.1.3 dan gambar 2.1.1.4 di bawah ini.



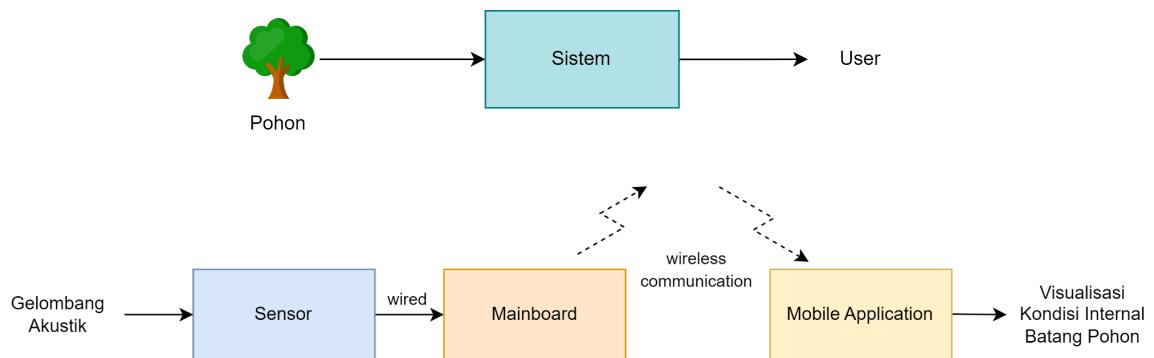
Gambar 2.1.1.3 Diagram alir cara kerja sistem sensor/*mainboard*



Gambar 2.1.1.4 Diagram alir cara kerja sistem smartphone

## 2.1.2 Alternatif Sistem 2 : 1 buah *bell ringer*

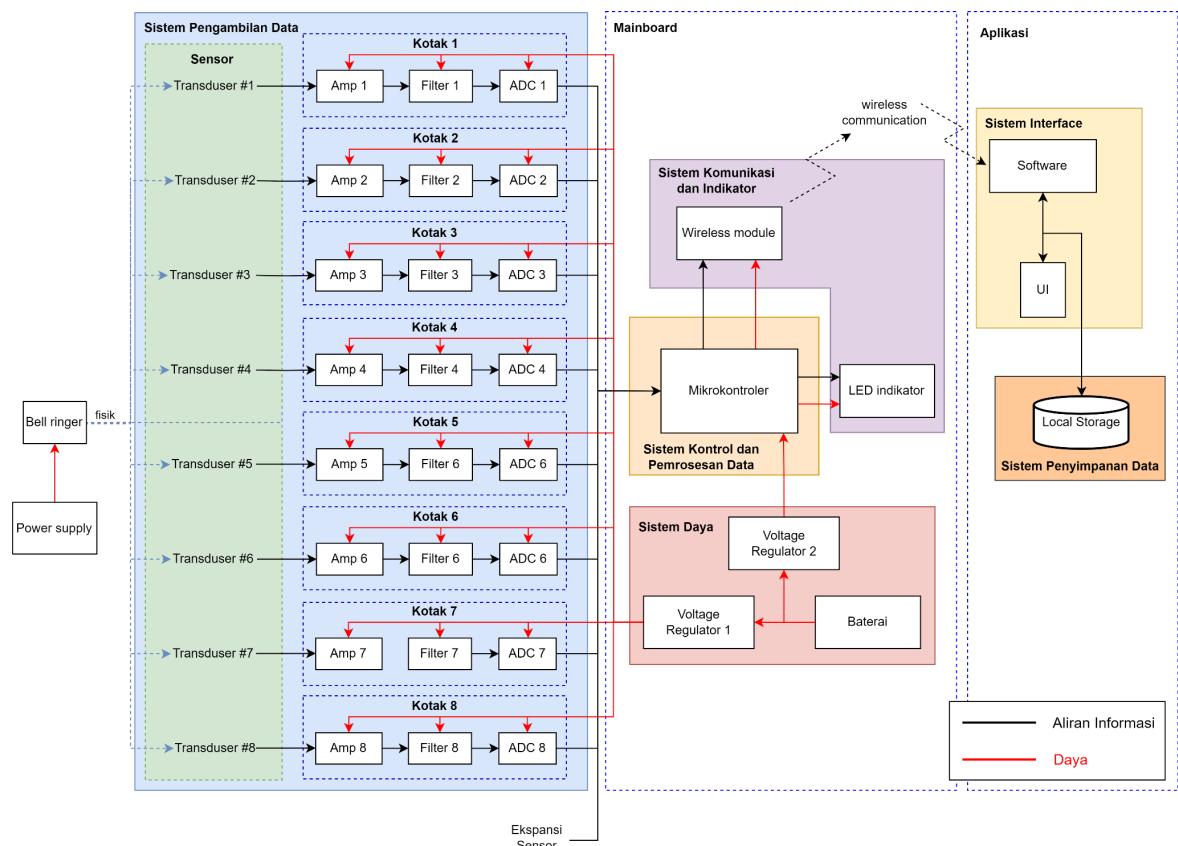
### 2.1.2.1 Arsitektur Utama



Gambar 2.1.2.1 Arsitektur utama pada alternatif 2

Pada alternatif sistem 2, secara arsitektur sistem sama seperti pada alternatif 1. Desain arsitektur utama alternatif 2 sama dengan gambar 2.1.2.1 pada sub-sub bab 2.1.1.1 tentang arsitektur utama alternatif 1. Bagian yang membedakan sistem pada alternatif 1 dan 2 adalah pada bagian pemicu gelombang akustik yang ditimbulkan. Jika pada alternatif 1 sinyal gelombang akustik dihasilkan oleh palu, maka pada alternatif 2 sinyal gelombang akustik dihasilkan oleh getaran dan suara dari *bell ringer*. Penggunaan *Bell ringer* ini dimaksudkan agar setiap input sinyal gelombang akustik yang diberikan memiliki keseragaman nilai amplituda dan frekuensinya.

### 2.1.2.2 Modul Sistem



Gambar 2.1.2.2 Modul sistem alternatif 2

Seperti halnya pada arsitektur utama, modul sistem pada alternatif 2 ini sama dengan alternatif 1 yaitu seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1.2.2. Perbedaan hanya ada pada pemicu gelombang akustik yang dihasilkan oleh bell ringer. Sub sistem modul pada alternatif 2 juga mempunyai fungsi yang sama seperti sub modul sistem alternatif 1.

### 2.1.2.3 Interaksi Dengan Pengguna

Untuk interaksi pengguna, alternatif 2 juga hampir sama dengan alternatif 1 seperti yang dituliskan pada sub sub bab 2.1.1.3 di atas. Hal yang membedakan adalah penggunaan bell ringer yang terdapat pada poin ke 7. Berikut merupakan interaksi pengguna dengan sistem pada alternatif 2:

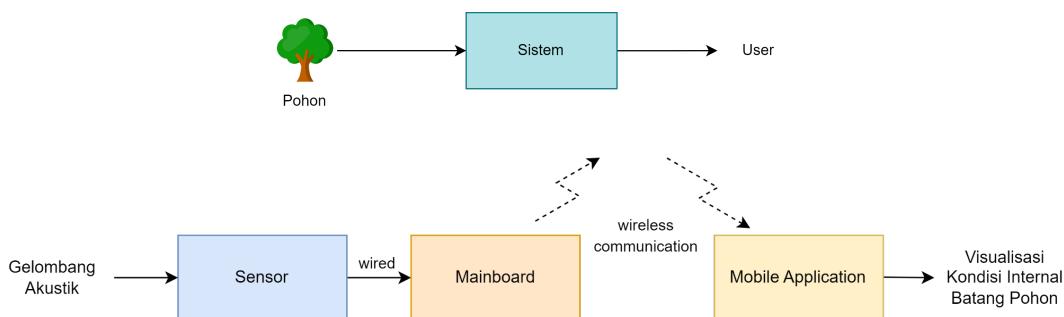
1. Pengguna menancapkan masing-masing paku transduser ke sekeliling batang pohon dengan jarak yang sama.
2. Pengguna menyalakan *mainboard* dan kotak *amplifier* 1.
3. LED menyala warna pertama menunjukkan perangkat siap terhubung dengan *smartphone*.
4. Pengguna melakukan koneksi *smartphone* dengan jaringan Bluetooth yang disediakan perangkat.
5. LED menyala warna kedua menunjukkan *smartphone* telah terhubung dengan perangkat.
6. Pengguna membuka software kemudian memasukkan ukuran keliling pohon dan jenis pohon yang akan diukur pada *smartphone*.
7. Pengguna menempelkan *bell ringer* pada setiap paku transduser secara bergantian, dimulai dari paku transduser 1 berurutan hingga paku transduser 8.
8. Software menunjukkan penerimaan data telah selesai dilakukan.
9. Pengguna melakukan pengaturan visualisasi pada *software*.
10. *Software* menampilkan hasil visualisasi di layar *smartphone* dan menunjukkan data telah tersimpan di penyimpanan.
11. Pengguna dapat melakukan pengukuran ulang dengan cara interaksi dengan *software*.

### 2.1.2.4 Cara Kerja Sistem

Secara keseluruhan cara kerja sistem pada alternatif 2 sama dengan alternatif 1 ditunjukkan pada sub sub bab 2.1.1.4 tentang cara kerja sistem alternatif 1. Diagram alir sistem juga sama dibedakan menjadi 2 sistem yaitu cara kerja sistem sensor/*mainboard* dan cara kerja sistem *smartphone* seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1.1.3 dan gambar 2.1.1.4 di atas.

## 2.1.3 Alternatif Sistem 3 : bell ringer otomatis

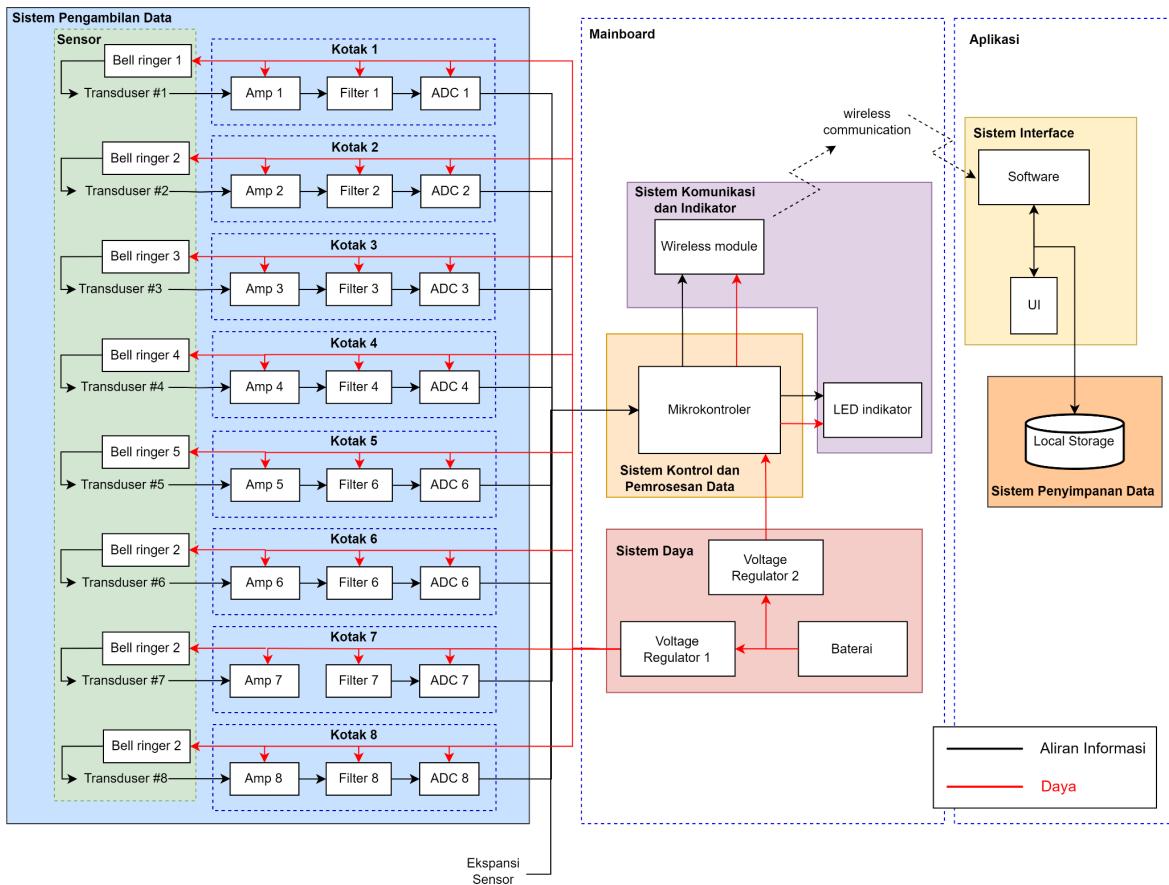
### 2.1.3.1 Arsitektur Utama



Gambar 2.1.3.1 Arsitektur utama pada alternatif 3

Pada alternatif sistem 3, secara arsitektur sistem hampir sama seperti pada alternatif 2. Bagian yang membedakan sistem pada alternatif 2 dan 3 terdapat pada jumlah *bell ringer*. Jika pada alternatif 2 sinyal gelombang akustik dihasilkan oleh getaran dan suara hanya dari satu buah *bell ringer* saja. Pada alternatif sistem 3 terdapat 8 buah *bell ringer* (sesuai dengan jumlah sensor yang digunakan). *Bell ringer* ini akan mengetuk sensor secara otomatis sehingga user tidak perlu melakukan pengambilan data secara manual atau mengelilingi pohon. Penggunaan *bell ringer* otomatis juga memberikan keseragaman nilai amplituda dan frekuensi pada setiap input sinyal gelombang akustik.

### 2.1.3.2 Modul Sistem



Gambar 2.1.3.2 Modul sistem pada alternatif 3

Sub sistem modul pada alternatif 3 juga mempunyai fungsi yang sama seperti sub modul sistem alternatif 1.

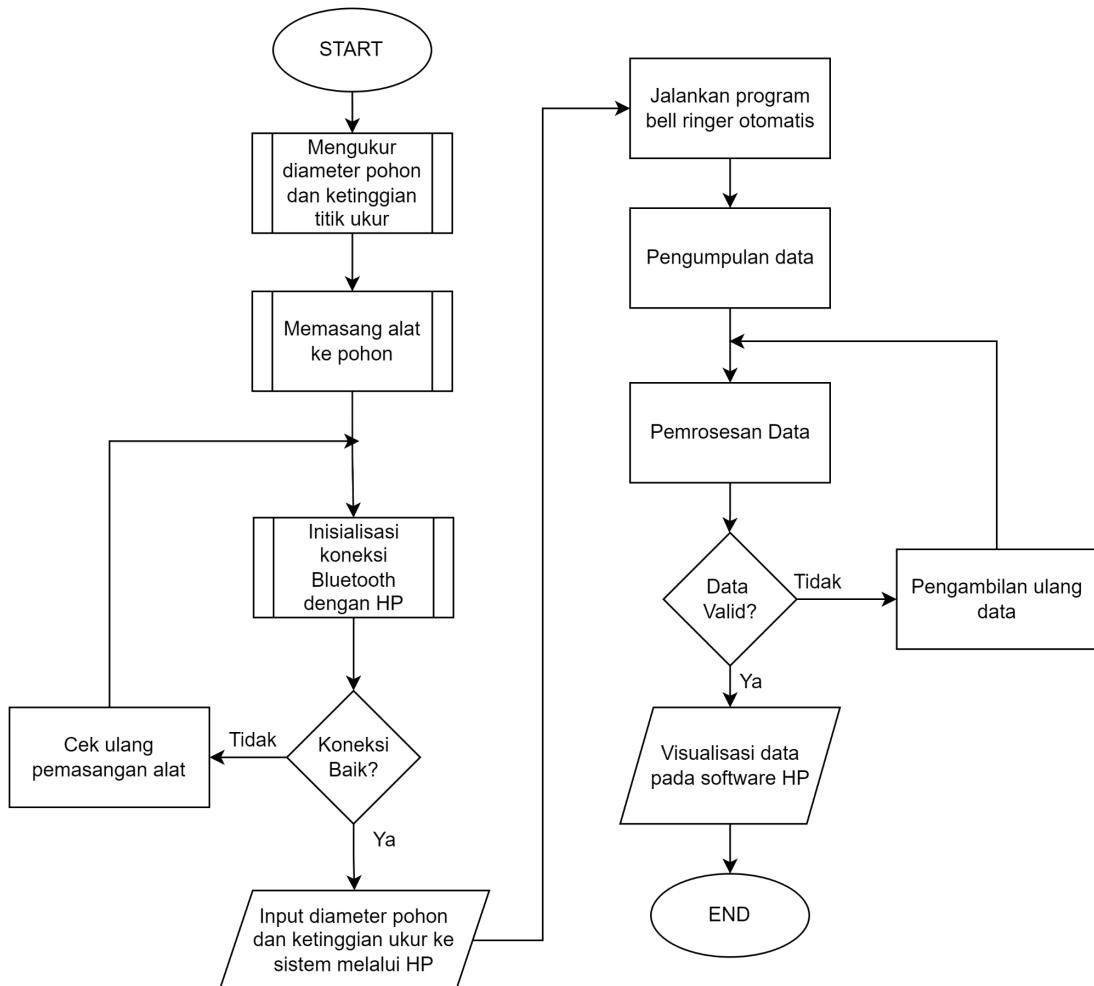
### 2.1.3.3 Interaksi Dengan Pengguna

Berikut adalah interaksi pengguna dengan sistem pada alternatif 3:

1. Pengguna menancapkan masing-masing paku transduser ke sekeliling batang pohon dengan jarak yang sama.
2. Pengguna menyalaikan mainboard dan kotak *amplifier* 1.
3. LED menyala warna pertama menunjukkan perangkat siap terhubung dengan *smartphone*.
4. Pengguna melakukan koneksi *smartphone* dengan jaringan Bluetooth yang disediakan perangkat.

5. LED menyala warna kedua menunjukkan *smartphone* telah terhubung dengan perangkat.
6. Pengguna membuka software kemudian memasukkan ukuran keliling pohon dan jenis pohon yang akan diukur pada *smartphone*.
7. Pengguna menjalankan program *bell ringer* sehingga *bell ringer* otomatis mengetuk paku transduser secara bergantian, dimulai dari paku transduser 1 berurutan hingga paku transduser 8.
8. *Software* menunjukkan penerimaan data telah selesai dilakukan.
9. Pengguna melakukan pengaturan visualisasi pada *software*.
10. *Software* menampilkan hasil visualisasi di layar *smartphone* dan menunjukkan data telah tersimpan di penyimpanan.
11. Pengguna dapat melakukan pengukuran ulang dengan cara interaksi dengan *software*.

#### 2.1.3.4 Cara Kerja Sistem



Gambar 2.1.3.3 Diagram alir cara kerja sistem alternatif 3

Gelombang akustik yang dihasilkan oleh ketukan *bell ringer* secara otomatis pada sebuah transduser yang merambat menuju 7 transduser lainnya. Gelombang yang merambat pada paku transduser dibaca oleh sensor *piezoelectric* dengan output berupa sinyal analog. Pasangan transduser pada masing-masing kotak *amplifier*. Sinyal analog diperkuat

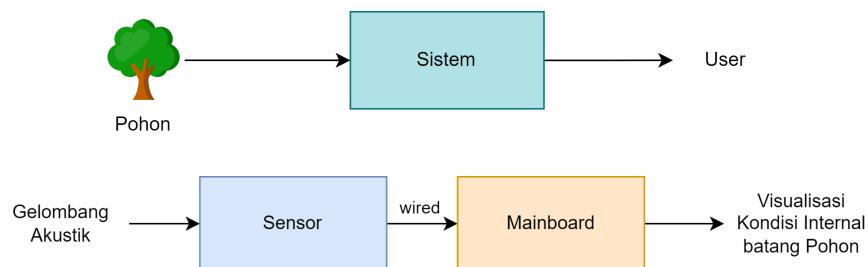
menggunakan *amplifier* dengan output tegangan sesuai dengan spesifikasi input ADC. Terdapat sebuah filter di antara *amplifier* dan ADC untuk menghilangkan *noise* pada sinyal. Output dari ADC berupa sinyal digital yang kemudian diteruskan ke mikrokontroler secara paralel.

Mikrokontroler menerima sinyal digital yang kemudian diproses untuk menghitung selang waktu penerimaan dari masing-masing transduser terhadap transduser acuan yang diketuk. Data digital berupa waktu (*t*) dikirim ke smartphone melalui modul komunikasi *wireless*.

Pada *smartphone*, data waktu (*t*) diproses dengan data masukkan diameter pohon untuk mendapatkan data kecepatan rambat pada masing-masing transduser. Data kecepatan rambat masing-masing sensor divisualisasikan dengan cara mengubah besaran setiap variabel sebagai bobot garis pada bidang permukaan batang. Posisi garis-garis tersebut disesuaikan dengan posisi setiap sensor. Pada bidang, diberikan warna berbeda berdasarkan total bobot pada area tertentu. Hasil visualisasi bidang kemudian dapat ditampilkan pada layar *smartphone* dengan resolusi dan ukuran yang dapat diatur pengguna.

## 2.1.4 Alternatif Sistem 4 : Monitor

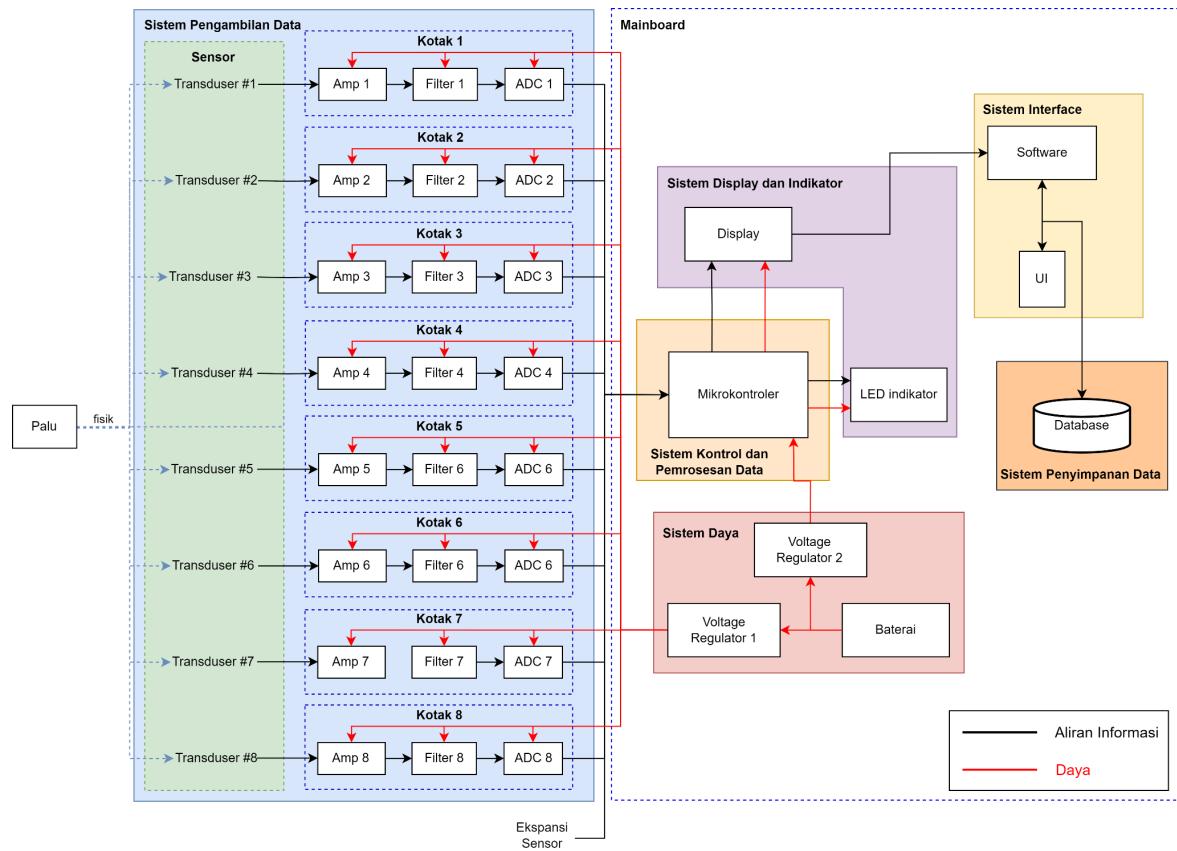
### 2.1.4.1 Arsitektur Utama



Gambar 2.1.4.1 Arsitektur utama pada alternatif 4

Arsitektur utama sistem 4 terdiri dari 2 blok utama, yaitu sensor dan *mainboard*. Blok sensor melakukan pengukuran besaran fisik berupa gelombang akustik lalu meneruskan data yang terbaca menuju *mainboard*. Blok *mainboard* berfungsi untuk mengolah input data pohon yang diberikan user melalui display kemudian mengolah data yang didapatkan dari blok sensor. Pada alternatif ini, blok *smartphone* yang terhubung menggunakan jaringan Wi-Fi digantikan dengan *built-in display* dengan software internal bawaan pada blok *mainboard*. Hasil akhir pengukuran dan visualisasi data dapat dilihat melalui *display* interaksi dengan pengguna.

#### 2.1.4.2 Modul Sistem



Gambar 2.1.4.2 Modul sistem alternatif 4

Dalam 2 blok arsitektur utama, terdapat modul-modul sistem yang memiliki fungsi khusus seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1.4.2 di atas. Modul sistem yang terdapat pada alternatif 1 adalah sebagai berikut:

##### 1. Sistem Sensor

###### Transduser

Transduser berupa paku baja yang memiliki sensor *piezoelectric*. Sensor tersebut mengukur gelombang akustik yang merambat pada paku baja.

##### 2. Sistem Data Acquisition

###### a. Amplifier

Amplifier berfungsi sebagai penguat amplitudo sinyal yang dibaca oleh sensor *piezoelectric* untuk disesuaikan dengan besaran input mikrokontroler.

###### b. Filter

Filter digunakan untuk menghilangkan *noise* yang terbaca pada sinyal input.

###### c. Analog to Digital Converter (ADC)

ADC berfungsi untuk mengubah sinyal analog output dari sensor *piezoelectric* menjadi sinyal digital sebagai input mikrokontroler.

##### 3. Sistem Data Control & Process

###### Mikrokontroler

Mikrokontroler berfungsi untuk memproses data sinyal dari masing-masing sensor agar diperoleh selang waktu penerimaan sensor ( $t$ ) kemudian mengirimkannya ke *smartphone*.

4. Sistem *Power*.

a. Baterai

Baterai menyediakan sumber daya energi listrik untuk menyuplai listrik ke semua sistem di *sensor* dan *mainboard*.

b. *Voltage Regulator*

*Voltage Regulator* berfungsi untuk mendistribusi suplai listrik ke komponen dengan besar tegangan input yang berbeda dengan baterai yang digunakan (9 V), yaitu sebesar 5 V.

5. Sistem Software.

*Software*

*Software* pada *smartphone* mengolah data yang diterima untuk divisualisasikan.

6. Sistem Display.

UI

Terdapat UI untuk interaksi pengguna digunakan untuk menampilkan hasil visualisasi data dan pengaturan visualisasi.

7. Sistem Data Storage

Penyimpanan Data

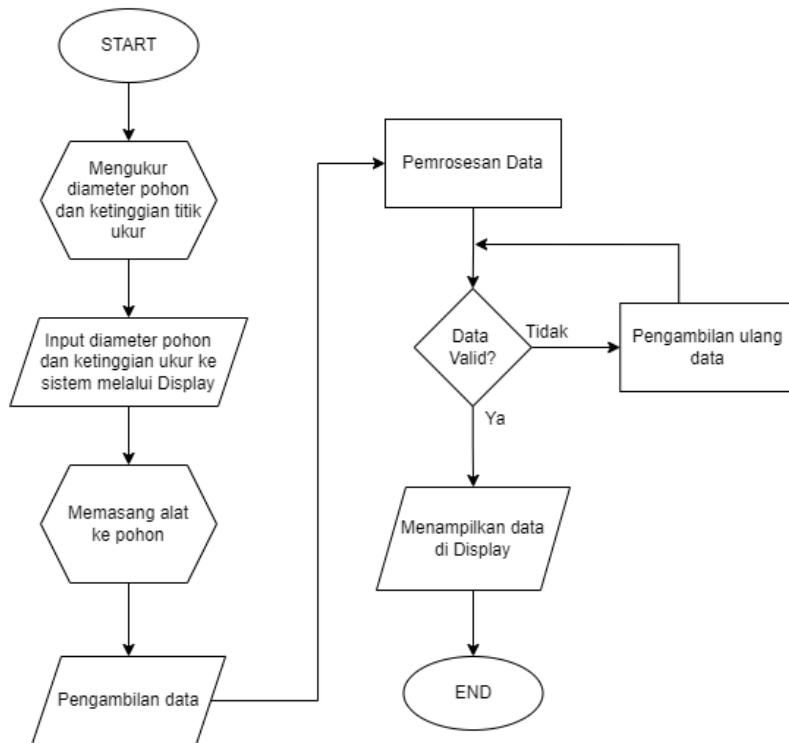
Data yang telah diolah tersimpan ke dalam database sistem.

#### 2.1.4.3 Interaksi Dengan Pengguna

Berikut adalah interaksi pengguna dengan sistem pada alternatif 4:

1. Pengguna menancapkan masing-masing paku transduser ke sekeliling batang pohon dengan jarak yang sama.
2. Pengguna menyalakan *mainboard*.
3. LED menyala warna pertama menunjukkan perangkat sudah menyala.
4. Pengguna memasukkan data pengukuran pohon dan spesies pohon yang akan diukur pada *software* melalui *display*.
5. Pengguna masuk ke dashboard tabel pengukuran.
6. Pengguna mengetuk setiap paku transduser menggunakan palu, dimulai dari paku transduser 1 berurutan hingga paku transduser 8.
7. *Software* menunjukkan penerimaan data telah selesai dilakukan.
8. Pengguna melakukan pengaturan visualisasi pada *display*.
9. *Display* menampilkan hasil visualisasi di layar *smartphone* dan menunjukkan data telah tersimpan di penyimpanan.
10. Pengguna dapat melakukan pengukuran ulang dengan cara berinteraksi dengan *software*.

#### 2.1.4.4 Cara Kerja Sistem



Gambar 2.1.4.3 Cara kerja sistem alternatif 4

Gelombang akustik yang dihasilkan ketukan palu pada sebuah transduser merambat menuju 7 transduser lainnya. Gelombang yang merambat pada paku transduser dibaca oleh sensor *piezoelectric* dengan *output* berupa sinyal analog. Output dari sensor diperkuat menggunakan amplifier dengan *output* tegangan sesuai dengan spesifikasi *input* ADC. Terdapat sebuah filter di antara *amplifier* dan ADC untuk menghilangkan *noise* pada sinyal. Output dari ADC berupa sinyal digital yang merepresentasikan gelombang akustik yang kemudian akan diteruskan ke mikrokontroler.

Mikrokontroler menerima sinyal digital yang kemudian diproses untuk menghitung selang waktu penerimaan dari masing-masing transduser terhadap transduser acuan yang diketuk. Data digital berupa waktu (*t*) dikirim software dan kemudian diproses menjadi kecepatan rambat yang diterima masing-masing transduser. Data kecepatan rambat masing-masing sensor divisualisasikan dengan cara mengubah besaran setiap variabel sebagai bobot garis pada bidang permukaan batang. Posisi garis-garis tersebut disesuaikan dengan posisi setiap sensor. Pada bidang, diberikan warna berbeda berdasarkan total bobot pada area tertentu. Hasil visualisasi bidang kemudian dapat ditampilkan pada layar *display* dengan resolusi dan ukuran yang dapat diatur pengguna..

#### 2.1.5 Alternatif Sistem 5 : Access Point

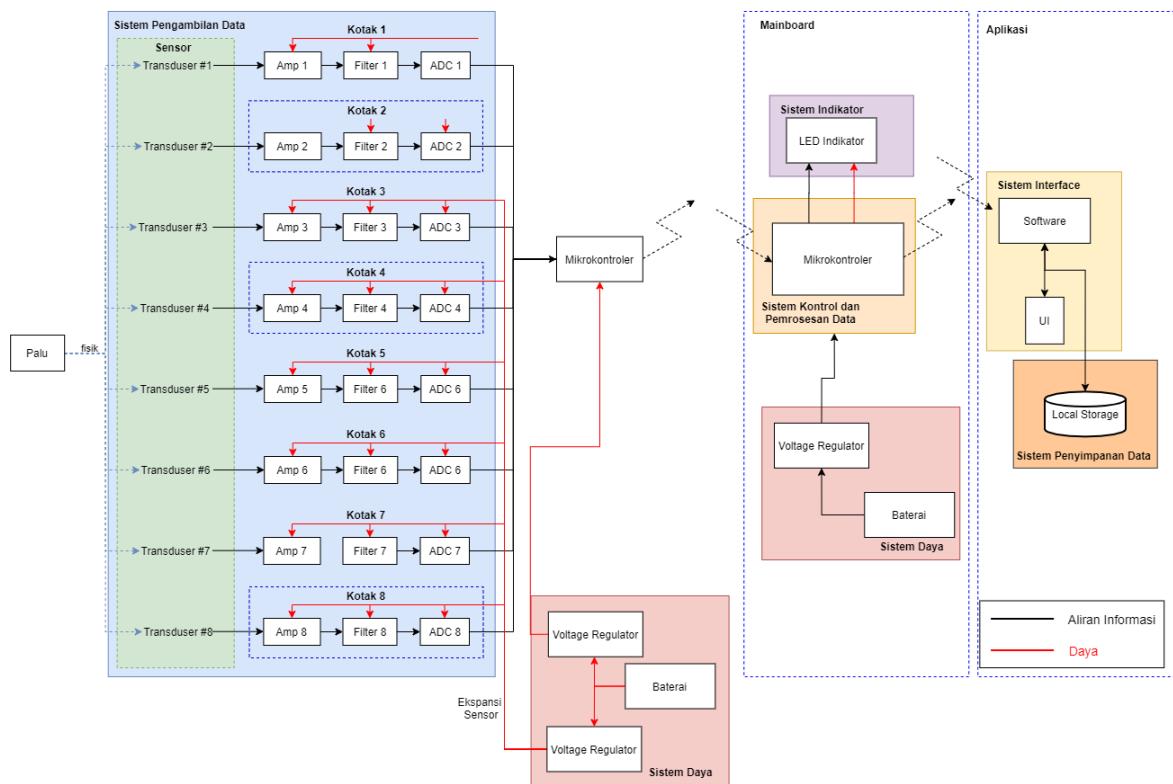
##### 2.1.5.1 Arsitektur Utama

Arsitektur utama sistem terdiri dari 3 blok utama: sensor, *mainboard*, dan *smartphone*. Blok sensor melakukan pengukuran besaran fisik berupa gelombang akustik lalu meneruskan data yang terbaca menuju main board. Blok *mainboard* berfungsi mengolah data yang diterima dan meneruskannya ke *smartphone*. Blok *smartphone* berfungsi untuk melakukan visualisasi data dan interaksi dengan pengguna. Pada alternatif ini, blok sensor,

*mainboard*, dan *smartphone* terhubung menggunakan jaringan Wi-Fi yang disediakan *access point* pada main board.

### 2.1.5.2 Modul Sistem

Level 2 (Alternatif 5)



Gambar 2.1.5.1 Modul sistem alternatif 5

Modul sistem untuk setiap blok tersusun sebagai berikut.

#### 1. Sensor

##### a. Transduser

Transduser berupa paku baja yang memiliki sensor *piezoelectric*. Sensor tersebut mengukur gelombang akustik yang merambat pada paku baja.

##### b. Amplifier

Amplifier berfungsi sebagai penguat amplitudo sinyal yang dibaca oleh sensor *piezoelectric* untuk disesuaikan dengan besaran input mikrokontroler.

##### c. Filter

Filter digunakan untuk menghilangkan *noise* yang terbaca pada sinyal input.

##### d. ADC

ADC berfungsi untuk mengubah sinyal analog *output* dari sensor *piezoelectric* menjadi sinyal digital sebagai input mikrokontroler.

e. Mikrokontroler

Terdapat mikrokontroler dengan modul Wi-Fi untuk mengirimkan data menuju main board.

f. *Power Supply*

*Power Supply* berfungsi sebagai sumber daya untuk sistem.

2. Mainboard

a. Mikrokontroler

Terdapat mikrokontroler sebagai *access point*, menerima data dari mikrokontroler pada blok sensor, mengolah data yang diterima, dan mengirimkan data ke *smartphone*.

b. LED Indikator

LED berfungsi untuk menunjukkan status perangkat kepada user.

c. *Power Supply*

*Power Supply* berfungsi sebagai sumber daya untuk sistem.

3. Smartphone

a. Software

Software pada smartphone mengolah data yang diterima untuk divisualisasikan.

b. UI

Terdapat UI untuk interaksi pengguna: menampilkan hasil visualisasi data dan pengaturan visualisasi.

c. Penyimpanan Data

Data yang telah diolah tersimpan ke dalam penyimpanan data.

#### 2.1.5.3 Interaksi Dengan Pengguna

Berikut adalah interaksi pengguna dengan sistem.

1. Pengguna menancapkan masing-masing paku transduser ke sekeliling batang pohon dengan jarak yang sama.
2. Pengguna menyalakan mainboard dan kotak *amplifier* 1.
3. LED menyala warna pertama menunjukkan perangkat siap terhubung dengan smartphone.
4. Pengguna melakukan koneksi *smartphone* dengan jaringan Wi-Fi yang disediakan perangkat.
5. LED menyala warna kedua menunjukkan *smartphone* telah terhubung dengan perangkat.
6. Pengguna membuka *software* kemudian menginput ukuran keliling pohon dan jenis pohon yang akan diukur pada *smartphone*.
7. Pengguna mengetuk setiap paku transduser menggunakan palu, dimulai dari paku transduser 1 berurutan hingga paku transduser 8.
8. *Software* menunjukkan penerimaan data telah selesai dilakukan.
9. Pengguna melakukan pengaturan visualisasi pada *software*.

10. Software menampilkan hasil visualisasi di layar smartphone dan menunjukkan data telah tersimpan di penyimpanan.
11. Pengguna dapat melakukan pengukuran ulang dengan cara interaksi dengan software.

#### 2.1.5.4 Cara Kerja Sistem

Gelombang akustik yang dihasilkan ketukan palu pada sebuah transduser merambat menuju 7 transduser lainnya. Gelombang yang merambat pada paku transduser dibaca oleh sensor *piezoelectric* dengan output berupa sinyal analog. Pasangan transduser pada masing-masing kotak *amplifier*. Sinyal analog diperkuat menggunakan *amplifier* dengan *output* tegangan sesuai dengan spesifikasi *input* ADC. Terdapat sebuah filter di antara amplifier dan ADC untuk menghilangkan *noise* pada sinyal. Output dari ADC berupa sinyal digital yang kemudian diteruskan ke mikrokontroler secara paralel. Mikrokontroler terhubung menggunakan jaringan Wi-Fi yang disediakan oleh mikrokontroler pada main board. Data kemudian dikirimkan secara *wireless* menuju mikrokontroler main board.

Mikrokontroler pada mainboard mengolah data pengukuran yang diterima dan data input user sebagai parameter. *Output* mikrokontroler berupa data kecepatan rambat antar masing-masing sensor. *Output* data dikirimkan menuju *smartphone* melalui jaringan Wi-Fi. LED yang terhubung pada mikrokontroler menunjukkan status dari perangkat.

Data kecepatan rambat masing-masing sensor divisualisasikan dengan cara mengubah besaran setiap variabel sebagai bobot garis pada bidang permukaan batang. Posisi garis-garis tersebut disesuaikan dengan posisi setiap sensor. Pada bidang, diberikan warna berbeda berdasarkan total bobot pada area tertentu. Hasil visualisasi bidang kemudian dapat ditampilkan pada layar *smartphone* dengan resolusi dan ukuran yang dapat diatur pengguna.

## 2.2 Analisis

### 2.2.1 Metode Analisis

Dalam perancangan produk ini terdapat 5 alternatif sistem yang dibuat. Kelima alternatif tersebut memiliki desain yang berbeda-beda sehingga setiap alternatif terdapat kekurangan dan kelebihan jika ditinjau dari aspek-aspek tertentu. Untuk menentukan 1 alternatif terbaik berdasarkan karakteristik produk yang diinginkan, maka digunakan metode *Analytic Hierarchy Process (AHP)*. Dalam penggunaan AHP, langkah awal adalah menentukan beberapa aspek penting yang menjadi prioritas pembuatan produk. Adapun aspek-aspek yang menjadi prioritas dari pembuatan produk adalah sebagai berikut:

- a. Biaya

Biaya merupakan salah satu prioritas dari pembuatan produk, karena produk serupa yang tersedia di pasar luar negeri saat ini banyak namun memiliki harga yang tinggi sehingga tidak terjangkau oleh banyak peneliti pohon khususnya di Indonesia. Agar produk saat dijual dipasaran nanti memiliki harga yang relatif murah dan terjangkau bagi para pengguna, biaya pembuatan produk ini perlu ditekan dengan cara lebih selektif dalam memilih komponen. Biaya produk ini merupakan biaya keseluruhan yang meliputi biaya penelitian, pengembangan produk serta biaya manufaktur produk.

- b. Akurasi

Akurasi produk terkait dari kemampuan produk dalam mendeteksi adanya pembusukan atau kerusakan yang terjadi pada batang pohon bagian dalam. Selain itu

produk juga dapat menentukan seberapa besar tingkat pembusukan dan kerusakan batang pohon mendekati kondisi sebenarnya.

c. Konsumsi Daya

Konsumsi daya merupakan total kebutuhan energi listrik yang digunakan oleh seluruh sistem produk dalam menjalankan fungsinya. Konsumsi daya yang dibutuhkan sistem ini akan mempengaruhi besar dan jenis dari sumber penyedia energi listrik. Sistem produk yang baik adalah sistem yang memiliki penggunaan energi listrik yang kecil dan efisien.

d. Maintenance

*Maintenance* merupakan kegiatan terkait perawatan produk saat penggunaan maupun saat terjadi kerusakan komponen. Produk dirancang mudah dalam hal perawatan. Ketika terjadi kerusakan komponen, suku cadang komponen mudah didapatkan dan tersedia di pasar dalam negeri.

e. Kompleksitas

Kompleksitas produk merupakan tingkat kesulitan perancangan dan pembuatan produk dari sisi pembuat produk. Produk dirancang dengan tingkat kesulitan yang dapat diatasi dan diselesaikan oleh pembuat dalam kurun waktu yang telah ditentukan. Dalam hal ini kurun waktu pembuatan sekitar 6 bulan.

f. Mobilitas

Mobilitas produk terkait pada kemudahan pembawaan produk untuk dapat dipindahkan dari satu tempat ke tempat lainnya. Dimensi produk dan massa produk sangat berpengaruh pada tingkat mobilitasnya. Semakin besar dan berat produk tersebut maka mobilitasnya akan semakin kecil.

g. Environment

*Environment* merupakan interaksi antara pengguna dengan produk. Perancangan environment akan menentukan pengguna agar mudah mengerti dan memahami proses serta tata cara penggunaan produk. *Environment* yang baik adalah *environment* yang membuat pengguna mudah dalam mengoperasikan produk.

## 2.2.2 Analisis konsep

Pada tahap analisis ini, dilakukan pembobotan pada aspek-aspek yang telah ditentukan pada sub sub bab 2.2.1 untuk mendapatkan level prioritas aspek. Metode yang digunakan untuk menentukan level prioritas aspek ini adalah metode *pairwise comparison*. Berikut merupakan analisis menggunakan metode *pairwise comparison* ditunjukkan pada tabel 2.2.2.1 di bawah ini:

Tabel 2.2.2.1 Level prioritas dengan metode *pairwise comparison*

	Biaya	Akurasi	Konsumsi daya	Maintenance	Kompleksitas	Mobilitas	Environment
Biaya	1	1/3	3	1/5	1/7	3	3
Akurasi	3	1	5	1	1/5	5	5
Konsumsi daya	1/3	1/5	1	1/3	1/5	3	7
Maintenance	5	1	3	1	1/3	5	3

<b>Kompleks</b>	7	5	5	3	1	5	3
<b>Mobilitas</b>	1/3	1/5	1/3	1/5	1/5	1	1/5
<b>Environment</b>	1/3	1/5	1/7	1/3	1/3	5	1
<b>AHP</b>	<b>0.123</b>	<b>0.186</b>	<b>0.163</b>	<b>0.179</b>	<b>0.268</b>	<b>0.025</b>	<b>0.056</b>

Dengan metode *pairwise comparison* di atas diperoleh hasil level prioritas berdasarkan urutan level dan nilai bobotnya yang ditampilkan pada tabel 2.2.2.2 di bawah ini

**Tabel 2.2.2.2 Urutan level prioritas dan nilai bobot**

No. Level	Aspek	Bobot AHP
1	Kompleksitas	0.268
2	Akurasi	0.186
3	<i>Maintenance</i>	0.179
4	Konsumsi daya	0.163
5	Biaya	0.123
6	<i>Environment</i>	0.056
7	Mobilitas	0.025

Kemudian dari level prioritas aspek yang diperoleh, diuraikan masing-masing pada setiap alternatif sistem yang dirancang. Berikut merupakan analisis aspek pada setiap alternatif sistem:

### 2.2.2.1 Alternatif 1

#### a. Biaya

Dari segi biaya, alternatif 1 relatif lebih rendah dibandingkan dengan alternatif lain. alternatif 1 tidak membutuhkan biaya yang tinggi karena sinyal akustik yang dihasilkan saat pengukuran hanya perlu menggunakan palu sedangkan di alternatif lain menggunakan sistem *bell ringer*. Selain itu komponen sistem pada setiap blok sistem tidak terlalu kompleks dan lebih efisien dibandingkan dengan sistem lain. Dengan menyederhanakan dan mengefisiensikan sistem maka biaya untuk pembuatan produk bisa ditekan.

#### b. Akurasi

Pukulan palu dalam setiap pengukuran akan menghasilkan sinyal akustik yang berbeda-beda. Perbedaan sinyal akustik dalam setiap pengukuran akan mempengaruhi akurasi sistem sehingga dibutuhkan pemrosesan dan pengolahan sinyal yang baik pada blok data akuisisi sistem. Pemrosesan dan pengolahan sinyal yang baik akan membuat sistem mampu menentukan batasan-batasan sinyal yang dibutuhkan. Selain itu sistem juga dapat menghilangkan sinyal derau yang masuk sistem. Oleh karena itu, akurasi sistem pada alternatif 1 ini akan ditentukan oleh kemampuan blok data akusisi dalam memproses dan mengolah sinyal.

#### c. Konsumsi Daya

Dalam penggunaan daya, alternatif 1 juga lebih efisien dibandingkan alternatif lain karena konsumsi daya terbesar sistem hanya dibutuhkan oleh mikrokontroler di

mainboard. Selain itu, penghasil sinyal akustik tidak membutuhkan sumber daya energi karena hanya menggunakan pukulan palu secara manual.

d. Maintenance

Perawatan produk pada alternatif 1 hanya terfokus pada bagian sensor saja karena pukulan palu yang tidak tepat rawan merusak bagian sensor. Dalam perawatannya harus sering dilakukan pengecekan secara rutin kondisi transduser yang terdapat pada sensor. Namun apabila terjadi kerusakan pada komponen tersebut, transduser dapat diganti sendiri oleh pengguna karena ketersedian suku cadangnya banyak di pasaran dan dijual dengan harga yang murah.

e. Kompleksitas

Kompleksitas pembuatan alternatif 1 relatif lebih mudah dibandingkan dengan alternatif lain. Pada alternatif 1, penghasil sinyal akustik saat pengukuran tidak membutuhkan sistem khusus seperti pada penggunaan *bell ringer*. Selain itu, dalam menampilkan data pengukuran alternatif 1 menggunakan *smartphone* sehingga tidak perlu merancang *Graphical User Interface* (GUI) pada sistem seperti pada alternatif 4.

f. Mobilitas

Bagian besar dari sistem alternatif 1 adalah kotak *mainboard* dan sensor. Kedua bagian tersebut memiliki dimensi yang kecil dan berat yang ringan sehingga mudah untuk dibawa dan dipindahkan. Selain itu, semua peralatan yang menjadi bagian dari sistem memiliki tempat penyimpanan khusus berupa *briefcase* yang memudahkan pengguna untuk berpindah pindah tempat pengukuran.

g. Environment

Proses persiapan pengukuran dilakukan dalam beberapa tahap dan membutuhkan ketelitian serta kecermatan dari pengguna yaitu pada saat pengukuran lingkar dan diameter pohon serta penentuan titik-titik sensor. Proses koneksi bluetooth dari *smartphone* ke *mainboard* juga membutuhkan pengetahuan yang baik tentang perangkat *smartphone* agar mampu melakukan *troubleshooting* saat terjadi kesalahan koneksi.

### 2.2.2.2 Alternatif 2

a. Biaya

Dari segi biaya, alternatif 2 memiliki kebutuhan yang sama dengan alternatif 1 pada bagian produksi sistem sensor dan *mainboard*. Pada bagian penghasil sinyal akustik, alternatif 2 membutuhkan tambahan biaya untuk pembuatan *bell ringer* dan sistem sumber dayanya. Sehingga alternatif 2 membutuhkan biaya tambahan yang lebih dibandingkan alternatif 1.

b. Akurasi

Alternatif 2 memiliki akurasi yang relatif lebih baik karena sinyal akustik dihasilkan oleh *bell ringer* yang sinyal akustiknya akan seragam pada setiap pengukuran. Selain itu, nilai sinyal akustik yang dihasilkan dapat diatur dan disesuaikan sesuai dengan kebutuhan sistem. Namun sinyal akustik yang dihasilkan oleh *bell ringer* lebih lemah dibandingkan dengan hasil sinyal akustik dari pukulan palu. Hal ini dapat berpengaruh pada penerimaan sinyal sensor saat dilakukan pada pengukuran pohon yang

berdiameter besar. Bisa saja sinyal tidak sampai di sensor terjauh karena sinyal akustik kurang kuat

c. Konsumsi Daya

Pada alternatif 2, kebutuhan terbesar sistem juga ada pada mikrokontroler di *mainboard* dan *amplifier* di data akuisisi. Namun untuk penghasil sinyal akustik, alternatif 2 membutuhkan tambahan sumber daya energi untuk menyuplai 1 *bell ringer*.

d. Maintenance

Sama dengan alternatif 1, perawatan sistem pada alternatif 2 terdapat pada bagian transduser yang rawan rusak jika terkena pukulan palu yang tidak tepat. Oleh karena itu perlu dilakukan pengecekan rutin untuk memastikan transduser masih bekerja dengan baik

e. Kompleksitas

Kompleksitas pembuatan pada alternatif 2 juga sama dengan pada alternatif 1 pada sistem sensor, *mainboard* dan aplikasi *smartphone*. Namun pada alternatif 2 terdapat tambahan perancangan *bell ringer* yang mampu menghasilkan sinyal akustik sesuai kebutuhan sistem.

f. Mobilitas

Mobilitas pada alternatif 2 juga sama dengan alternatif 1. Dimensi panjang dan berat pada setiap kotak memiliki ukuran yang sama. Mudah dibawa dan berpindah-pindah tempat selama pengukuran maupun saat penyimpanan.

g. Environment

Seperti pada alternatif 1, proses persiapan pengukuran alternatif 2 juga dilakukan dalam beberapa tahap dan membutuhkan ketelitian serta kecermatan dari pengguna yaitu pada saat pengukuran lingkar dan diameter pohon serta penentuan titik-titik sensor. Proses koneksi bluetooth dari *smartphone* ke *mainboard* juga membutuhkan pengetahuan yang baik tentang perangkat *smartphone* agar mampu melakukan *troubleshooting* saat terjadi kesalahan koneksi.

### 2.2.2.3 Alternatif 3

a. Biaya

Biaya tambahan untuk pembuatan *bell ringer* sebagai penghasil sinyal akustik membutuhkan biaya yang cukup banyak karena pada alternatif 3 setiap sensor dipasang *bell ringer*. Pada sistem terdapat 8 sensor sehingga dibutuhkan biaya tambahan untuk pembuatan sistem *bell ringer* sebanyak 8 buah.

b. Akurasi

Penggunaan *bell ringer* sebagai penghasil sinyal akustik akan akurat jika dilakukan pada pengukuran pohon yang berdiameter kecil. Namun tidak akurat jika dilakukan pada pohon berdiameter besar. Sinyal akustik terdapat kemungkinan tidak sampai pada sensor terjauh sehingga tidak dapat terukur.

c. Konsumsi Daya

Konsumsi daya yang dibutuhkan lebih besar karena dibutuhkan energi listrik tambahan untuk menyuplai daya pada kedelapan *bell ringer*. Kebutuhan daya yang besar juga akan berpengaruh pada durasi waktu operasi alat yang akan semakin berkurang.

d. *Maintenance*

Perawatan pada alternatif 3 lebih mudah karena penggunaan *bell ringer* pada sensor sebagai pengganti palu akan mengurangi kerawanan kerusakan sensor. Akan tetapi tetap perlu dilakukan pengecekan rutin pada transduser untuk memastikan transducer dalam kondisi baik saat pengukuran.

e. Kompleksitas

Penggunaan *bell ringer* sebanyak 8 dan ditempatkan pada setiap sistem sensor membuat kompleksitas perancangan produk akan semakin kompleks baik dari sisi perkabelan maupun dari sisi suplai sumber daya. Selain itu, operasional *bell ringer* yang bekerja otomatis pada urutan waktu tertentu, membuat kompleksitas algoritma program pada mikrokontroler semakin bertambah.

f. Mobilitas

Dari segi mobilitas, dimensi panjang dan berat pada alternatif 3 hampir sama dengan alternatif 1 dan 2 sehingga tetap mudah untuk dibawa dan berpindah-pindah tempat selama pengukuran. Penempatan *bell ringer* yang satu tempat dengan kotak sensor tidak berpengaruh banyak pada tingkat mobilitas produk secara keseluruhan.

g. *Environment*

Dari segi *environment*, alternatif 3 mempunyai skema penggunaan yang lebih memudahkan pengguna. Pengguna tidak perlu berkeliling pohon untuk memukul kedelapan sensor secara bergantian melainkan hanya perlu menekan tombol otomatis yang berada pada mainboard sehingga sistem akan membunyikan *bell ringer* otomatis secara bergantian sesuai dengan urutan waktu.

#### 2.2.2.4 Alternatif 4

a. Biaya

Kebutuhan biaya pada alternatif 4 paling besar diantara 4 alternatif lainnya. Hal ini dikarenakan pada alternatif 4 membutuhkan tambahan GUI yang terletak pada kotak *mainboard* berupa layar monitor. Harga layar monitor yang relatif mahal dari komponen lainnya dapat menyebabkan biaya produksi menjadi semakin besar.

b. Akurasi

Pada alternatif 4, penghasil sinyal akustik menggunakan pukulan palu sehingga akurasi pengukuran dipengaruhi oleh kemampuan data akuisisi sistem dalam melakukan pemrosesan dan pengolahan data. Jika sistem data akuisisi berkemampuan baik maka akurasi pengukuran juga akan baik.

c. Konsumsi Daya

Walaupun penghasil sinyal akustik menggunakan pukulan palu secara manual, akan tetapi penggunaan layar monitor pada kotak mainboard membuat sistem pada alternatif 4 membutuhkan konsumsi daya yang lebih besar diantara alternatif lainnya. Konsumsi daya yang besar juga akan membutuhkan sumber energi yang besar juga.

d. *Maintenance*

Perawatan pada alternatif 4 berada pada sensor dan layar monitor. Pada sensor perlu dilakukan pengecekan rutin untuk memastikan transduser pada kondisi baik saat digunakan. Apabila terjadi kerusakan, dapat digantikan dengan transduser baru yang banyak tersedia di pasaran dengan harga yang murah. Perawatan pada monitor dilakukan dengan membersihkan layar dari debu dan kotoran secara rutin dengan kain dan cairan pembersih kaca agar tampilan pengukuran yang dihasilkan tetap menampilkan hasil yang baik. Kemudian jika terjadi kerusakan pada layar monitor, dibutuhkan perbaikan dan perawatan tingkat berat dengan mengganti layar monitor dengan suku cadang yang baru. Akan tetapi suku cadang monitor akan susah didapatkan dipasaran dan harganya juga mahal.

e. Kompleksitas

Perancangan layar monitor sebagai GUI di kotak mainboard membuat kompleksitas pembuatan produk semakin bertambah. Penggunaan layar monitor sebagai GUI juga membutuhkan tambahan sistem komputasi dengan spesifikasi prosesor yang tinggi sebagai pengolah data gambar untuk menghasilkan tampilan.

f. Mobilitas

Dari segi mobilitas, alternatif 4 juga masih dirancang dalam dimensi panjang dan berat yang tidak jauh beda dengan alternatif lainnya sehingga mobilitas alat saat digunakan maupun berpindah-pindah tempat masih baik.

g. *Environment*

Dari segi *environment*, tahap persiapan pengukuran menjadi lebih mudah karena tidak harus mengatur koneksi jaringan bluetooth lagi ke smartphone seperti yang dilakukan pada 4 alternatif lainnya.

#### 2.2.2.5 Alternatif 5

a. Biaya

Dari segi biaya, alternatif 5 tidak jauh beda dengan alternatif 1 karena komponen yang terdapat pada setiap sistem blok menggunakan komponen yang hampir sama. Perbedaan dengan alternatif 1 adalah penggunaan modul Wifi yang mempunyai harga lebih tinggi dibandingkan modul bluetooth.

b. Akurasi

Pada alternatif 5, penghasil sinyal akustik menggunakan pukulan palu sehingga akurasi pengukuran dipengaruhi oleh kemampuan data akuisisi sistem dalam melakukan pemrosesan dan pengolahan data. Jika sistem data akuisisi berkemampuan baik maka akurasi pengukuran juga akan baik.

c. Konsumsi Daya

Kebutuhan terbesar sistem pada alternatif 5 juga ada pada mikrokontroler di mainboard dan amplifier di data akuisisi sama seperti sistem 1. Selain penggunaan modul Wifi sebagai pengganti modul bluetooth juga tidak terlalu mempengaruhi penambahan konsumsi daya.

d. *Maintenance*

Sama dengan alternatif 1, perawatan produk pada alternatif 5 hanya terfokus pada bagian sensor saja karena pukulan palu yang tidak tepat rawan untuk merusak bagian

sensor. Dalam perawatannya harus sering dilakukan pengecekan kondisi transduser yang terdapat pada sensor secara rutin. Namun apabila terjadi kerusakan pada komponen tersebut, dapat diganti dengan suku cadang baru oleh pengguna karena ketersedian suku cadangnya tersedia banyak di pasaran dengan harga yang murah.

e. Kompleksitas

Kompleksitas pada alternatif 5 tidak jauh beda dengan alternatif 1. Hal yang membedakan adalah algoritma program pengiriman data pada mikrokontroler menggunakan program Wifi.

f. Mobilitas

Dari segi mobilitas, alternatif 5 dimensi panjang dan berat juga tidak jauh beda dengan ukuran pada alternatif 1 sehingga produk masih mempunyai mobilitas yang baik untuk dibawa dan berpindah-pindah tempat.

g. *Environment*

Skema dan tahap pengukuran pada alternatif 5 juga sama dengan alternatif 1. Pada tahap persiapan dibutuhkan ketelitian dan kecermatan agar dapat melakukan tahap-tahap pengukuran secara baik.

### 2.3 Sistem yang akan dikembangkan

Setelah dilakukan analisis pada setiap alternatif solusi, langkah selanjutnya adalah pemilihan solusi dengan metode AHP yaitu dengan melakukan pemberian bobot pada setiap aspek-aspek alternatif solusi. Solusi dengan jumlah nilai bobot terbesar merupakan solusi yang terpilih. Pada Tabel 2.3.1 di bawah ini merupakan hasil dari pemilihan solusi dengan metode AHP.

Tabel 2.3.1 Hasil dari penilaian menggunakan metode AHP

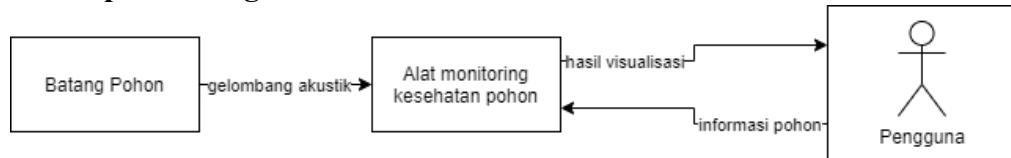
Alt. Solusi	Biaya	Akurasi	Konsumsi daya	Maintenance	Kompleks	Mobilitas	Environment	Jumlah
<b>Palu</b>	4	3	4	3	4	3	2	3.498
<b>1 Bell Ringer</b>	3	3	3	3	3	2	3	2.975
<b>Bell Otomatis</b>	2	4	1	2	2	1	4	2.296
<b>Access Point</b>	2	3	2	2	2	4	3	2.292
<b>Monitor</b>	1	3	1	2	1	4	4	1.794

Berdasarkan hasil penilaian AHP pada tabel di atas, solusi pada alternatif 1 memiliki jumlah nilai bobot terbesar yaitu dengan nilai total 3.498. Dengan demikian alternatif 1 yaitu konsep sistem dengan Palu sebagai penghasil sinyal akustik menjadi solusi yang terpilih untuk dikembangkan.

### 3 Desain Sistem

#### 3.1 Dekomposisi Fungsi Sistem

##### 3.1.1 Dekomposisi Fungsi Sistem Level 0

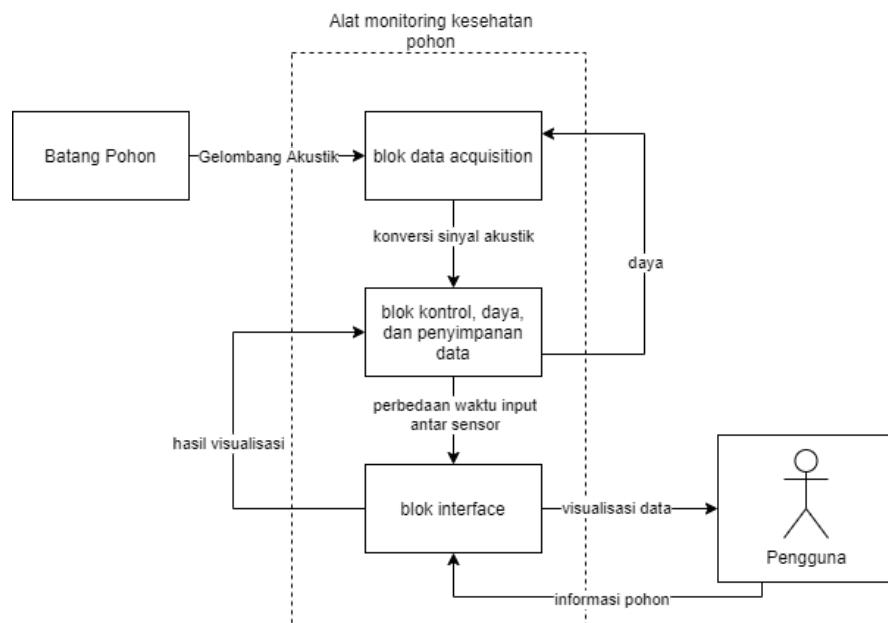


Gambar 3.1.1 Arsitektur Sistem Level 0

Tabel 3.1.1 Penjelasan Sistem Level 0

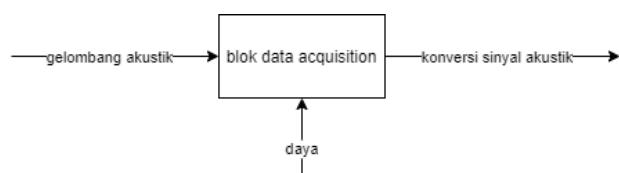
<b>Fungsi</b>	Melakukan visualisasi distribusi densitas batang pohon berdasarkan kecepatan gelombang akustik yang merambat dalam batang pohon
<b>Masukan</b>	Gelombang akustik, visualisasi pohon
<b>Luaran</b>	Visualisasi data

##### 3.1.2 Dekomposisi Fungsi Sistem Level 1



Gambar 3.1.2 Arsitektur sistem level 1

###### 3.1.2.1 Dekomposisi Fungsi Level 1 - Blok Data Acquisition

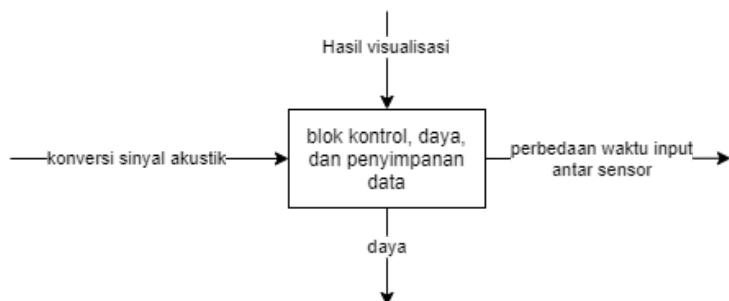


Gambar 3.1.2.1 Subsistem blok data acquisition

**Tabel 3.1.2.1 Penjelasan blok data acquisition**

<b>Fungsi</b>	Mengkonversi gelombang akustik menjadi sinyal listrik, mengkonversi menjadi sinyal digital, dan mengirimkan kepada blok kontrol, daya, dan penyimpanan data.
<b>Masukan</b>	Gelombang akustik, daya
<b>Luaran</b>	Konversi sinyal akustik

### 3.1.2.2 Dekomposisi Fungsi Level 1 - Blok Kontrol dan Komputasi

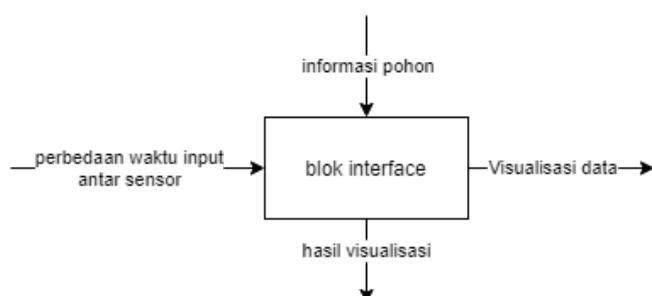


Gambar 3.1.2.2 Subsistem blok kontrol, daya, dan penyimpanan data

**Tabel 3.1.2.2 Penjelasan blok kontrol, daya, dan penyimpanan data**

<b>Fungsi</b>	Memberikan daya kepada blok sensor, menghitung waktu tempuh gelombang antar sensor
<b>Masukan</b>	Konversi sinyal akustik, hasil visualisasi
<b>Luaran</b>	Perbedaan waktu input antar sensor, daya

### 3.1.2.3 Dekomposisi Fungsi Level 1 - Blok Interface



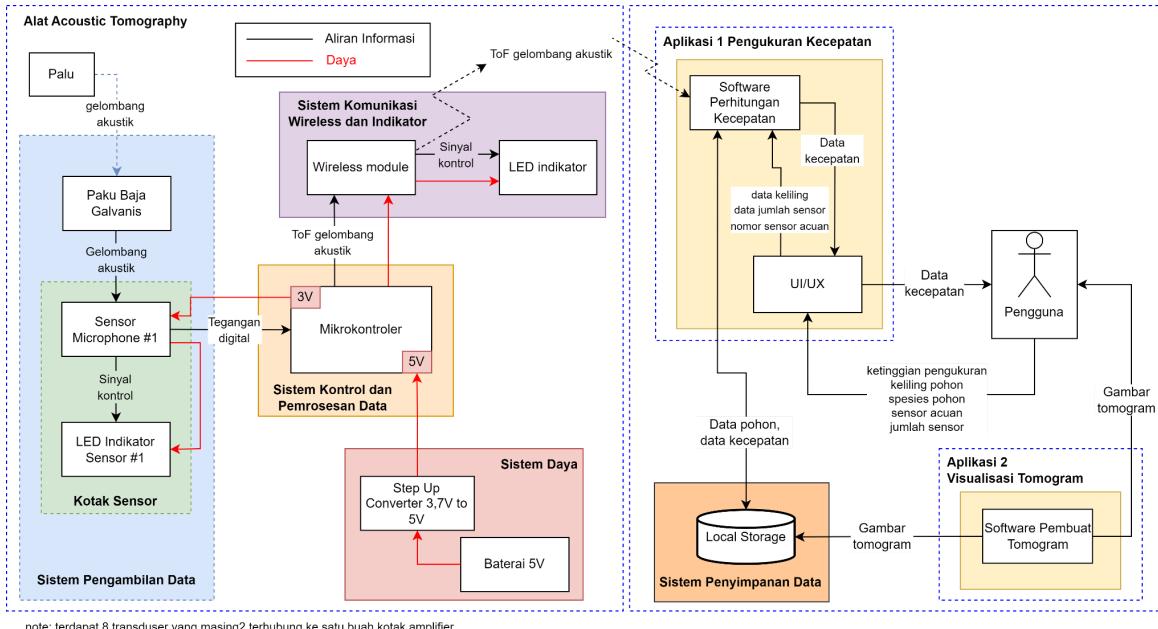
Gambar 3.1.2.3 Subsistem blok interface

**Tabel 3.1.2.3 Penjelasan blok interface**

<b>Fungsi</b>	Membuat visualisasi data berdasarkan cepat rambat gelombang antar sensor, menerima input informasi pohon dari user,
---------------	---

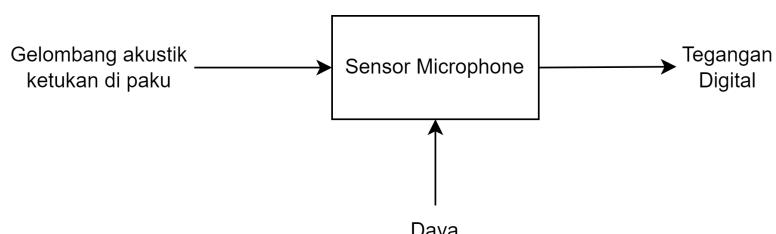
	mengirim hasil visualisasi kepada blok kontrol
<b>Masukan</b>	Perbedaan waktu input antar sensor, informasi pohon
<b>Luaran</b>	Visualisasi data, hasil visualisasi

### 3.1.3 Dekomposisi Fungsi Sistem Level 2



Gambar 3.1.3 Arsitektur sistem level 2

#### 3.1.3.1 Dekomposisi Fungsi Level 2 - Sensor *Microphone*



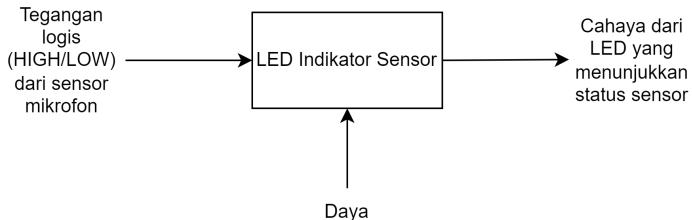
Gambar 3.1.3.1 Sistem sensor *microphone*

Tabel 3.1.3.1 Penjelasan sensor *microphone*

<b>Fungsi</b>	Mendeteksi gelombang akustik hasil ketukan yang merambat melalui batang pohon, kemudian mengubahnya menjadi sinyal listrik.
<b>Masukan</b>	Gelombang akustik, daya

<b>Luaran</b>	Tegangan digital yang merepresentasikan gelombang akustik yang terdeteksi
---------------	---

### 3.1.3.2 Dekomposisi Fungsi Level 2 - LED Indikator Sensor

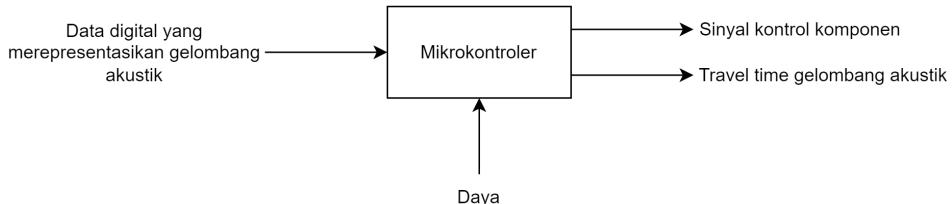


Gambar 3.1.3.2 LED indikator sensor

**Tabel 3.1.3.2 Penjelasan LED indikator sensor**

<b>Fungsi</b>	Memberikan indikasi visual terkait status operasional sensor (menyalा atau mati) serta mendeteksi keberadaan suara.
<b>Masukan</b>	Tegangan logis (HIGH/LOW) dari sensor mikrofon yang dipicu oleh perubahan akustik di lingkungan.
<b>Luaran</b>	Cahaya dari LED yang menunjukkan status sensor: menyalा (suara terdeteksi) atau mati (tidak ada suara).

### 3.1.3.3 Dekomposisi Fungsi Level 2 - Mikrokontroler

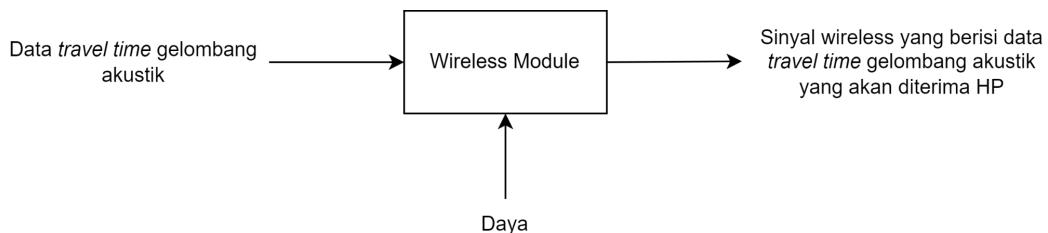


Gambar 3.1.3.3 Sistem mikrokontroler

**Tabel 3.1.3.3 Penjelasan mikrokontroler**

<b>Fungsi</b>	Menerima dan memproses data dari seluruh sistem alat <i>acoustic tomography</i> , termasuk komunikasi dengan modul Bluetooth.
<b>Masukan</b>	Data digital yang merepresentasikan gelombang akustik, daya
<b>Luaran</b>	Perintah kontrol untuk berbagai komponen dan data travel time gelombang akustik yang diteruskan ke modul Bluetooth

### 3.1.3.4 Dekomposisi Fungsi Level 2 - Wireless Module

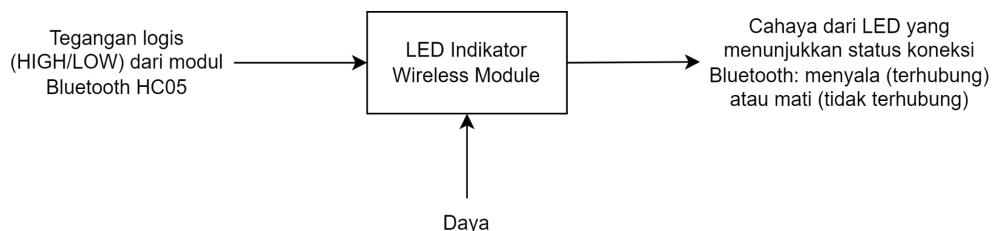


Gambar 3.1.3.4 Sistem wireless module

**Tabel 3.1.3.4 Penjelasan wireless module**

<b>Fungsi</b>	Sebagai alat komunikasi nirkabel antara alat akustik <i>tomography</i> dengan HP untuk mentransfer data travel time sinyal suara.
<b>Masukan</b>	Data <i>travel time</i> gelombang akustik, daya
<b>Luaran</b>	Sinyal Wireless yang berisi data <i>travel time</i> gelombang akustik yang akan diterima oleh aplikasi di HP

### 3.1.3.5 Dekomposisi Fungsi Level 2 - LED Indikator Wireless Module

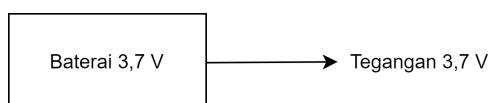


Gambar 3.1.3.5 Sistem LED indikator wireless module

**Tabel 3.1.3.5 Penjelasan LED indikator wireless module**

<b>Fungsi</b>	Memberikan indikasi visual terkait status koneksi Bluetooth antara <i>mainboard</i> dan perangkat ponsel.
<b>Masukan</b>	Tegangan logis (HIGH/LOW) dari modul Bluetooth HC05
<b>Luaran</b>	Cahaya dari LED yang menunjukkan status koneksi Bluetooth: menyala (terhubung) atau mati (tidak terhubung)

### 3.1.3.6 Dekomposisi Fungsi Level 2 - Sistem Daya

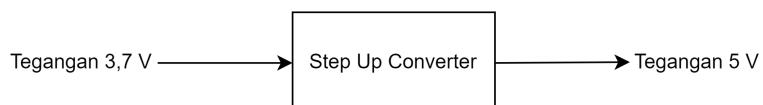


Gambar 3.1.3.6 Sistem daya

**Tabel 3.1.3.6 Penjelasan Sistem daya**

<b>Fungsi</b>	Menyediakan sumber daya yang stabil untuk seluruh sistem alat akustik <i>tomography</i> .
<b>Masukan</b>	Baterai 3,7V
<b>Luaran</b>	Tegangan 3,7V

### 3.1.3.7 Dekomposisi Fungsi Level 2 - Step Up Converter

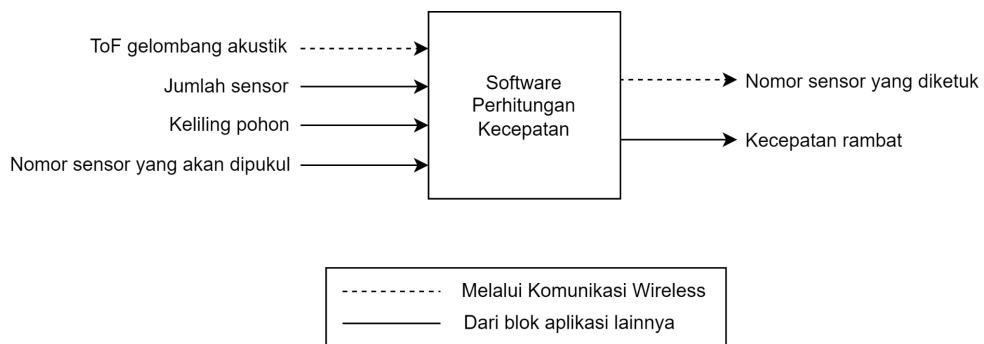


Gambar 3.1.3.7 Sistem *step up converter*

**Tabel 3.1.3.7 Penjelasan *step up converter***

<b>Fungsi</b>	Melakukan konversi tegangan input dari baterai 3,7 V ke tegangan 5 V yang sesuai untuk komponen sistem.
<b>Masukan</b>	Tegangan 3,7 V
<b>Luaran</b>	Tegangan 5 V

### 3.1.3.8 Dekomposisi Fungsi Level 2 - Software Perhitungan Kecepatan



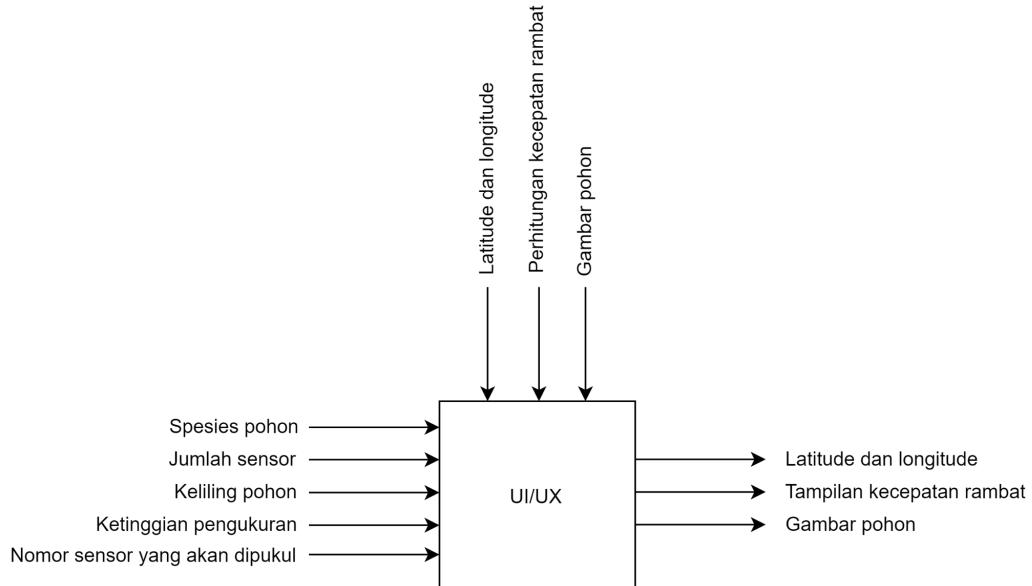
Gambar 3.1.3.8 Sistem Software perhitungan kecepatan

**Tabel 3.1.3.8 Penjelasan Software perhitungan kecepatan**

<b>Fungsi</b>	Menerima input pengguna lalu meneruskan nomor sensor acuan yang dipilih ke <i>mainboard</i> , lalu memproses data ToF yang diterima melalui koneksi wireless menjadi data kecepatan.
<b>Masukan</b>	ToF gelombang akustik dari tiap sensor dan input dari pengguna yang diteruskan dari UI/UX berupa:

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keliling pohon</li> <li>• Jumlah sensor yang digunakan</li> <li>• Nomor sensor yang akan dipukul</li> </ul>
<b>Luaran</b>	Nomor sensor acuan yang diketuk, kecepatan rambat suara

### 3.1.3.9 Dekomposisi Fungsi Level 2 - UI/UX



Gambar 3.1.3.9 Sistem UI/UX

Tabel 3.1.3.9 Penjelasan UI/UX

<b>Fungsi</b>	Merupakan antarmuka bagi pengguna dari aplikasi perangkat android untuk berinteraksi dengan sistem.
<b>Masukan</b>	Input dari pengguna melalui UI berupa: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Keliling pohon</li> <li>• Jumlah sensor yang digunakan</li> <li>• Spesies pohon yang diukur</li> <li>• Ketinggian pengukuran</li> <li>• Sensor acuan yang dipukul</li> </ul>
<b>Luaran</b>	Tampilan kecepatan rambat

### 3.1.3.10 Dekomposisi Fungsi Level 2 - GPS



Gambar 3.1.3.10 Sistem GPS

**Tabel 3.1.3.10 Penjelasan GPS**

<b>Fungsi</b>	Memberikan koordinat lokasi pohon berupa <i>latitude</i> dan <i>longitude</i> .
<b>Masukan</b>	Permintaan lokasi ke HP pengguna
<b>Luaran</b>	Koordinat lokasi berupa <i>latitude</i> dan <i>longitude</i>

### 3.1.3.11 Dekomposisi Fungsi Level 2 - Kamera

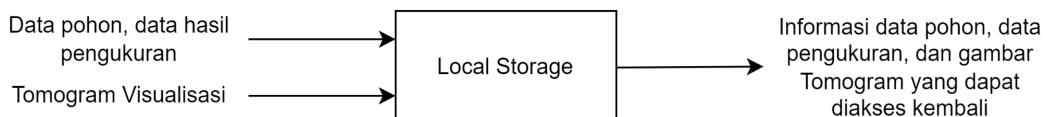


Gambar 3.1.3.11 Sistem kamera

**Tabel 3.1.3.11 Penjelasan kamera**

<b>Fungsi</b>	Memberikan <i>preview</i> gambar melalui kamera kepada pengguna dan mengembalikan gambar yang diambil ke antarmuka aplikasi.
<b>Masukan</b>	Permintaan <i>preview</i> kamera ke HP pengguna
<b>Luaran</b>	Gambar pohon yang diambil pengguna

### 3.1.3.12 Dekomposisi Fungsi Level 2 - Penyimpanan Data



Gambar 3.1.3.12 Sistem penyimpanan data

**Tabel 3.1.3.12 Penjelasan penyimpanan data**

<b>Fungsi</b>	Penyimpanan data bertugas untuk menyimpan semua data pohon, data hasil pengukuran.
<b>Masukan</b>	Informasi data pohon, data kecepatan hasil pengukuran, hasil visualisasi batang pohon
<b>Luaran</b>	Data pohon dan data hasil pengukuran yang dapat diakses kembali oleh pengguna untuk melakukan visualisasi atau analisis lebih lanjut

### 3.1.3.13 Dekomposisi Fungsi Level 2 - Visualisasi



Gambar 3.1.3.13 Sistem visualisasi

**Tabel 3.1.3.13 Penjelasan visualisasi**

<b>Fungsi</b>	Melakukan visualisasi terhadap kondisi internal batang pohon berdasarkan hasil pengukuran yang telah dilakukan.
<b>Masukan</b>	Data kecepatan hasil pengukuran
<b>Luaran</b>	Tomogram visualisasi internal batang pohon dalam bentuk gambar

## 3.2 Pemodelan Tingkah Laku Sistem

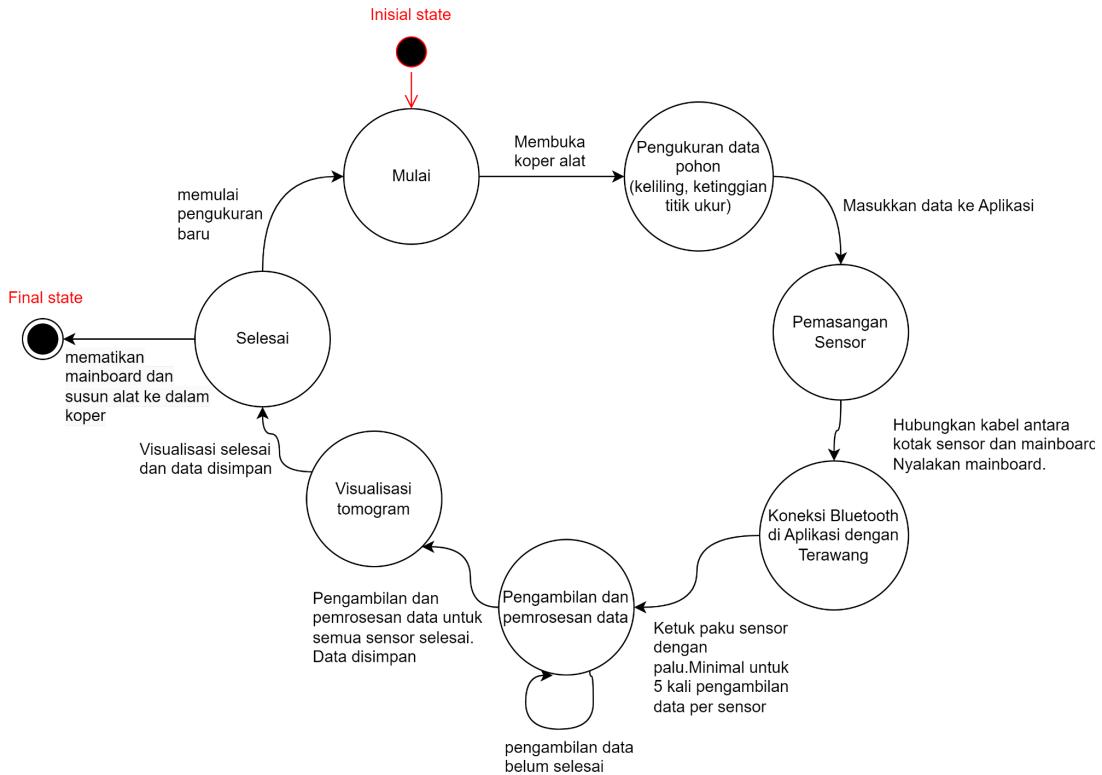
### 3.2.1 State Diagram

State diagram menggambarkan berbagai status yang dapat dicapai oleh sistem dan transisi antara status-status tersebut. Pada sistem monitoring kondisi internal batang pohon menggunakan metode *Acoustic Tomography*, state diagram menggambarkan alur proses mulai dari inisialisasi hingga penyimpanan data akhir. Diagram ini penting untuk memahami bagaimana sistem bergerak dari satu status ke status lain berdasarkan aksi dan kondisi tertentu.

#### 3.2.1.1 Status State Diagram

Status	Deskripsi	Tindakan Pengguna	Transisi
<b>Mulai</b>	Sistem dalam keadaan siap namun belum aktif	Membuka koper alat	Ke status Pengukuran Keliling Pohon setelah alat dikeluarkan dari koper.
<b>Pengukuran keliling batang pohon</b>	Sistem sedang dalam proses persiapan, termasuk pemasangan sensor 1.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Masukkan ujung meteran ke paku sensor 1, lalu tancapkan sensor 1 ke pohon dengan mengetuk sensor sampai pembatas paku bersentuhan dengan kulit pohon.</li> <li>Mengukur keliling batang pohon dan ketinggian titik ukur dan biarkan meteran terpasang selama pengukuran.</li> </ul>	Ke status Pemasangan Sensor setelah data keliling dan ketinggian titik ukur telah diidentifikasi.
<b>Pemasangan Sensor</b>	Sensor sedang dipasang ke posisi yang telah ditentukan.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Memasang sensor ke pohon berdasarkan lokasi pemasangan sensor yang muncul di aplikasi.</li> <li>Menghubungkan sensor ke konektor pada mainboard menggunakan kabel sesuai nomor.</li> </ul>	Ke status Koneksi Bluetooth setelah pemasangan selesai.

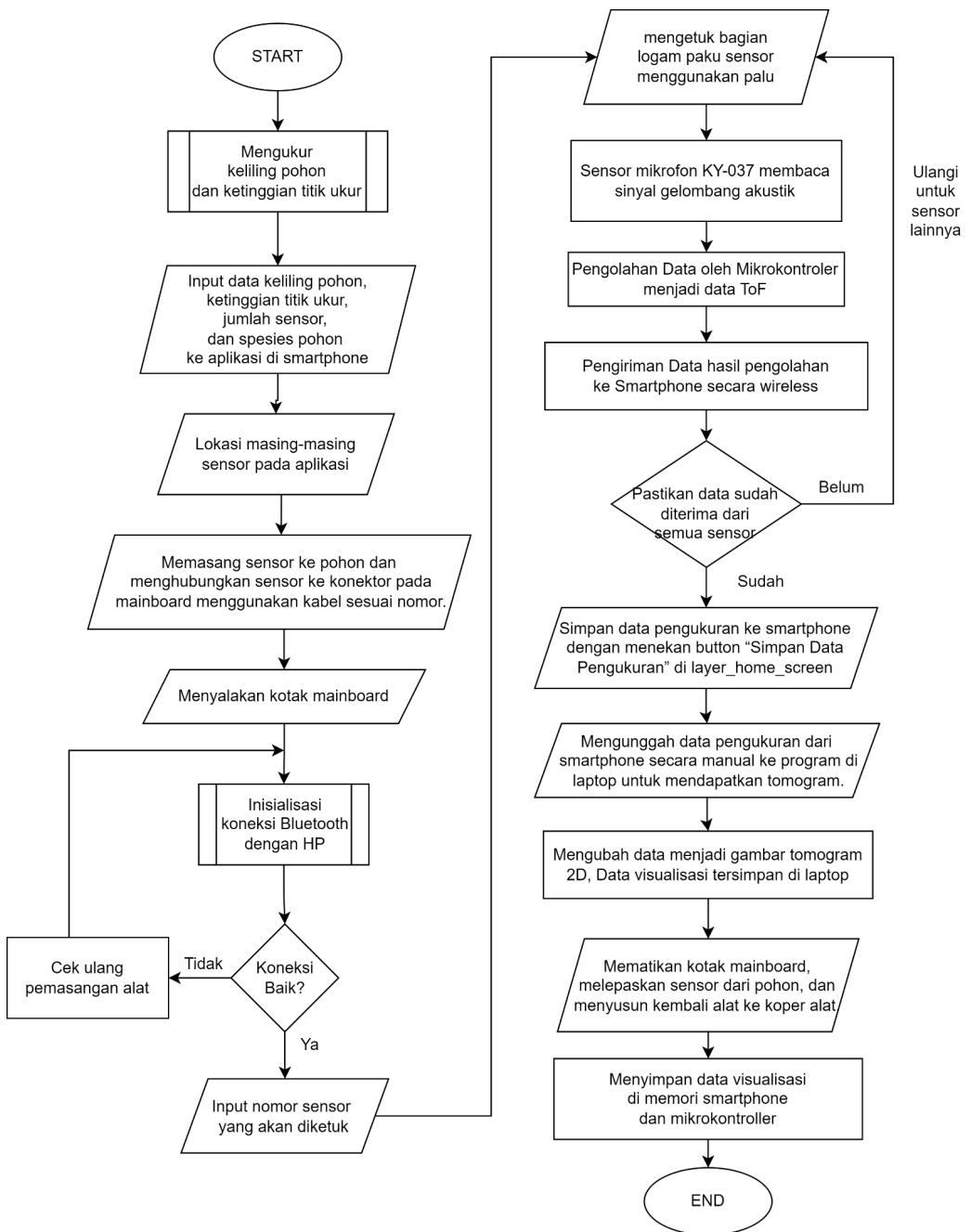
<b>Koneksi Bluetooth</b>	Sistem sedang menghubungkan perangkat dengan aplikasi menggunakan Bluetooth.	Menyalakan kotak mainboard dan menyambungkan koneksi <i>wireless</i> antara <i>smartphone</i> dengan kotak <i>mainboard</i> dengan memilih Terawang_v.1 di pilihan <i>device</i> yang tersambung.	Ke status Pengambilan dan Pemrosesan Data setelah koneksi berhasil.
<b>Pengambilan dan Pemrosesan Data</b>	Sistem mengumpulkan data dari sensor dan memprosesnya menjadi data ToF.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Pilih nomor sensor yang akan diketuk pada aplikasi.</li> <li>● Ambil data dengan mengetuk bagian logam paku sensor yang sesuai dengan yang dipilih.</li> <li>● Tunggu setidaknya selama 3 detik agar hasil pemrosesan data muncul</li> <li>● Untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, lakukan pengambilan data dengan mengetuk lebih dari satu kali.</li> <li>● Tekan “Hitung rata-rata kecepatan” untuk menampilkan rata-rata dari hasil ketukan.</li> <li>● Simpan data pengukuran sensor terpilih dengan menekan “Simpan”.</li> <li>● Ulangi pengukuran dengan memilih nomor sensor lainnya, sampai data semua sensor telah didapatkan dan disimpan.</li> <li>● Setelah semua data sensor didapatkan, simpan data pengukuran ke <i>smartphone</i> dengan menekan button “Simpan Data Pengukuran” di layer <i>_home_screen</i>.</li> </ul>	Ke status Visualisasi Tomogram setelah data berhasil diproses.
<b>Visualisasi Tomogram</b>	Data hasil pengukuran divisualisasikan dalam bentuk tomogram pada program visualisasi.	Mengunggah data pengukuran dari <i>smartphone</i> secara manual ke program di laptop untuk mendapatkan tomogram.	Ke status Selesai setelah visualisasi selesai.
<b>Selesai</b>	Sistem telah selesai melakukan semua proses pengukuran dan visualisasi.	Mematikan kotak mainboard, melepaskan sensor dari pohon, dan menyusun kembali alat ke koper alat.	Kembali ke status <i>Mulai</i> jika ingin melakukan pengukuran ulang.



Gambar 3.2.1 State diagram acoustic tomography

### 3.2.2 Flowchart

Flowchart menggambarkan alur proses dalam sistem monitoring kondisi internal batang pohon menggunakan metode *Acoustic Tomography*. Diagram ini menjelaskan langkah-langkah yang harus dilakukan dari awal proses hingga akhir, termasuk interaksi pengguna dan pemrosesan data oleh sistem.



Gambar 3.2.2 Diagram alir *acoustic tomography*

### 3.2.3 Data Flow Diagram (DFD)

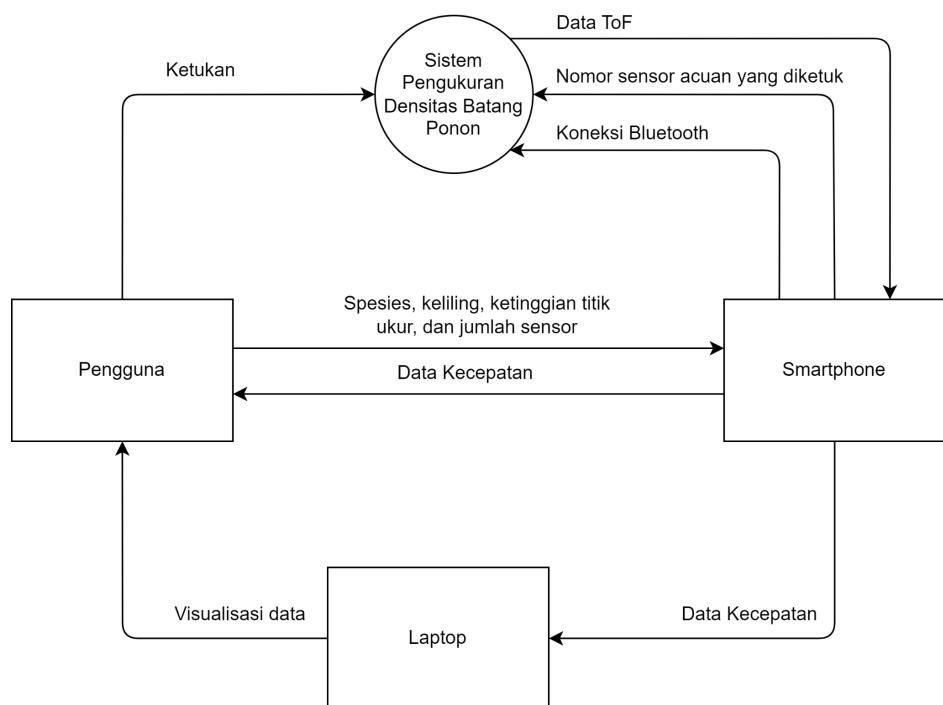
*Data Flow Diagram* (DFD) menggambarkan aliran data dalam sistem monitoring kondisi internal batang pohon menggunakan metode *Acoustic Tomography*. Diagram ini menunjukkan bagaimana data berpindah dari satu bagian sistem ke bagian lainnya, termasuk proses-proses yang memanipulasi data tersebut.

#### 3.2.3.1 Level-Level DFD

DFD dapat dibagi menjadi beberapa level untuk menunjukkan detail yang lebih rinci pada setiap tahap proses. Dalam dokumen ini, akan dibahas DFD level 0 (konteks diagram), level 1, dan level 2 untuk sistem pengukuran densitas batang pohon.

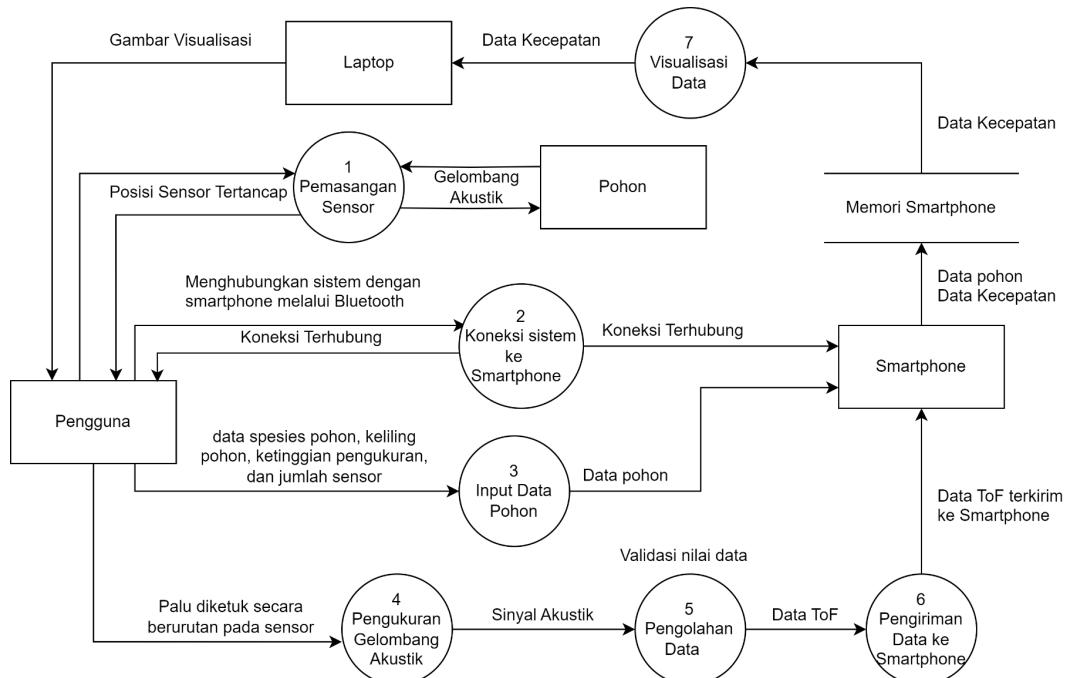
### 3.2.3.2 DFD Level 0

DFD level 0 atau konteks diagram menunjukkan sistem secara keseluruhan dan interaksinya dengan entitas luar (pengguna).



Gambar 3.2.3.2 DFD level 0 *Acoustic Tomography*

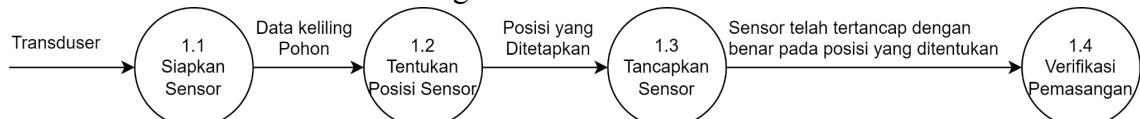
### 3.2.3.3 DFD Level 1



Gambar 3.2.3.3 DFD level 0 *Acoustic Tomography*

### 3.2.3.4 DFD Level 2

#### 3.2.3.4.1 Sub-Proses 1.0 : Pemasangan Transduser



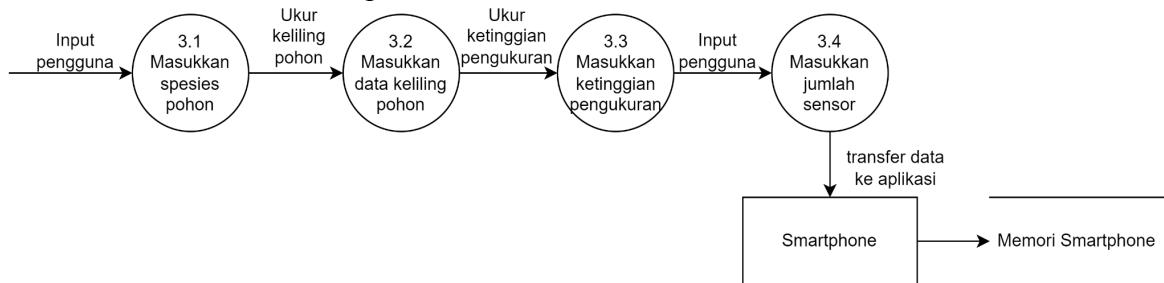
Gambar 3.2.3.4.1 DFD level 2 subproses

#### 3.2.3.4.2 Sub-Proses 2.0 : Koneksi ke Smartphone



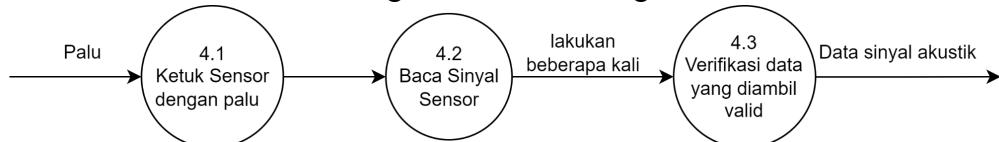
Gambar 3.2.3.4.2 DFD level 2 subproses 2

#### 3.2.3.4.3 Sub-Proses 3.0 : Input Data Pohon



Gambar 3.2.3.4.3 DFD level 2 subproses 3

#### 3.2.3.4.4 Sub-Proses 4.0 : Pengukuran Gelombang Akustik



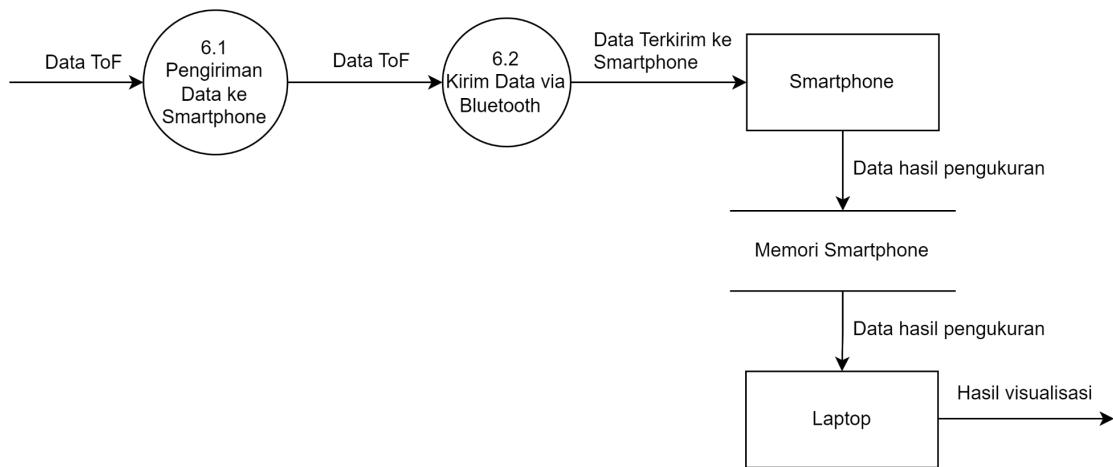
Gambar 3.2.3.4.4 DFD level 2 subproses 4

#### 3.2.3.4.5 Sub-Proses 5.0 : Pengolahan Data



Gambar 3.2.3.4.5 DFD level 2 subproses 5

### 3.2.3.4.6 Sub-Proses 6.0 : Pengiriman Data ke Smartphone



Gambar 3.2.3.4.6 DFD level 2 subproses 6

## 3.2.4 Entity Relationship Diagram

*Entity Relationship Diagram* (ERD) adalah representasi visual dari entitas data yang digunakan dalam sistem monitoring kondisi internal batang pohon menggunakan metode *Acoustic Tomography* dan hubungan antara entitas-entitas tersebut. ERD membantu dalam memahami struktur data sistem serta bagaimana data tersebut saling terkait dan berinteraksi.

### 3.2.4.1 Komponen ERD

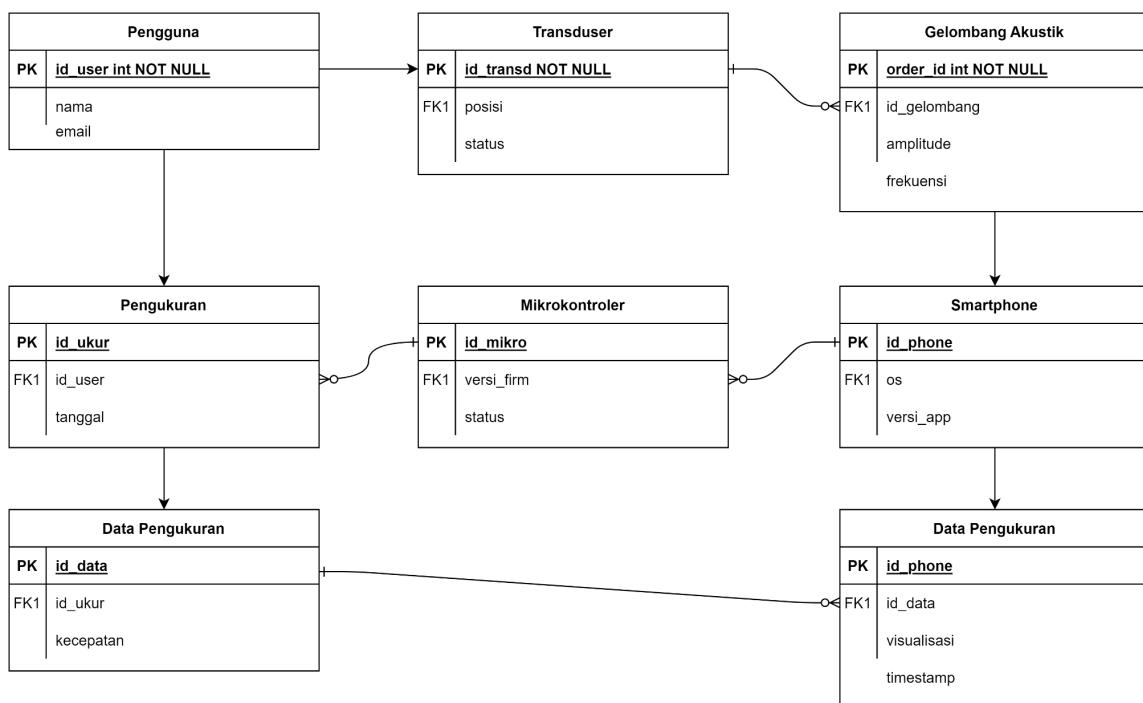
#### Entitas-Entitas Utama

1. Pengguna
2. Transduser
3. Gelombang Akustik
4. Mikrokontroler
5. *Smartphone*
6. Pengukuran
7. Data Pengukuran

#### Hubungan Utama:

1. Menggunakan (Pengguna dengan Transduser)
2. Menghasilkan (Transduser dengan Gelombang Akustik)
3. Memproses (Mikrokontroler dengan Gelombang Akustik)
4. Mengirim (Mikrokontroler dengan *Smartphone*)
5. Menyimpan (*Smartphone* dengan Data Pengukuran)
6. Melakukan (Pengguna dengan Pengukuran)

#### 3.2.4.2 Diagram ERD



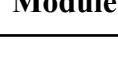
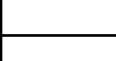
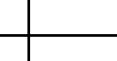
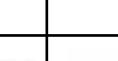
Gambar 3.2.3.4.1 ERD *acoustic tomography*

## 4 Pemilihan Komponen

## 4.1 Sensor

Sensor digunakan sebagai pendeksi gelombang akustik yang merambat dari batang kayu. Sensor yang digunakan tersedia dari beberapa pilihan yaitu sensor piezoelectric accelerometer maupun sensor microphone

**Tabel 4.2 Pemilihan piezoelectric sensor**

Spesifikasi	Analog Piezo Sensor Module	MPU6050	GY-BMI160	ADXL335	KY-037
Gambar					
Operating Voltage	3,3V - 5V	3,3V	1,8V - 3,6V	1,8V - 3,6V	3,3 V - 5V
Frequency Response	1Hz - 100kHz	acc / gy : 30-36kHz	acc : 1600 Hz gy : 2000 Hz	acc : X/Y axis: 0.5 - 1600 Hz	20Hz - 20kHz

				Z axis : 0.5 - 500 Hz	
<b>Sensitivity</b>	0,1mV/N s.d. 10mV/N	acc : ± 250 sd ± 2000 derajat/s  gy : 2048 s.d. 16384 LSB/g	acc : ± 125 sd ± 2000 derajat/s  gy : 2048 s.d. 16384 LSB/g	600mV/g	-42 s.d. 2 dB
<b>Harga</b>	Rp. 7.500,-	Rp 30.000,-	Rp. 99.000,-	Rp. 135.000,-	Rp 19.000,-

Karena kelompok tidak dapat menemukan *resonance frequency* dari datasheet masing-masing komponen, namun saat dilakukan pengujian ketiga sensor diatas, didapatkan bahwa sensor modul KY-037 memiliki sensitivitas yang tinggi dan mampu mendeteksi adanya sumber suara maupun getaran. Selain itu hasil yang didapatkan menggunakan sensor KY-037 stabil dan sesuai dengan referensi. Sehingga untuk sensor modul yang dipilih adalah KY-037.

#### 4.2 Paku

Paku tranduser akan dipasang pada kotak sensor dan ditancapkan ke dalam batang pohon. Paku akan meneruskan getaran/rambatan yang dihasilkan oleh pukulan palu, sehingga merambat dari sensor yang dipukul ke sensor penerima.

Tabel 4.2 Pemilihan paku

Spesifikasi	Paku Stainless Steel (Tipe 316)	Paku Baja Galvanis	Paku kayu
<b>Gambar</b>			
<b>Kokoh</b>	Kokoh dan kuat	Kokoh dan kuat	Kurang Kokoh
<b>Tidak Merusak Pohon</b>	Tidak merusak	Tidak merusak	Tidak merusak
<b>Tahan panas dan air</b>	Tahan terhadap panas dan air	Tahan terhadap air namun tidak tahan terhadap panas yang tinggi karena lapisan galvanis akan rusak	Tidak Tahan Panas dan Air
<b>Tahan korosi</b>	Tahan korosi	Tahan korosi jika lapisan galvanisnya tidak rusak	Tidak tahan korosi
<b>Harga</b>	Rp. 16.000,-	Rp. 8000,-	Rp. 200,-

Komponen yang dipilih adalah paku baja galvanis putih karena stoknya tersedia di dalam negeri, mudah didapatkan, lebih murah dibandingkan stainless steel dan titanium, lalu juga kokoh dan tahan korosi. Selain itu paku baja galvanis putih tersedia pada ukuran yang sesuai dengan kebutuhan alat yaitu 10-12 cm.

### **4.3 Palu**

Palu berfungsi untuk memukul paku yang ada di kotak sensor. Bahan atau jenis palu yang digunakan akan berpengaruh terhadap frekuensi sinyal yang dihasilkan.

**Tabel 4.2 Pemilihan palu**

	<b>Palu Kayu</b>	<b>Palu Karet</b>	<b>Palu Besi</b>
<b>Gambar</b>			
<b>Frekuensi suara pukulan yang dihasilkan terhadap paku</b>	500 - 1500 Hz	100 - 500 Hz	1000 - 5000 Hz
<b>Harga</b>	Rp. 24.000,-	Rp 25.000,-	Rp. 58.000,-

Ketiga frekuensi suara yang dihasilkan oleh pukulan ketiga palu tersebut masih dapat dideteksi oleh sensor yang terpilih yaitu KY-037. Namun untuk menembus pohon kayu yang berdiameter besar dibutuhkan amplitudo suara pukulan yang besar juga agar sinyal akustik mampu menembus dan tidak teredam habis selama merambat. Dari ketiga jenis palu tersebut, palu besi akan menghasilkan amplitudo suara paling besar jika dipukulkan pada paku baja. Oleh karena itu, palu besi yang dipilih untuk kebutuhan alat.

### **4.4 Mikrokontroler**

**Tabel 4.2 Pemilihan mikrokontroler**

	<b>NodeMCU Lolin V3 (ESP8266)</b>	<b>ESP32 Wroom 32E</b>	<b>Teensy 4.1</b>
<b>Gambar</b>			
<b>Operating Voltage</b>	5 V	3 V - 3.6 V	3.3 V
<b>Storage</b>	Flash Memory 4 MB	448 KB ROM 520 KB SRAM	7936KB Flash,

	128 KB SRAM	16 KB SRAM RTC	1024KB RAM 4KB EEPROM
<b>Clock</b>	80 MHz	Up to 240 MHz	600 MHz
<b>GPIO Pin</b>	16	38	55
<b>Harga</b>	Rp. 155.000,-	Rp1.015.320	Rp. 850.000,-

Komponen yang terpilih adalah Teensy 4.1 karena mempertimbangkan *clock speed* dan jumlah pin.

#### 4.5 Kabel

Kabel pada produk digunakan untuk menghubungkan kotak sensor ke kotak mainboard. Pada dokumen B200, kabel telah ditentukan untuk memiliki panjang sekitar 300 cm. Kabel yang panjang akan menyebabkan adanya delay pengiriman sebelum sampai ke mainboard. Data maksimum yang perlu ditransmisikan sebesar 1.6 Mbps.

Tabel 4.4 Pemilihan kabel

	Kabel 24AWG <i>3 cores</i>	Kabel STP (Cat 7)	Kabel Koaksial (RG-6/U)
<b>Gambar</b>			
<b>Bandwidth</b>	100 MHz	up to 600 MHz	Bervariasi (1 MHz <i>lowest</i> )
<b>Transmission Rate</b>	1 Gbps	up to 10 Gbps	bervariasi, biasanya sampai Gbps
<b>Impedance</b>	100 Ω	100 Ω	75 Ω
<b>Konektor</b>	GX12 3 pin	RJ45	BNC
<b>Harga</b>	Rp 9.000,- (1 meter)	Rp 70.000,- (5 meter)	Rp 32.500,- (10 meter)

Seluruh komponen memiliki spesifikasi yang melebihi *requirement* dari alat, sehingga dengan mempertimbangkan jumlah jalur data yang dimiliki kabel, fleksibilitas dan ketersediaan di pasar maka dapat digunakan jenis kabel 24AWG 3 *cores*.

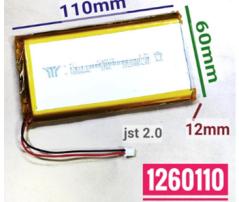
#### 4.6 Baterai

Berdasarkan rancangan produk menggunakan *rechargeable battery* yang tersambung ke mainboard untuk mempermudah pemasangan. Oleh karena itu, baterai yang digunakan

harus berukuran kecil dengan berat yang ringan. Komponen seperti sensor suara mikrofon KY-037 membutuhkan tegangan input 3,3V sementara mikrokontroler beroperasi pada tegangan 5 V.

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan pada dokumen B200, estimasi besar daya yang digunakan dalam satu hari adalah 7.000 mWh (minimum).

**Tabel 4.5 Pemilihan baterai**

	Baterai 7,4 V (Li-ion)	Baterai 9 V (LiFePO <sub>4</sub> )	Baterai 3,7V (Li-Po)
<b>Gambar</b>			
<b>Ukuran</b>	70 x 38 x 20 mm	26 x 16 x 45 mm	110 x 60 x 12
<b>Berat</b>	100 gram	150 gram	164 gram

Ketiga baterai dengan pilihan tegangan diatas memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan, dengan berat dan dimensi yang kecil agar mudah untuk dilepas-pasang saat melakukan pengisian daya. Ketiga baterai tersebut juga memiliki variasi daya diatas 1000 mAh. Kami memilih komponen baterai Lithium Polymer (Li-Po) karena bentuknya yang fleksibel dan tidak menghabiskan banyak space pada PCB. Baterai Lipo cocok untuk alat portabel dan untuk mengintegrasikannya ke PCB cukup menggunakan JST *male*, tidak perlu menggunakan socket baterai di PCB. Baterai ini juga sudah dilengkapi dengan IC *Protection*, sehingga aman apabila baterai mengalami *overcharged* maupun *undervoltage*.

#### **4.7 Step Up Converter**

Produk menggunakan baterai tegangan 3,7V 10000mAh. Komponen seperti mikrokontroler membutuhkan tegangan operasi sebesar 5 V. Penggunaan *step up converter* dibutuhkan agar sistem dapat mengalirkan tegangan yang sesuai dengan *operating voltage* dari mikrokontroler.

**Tabel 4.6 Pemilihan voltage regulator**

	DC Step Up to 5V	SX1308	MT3608
<b>Gambar</b>			
<b>Output Voltage</b>	5 V	2 - 28 V (Adjustable)	5V - 28V (Adjustable)
<b>Input Voltage</b>	1-5 V	2 - 24 V	2 - 24 V

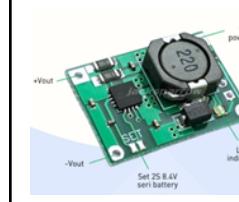
<b>Max output current</b>	0.6 A	2 A	2 A
<b>Efisiensi</b>	96 %	±95%	±93%
<b>Frekuensi Osilasi</b>	-	1.2 MHz	-
<b>Dimensi</b>	17x 25x6 mm	23 x 16 x 15 mm	30x17x14mm
<b>Harga</b>	Rp7.500,-	Rp 7.500,-	Rp 8.000,-

Dengan mempertimbangkan maksimum arus *output*, efisiensi, dan dimensi, komponen yang dipilih adalah SX1308 karena komponen ini sudah dilengkapi dengan proteksi *short circuit* dan *overheating*, kemudian memiliki efisiensi dan *output* arus yang tinggi.

#### 4.8 Modul Charger Baterai

Produk menggunakan baterai tegangan 3,7V 10000mAh. Baterai bersifat rechargeable. Untuk mengisi ulang daya baterai perlu modul charger yang menghubungkan sumber listrik ke baterai.

Tabel 4.6 Pemilihan voltage regulator

	<b>Charger USB-JST</b>	<b>TP1500</b>	<b>TP4056</b>
<b>Gambar</b>			
<b>Output Voltage</b>	3,7 V	4,2 V	4.2V ± 1%
<b>Input</b>	5 V 2A	5 - 15 V	4,5 - 5,5 V
<b>Max output current</b>	400mA	2 A	1 A
<b>Port</b>	JST 2.0	-	Type C
<b>Dimensi</b>	17x 25x6 mm	25 x 17 mm	17.2 x 27.55 mm
<b>Harga</b>	Rp21.500,-	Rp 11.300,-	Rp 4.000,-

Baterai akan diletakkan di dalam casing alat, tepatnya di bawah PCB. Sehingga untuk isi ulang daya baterai harus dilakukan melalui casing alat, bukan melepaskan baterai dari dalam casing. Untuk itu diperlukan port yang mampu menghubungkan antara input tegangan dengan modul charger pada casing alat. Komponen yang memenuhi itu adalah TP4056, modul ini juga sudah dilengkapi dengan IC protection dan sangat cocok dengan baterai yang akan digunakan. Type C USB yang terdapat pada modul charger memungkinkan pengguna untuk isi ulang baterai menggunakan adaptor atau charger HP pada umumnya.

## 4.9 Software Development Kit Aplikasi Perhitungan Kecepatan

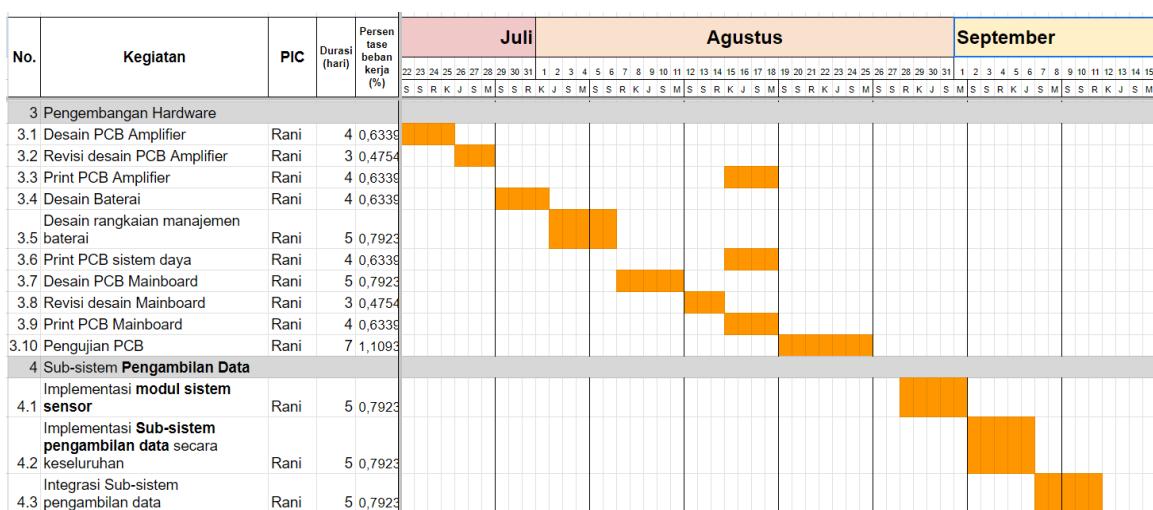
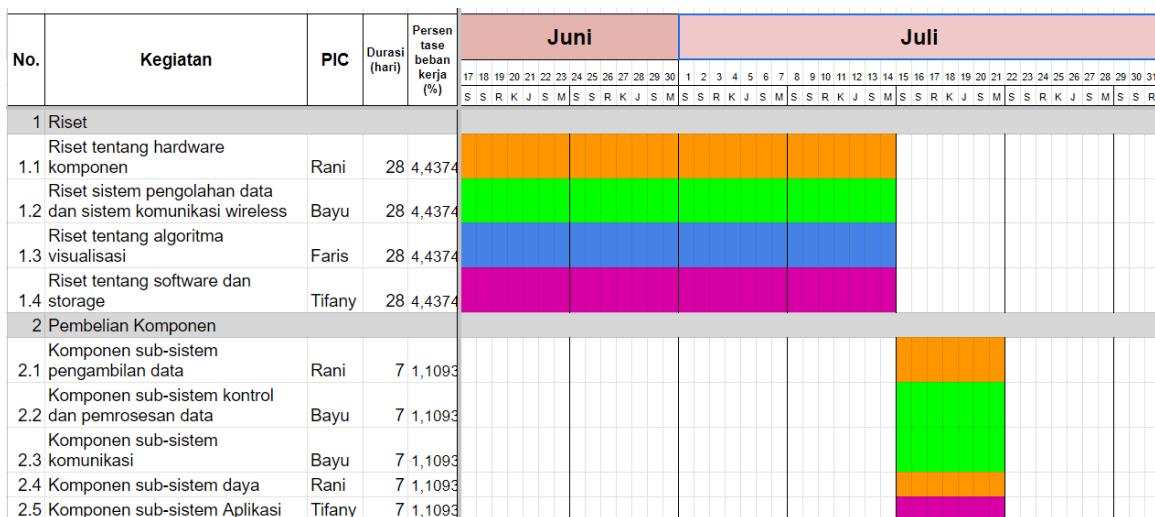
Tabel 4.2 Pemilihan SDK

	a. Flutter	React Native	Ionic
<b>Gambar</b>	 Flutter	 React Native	 Ionic
<b>Platform yang didukung</b>	iOS, Android, Web, Desktop	iOS, Android	iOS, Android, Web
<b>Bahasa Pemrograman</b>	Dart	JavaScript	JavaScript, HTML, CSS
<b>Keunggulan</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Performa native</li> <li>- Dukungan UI kustom</li> <li>- Komunitas besar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Berbasis JavaScript</li> <li>- Integrasi mudah dengan layanan web</li> <li>- Komunitas besar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fokus pada aplikasi berbasis web</li> <li>- Mudah diintegrasikan dengan backend</li> </ul>
<b>Kelemahan</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menggunakan Dart sehingga harus mempelajari bahasa pemrograman baru</li> <li>- Ukuran file aplikasi besar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Performa kurang untuk animasi kompleks</li> <li>- Perlu tambahan library untuk fitur tertentu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Performa lebih rendah dibanding Flutter dan React Native</li> </ul>
<b>Harga</b>	Gratis	Gratis dengan biaya tambahan untuk beberapa library	Gratis dengan biaya tambahan untuk beberapa library

SDK yang terpilih adalah Flutter karena pengembang masih baru terhadap bahasa pemrograman seperti Dart maupun ReactNative dan Dart lebih unggul karena relatif lebih mudah untuk dipelajari oleh pemula, memiliki sintaks yang sederhana, dan mendukung pengembangan aplikasi yang cepat. Selain itu, Flutter memiliki dukungan pengembangan customized UI yang lebih mudah untuk desain yang kompleks.

## 5 Jadwal Pengerjaan

Gantt Chart proses implementasi dan pengujian yang akan dilakukan pada Tugas Akhir II. Waktu pengerjaan dimulai dari bulan Juni sampai Desember 2024. Setiap anggota diatur agar mendapatkan persentase bobot tugas yang merata.

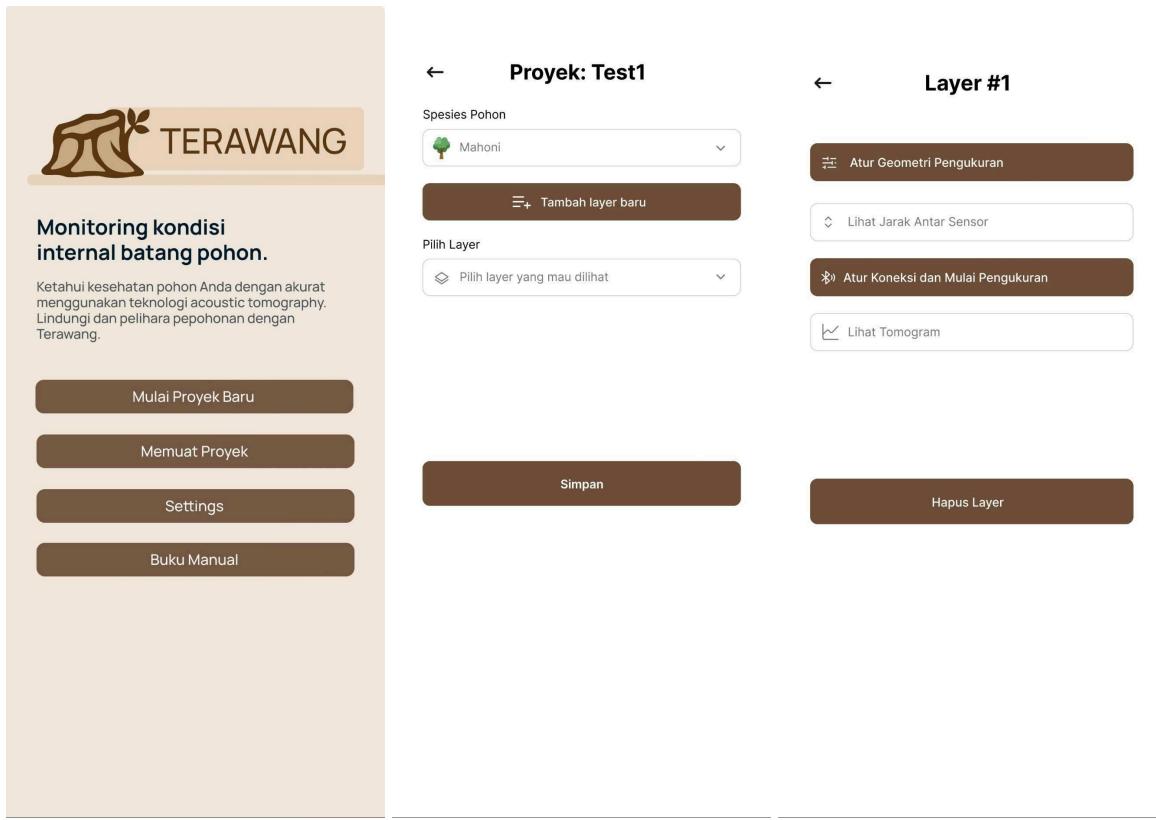






## 6 Lampiran

Prototype Awal UI - Video bisa dilihat di: <https://youtu.be/PE-C8-YallM>



This part of the screenshot shows two measurement setup screens and one sensor connection screen.

The first screen on the left is titled 'Layer #1' with the sub-instruction 'Masukkan geometri pengukuran!'. It contains fields for 'Lingkar Keliling Pohon (cm)', 'Kedalaman Penetrasi (cm)', 'Ketebalan Kulit Batang (cm)', 'Jumlah Sensor' (with a dropdown menu showing '# 8, 10, 12, dst'), and 'Ketinggian Pengukuran' (with a text input field). A 'Simpan' button is at the bottom.

The second screen in the middle is also titled 'Layer #1' with the sub-instruction 'Sambung device dan mulai pengukuran!'. It shows a status 'Mulai' (grey button) and 'Tidak Tersambung' (grey button). Below this are two dropdown menus: 'Sensor acuan yang diketuk' (with a note: '\*otomatis muncul sebagai tersambung jika sudah terkoneksi di instant access HP') and 'Sensor acuan yang diketuk'.

The third screen on the right is also titled 'Layer #1' with the sub-instruction 'Sambung device dan mulai pengukuran!'. It shows a 'Mulai' button (grey button) and a 'Mencari Device...' button (green button). Below these are two tables:

Sensor	V (m/s)	RVD (%)	Deviasi
#1	0	0	Tinggi
#2	0	0	Tinggi
#3	0	0	Tinggi
#4	0	0	Tinggi
#5	0	0	Tinggi
#6	0	0	Tinggi
#7	0	0	Tinggi
#8	0	0	Tinggi

Sensor	V (m/s)	RVD (%)	Deviasi
#1	0	0	Tinggi
#2	0	0	Tinggi
#3	0	0	Tinggi
#4	0	0	Tinggi
#5	0	0	Tinggi
#6	0	0	Tinggi
#7	0	0	Tinggi
#8	0	0	Tinggi

**Layer #1**

Sambung device dan mulai pengukuran!

Mulai      Mencari Device...

**Pilih device...**

- Terawang\_bluetooth
- Samsung S22 Ultra
- soundcore Liberty 4 NC

#2	0	0	Tinggi
#3	0	0	Tinggi
#4	0	0	Tinggi
#5	0	0	Tinggi
#6	0	0	Tinggi
#7	0	0	Tinggi
#8	0	0	Tinggi

**Layer #1**

Mulai pengukuran!

Berhenti      Tersambung

**Pilih sensor acuan yang diketuk**

- Sensor #1
- Sensor #2
- Sensor #3
- Sensor #4
- Sensor #5
- Sensor #6
- Sensor #7
- Sensor #8

#4	0	0	Tinggi
#5	0	0	Tinggi
#6	0	0	Tinggi
#7	0	0	Tinggi
#8	0	0	Tinggi

**Layer #1**

Mulai pengukuran!

Berhenti      Tersambung

**Sensor #1**

Ketuk Sensor #1 untuk mengambil data!

Sensor	V (m/s)	RVD (%)	Deviasi
#1	4.550	9	Normal
#2	4.500	10	Normal
#3	4.400	12	Normal
#4	4.350	13	Normal
#5	4.300	14	Normal
#6	3.750	25	Sedang
#7	4.550	9	Normal
#8	4.750	5	Normal

**Simpan**

**Layer #1**

Mulai pengukuran!

Berhenti      Tersambung

**Sensor #1**

- Sensor #1
- Sensor #2
- Sensor #3
- Sensor #4
- Sensor #5
- Sensor #6
- Sensor #7
- Sensor #8

#4	4.350	13	Normal
#5	4.300	14	Normal
#6	3.750	25	Sedang
#7	4.550	9	Normal
#8	4.750	5	Normal

**Simpan**

**Layer #1**

Mulai pengukuran!

Berhenti      Tersambung

**Sensor #2**

- Sensor #1
- Sensor #2
- Sensor #3
- Sensor #4
- Sensor #5
- Sensor #6
- Sensor #7
- Sensor #8

#4	4.350	13	Normal
#5	4.300	14	Normal
#6	3.750	25	Sedang
#7	4.300	14	Normal
#8	4.750	5	Normal

**Simpan**

**Layer #1**

Mulai pengukuran!

**Stop**

**Sensor #3**

Ketuk Sensor #3 untuk mengambil data!

Sensor	V (m/s)	RVD (%)	Deviasi
#1	4.550	9	Normal
#2	4.400	12	Normal
#3	4.400	12	Normal
#4	4.350	13	Normal
#5	4.300	14	Normal
#6	4.450	11	Normal
#7	4.300	14	Normal
#8	4.550	9	Normal

**Layer #1**  
Mulai pengukuran!

**Stop** Disconnecting...

Sensor #3

Ketuk Sensor #3 untuk mengambil data!

Sensor	V (m/s)	RVD (%)	Deviasi
#1	4.550	9	Normal
#2	4.400	12	Normal
#3	4.400	12	Normal
#4	4.350	13	Normal
#5	4.300	14	Normal
#6	4.450	11	Normal
#7	4.300	14	Normal
#8	4.550	9	Normal

**Layer #1**

←

Atur Geometri Pengukuran  
Lihat Jarak Antar Sensor  
Atur Koneksi dan Mulai Pengukuran  
Lihat Tomogram

Hapus Layer

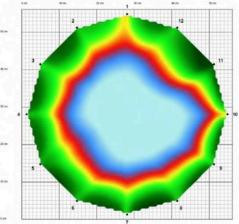
**Tomogram**  
Generate grafik tomogram dari data yang didapat.

←

Buat Tomogram



**Tomogram**  
Generate grafik tomogram dari data yang didapat.



Gambar diambil dari Fakopp microsecond timer user's guide, 2010.

↓ Simpan Gambar

**Proyek: Test1**

←

Spesies Pohon  
Mahoni

Tambah layer baru

Pilih Layer  
Pilih layer yang mau dilihat

Layer #1  
Layer #2  
Layer #3

Simpan

**Tabel 6. Tabel Biaya Komponen**

<b>Sensor</b>	<b>MCP3002</b>	<b>MCP3204</b>	<b>MCP3001</b>
Datasheet	<a href="https://geeksvalley.com/en/product/vibration-module-ceramic-piezo/">https://geeksvalley.com/en/product/vibration-module-ceramic-piezo/</a>		
Harga	<a href="https://id.shp.ee/aXCDNqH">https://id.shp.ee/aXCDNqH</a>		
<b>Mikrokontroler</b>	<b>NodeMCU Lolin V3 (ESP8266)</b>	<b>ESP32 Wroom 32E</b>	<b>Teensy 4.1</b>
Datasheet	<a href="https://www.makershop.de/download/nodemcu-v3-anleitung.pdf">https://www.makershop.de/download/nodemcu-v3-anleitung.pdf</a>	<a href="https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32e_esp32-wroom-32ue_datasheet_en.pdf">https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32e_esp32-wroom-32ue_datasheet_en.pdf</a>	<a href="https://wwwpjrc.com/store/teensy41.html">https://wwwpjrc.com/store/teensy41.html</a>
Harga	<a href="https://www.tokopedia.com/jodi-elektronik/original-node-mcu-esp8266-berisi-firmware-1-panel-wifi-multipanel-001a8">https://www.tokopedia.com/jodi-elektronik/original-node-mcu-esp8266-berisi-firmware-1-panel-wifi-multipanel-001a8</a>	<a href="https://www.tokopedia.com/pt-sentosa/esp-32s-esp-wroom-32-esp32-esp-32-bluetooth-and-wifi-dual-ptsent">https://www.tokopedia.com/pt-sentosa/esp-32s-esp-wroom-32-esp32-esp-32-bluetooth-and-wifi-dual-ptsent</a>	<a href="https://www.tokopedia.com/getelektronik/teensy-4-1-usb-microcontroller-development-board">https://www.tokopedia.com/getelektronik/teensy-4-1-usb-microcontroller-development-board</a>
<b>ADC</b>	<b>MCP3002</b>	<b>MCP3204</b>	<b>MCP3001</b>
Datasheet	<a href="https://www.microchip.com/en-us/product/MCP3002">https://www.microchip.com/en-us/product/MCP3002</a>	<a href="https://www.microchip.com/en-us/product/MCP3204">https://www.microchip.com/en-us/product/MCP3204</a>	<a href="https://www.microchip.com/en-us/product/mcp3201">https://www.microchip.com/en-us/product/mcp3201</a>
Harga	<a href="https://tokopedia.link/LyLGGURFSJb">https://tokopedia.link/LyLGGURFSJb</a>	<a href="https://www.tokopedia.com/yulyanahijab/5pcs-lot-mcp3204-ci-p-mcp3204-3204-dip-14-best-quality-in-stock">https://www.tokopedia.com/yulyanahijab/5pcs-lot-mcp3204-ci-p-mcp3204-3204-dip-14-best-quality-in-stock</a>	<a href="https://www.tokopedia.com/inverterpower/mcp3201-ci-p-mcp3201-ci-p-mcp3201-ci-p-3201-di-p-8-pin">https://www.tokopedia.com/inverterpower/mcp3201-ci-p-mcp3201-ci-p-mcp3201-ci-p-3201-di-p-8-pin</a>
<b>Kabel</b>	<b>Kabel USB 2.0/3.0</b>	<b>Kabel STP</b>	<b>Kabel Koaksial (RG-6/U)</b>
Datasheet			<a href="https://www.denko.co.id/download/Coaxial_Cable/RG6/9248_techdata.pdf">https://www.denko.co.id/download/Coaxial_Cable/RG6/9248_techdata.pdf</a>

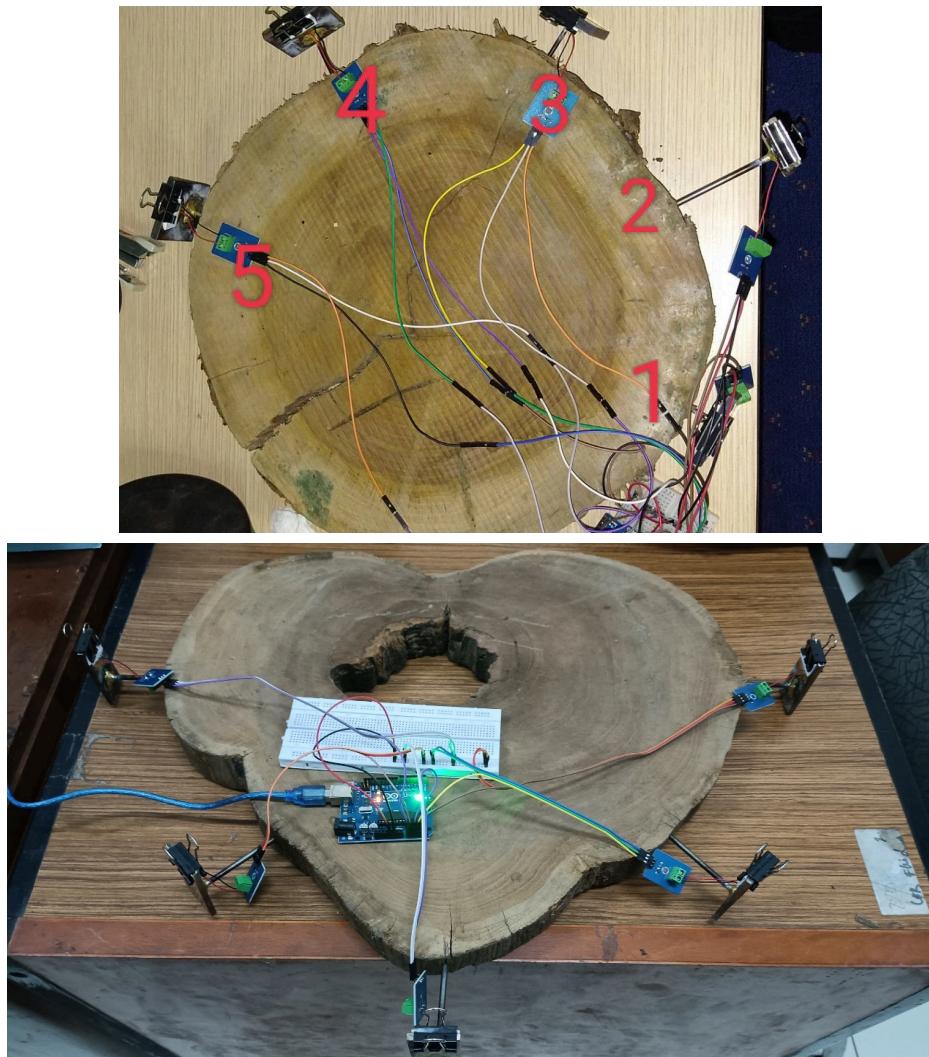
Harga	<a href="https://shopee.co.id/product/293199663/19713816443?gsht=lnqHg0W2FY_Oya3H">https://shopee.co.id/product/293199663/19713816443?gsht=lnqHg0W2FY_Oya3H</a>	<a href="https://shopee.co.id/UGREEN-Kabel-LAN-Cat-7-RJ45-Ethernet-10Gbps-600MHz-2M-5M-i.1082522935.22285661134">https://shopee.co.id/UGREEN-Kabel-LAN-Cat-7-RJ45-Ethernet-10Gbps-600MHz-2M-5M-i.1082522935.22285661134</a>	<a href="https://www.tokopedia.com/pawgemshop/kabel-antena-10m-type-5c-2v-75ohm-rg-6-u-konektor-jack-coaxial?extParam=cmp%3D1%26ivf%3Dfalse%26src%3Dsearch">https://www.tokopedia.com/pawgemshop/kabel-antena-10m-type-5c-2v-75ohm-rg-6-u-konektor-jack-coaxial?extParam=cmp%3D1%26ivf%3Dfalse%26src%3Dsearch</a>
Baterai	7,4 V	9 V	3,7V
Referensi Dimensi	<a href="https://www.tokopedia.com/cloudmaster/li-ion-baterai-pck-2s-7-4v-2500-mah-30a-for-rc-hobby?extParam=src%3Dshop%26whid%3D3067647">https://www.tokopedia.com/cloudmaster/li-ion-baterai-pck-2s-7-4v-2500-mah-30a-for-rc-hobby?extParam=src%3Dshop%26whid%3D3067647</a>	<a href="https://www.tokopedia.com/hardware/resolutions/doublepow-baterai-9v-rechargeable-700mah-1-pcs-dp-9v7">https://www.tokopedia.com/hardware/resolutions/doublepow-baterai-9v-rechargeable-700mah-1-pcs-dp-9v7</a>	<a href="https://tokopedia.link/obplFlGGPb">https://tokopedia.link/obplFlGGPb</a>
Voltage Regulator	LM7805	LM317	LM1117
Datasheet	<a href="https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf">https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf</a>	<a href="https://www.onsemi.com/download/data-sheet/pdf/lm317-d.pdf">https://www.onsemi.com/download/data-sheet/pdf/lm317-d.pdf</a>	<a href="https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm1117.pdf">https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm1117.pdf</a>
Harga	<a href="https://www.tokopedia.com/marnov/lm7805-l-7805-17805cv-to-220-dip-fixed-voltage-regulator-5v-ic?extParam=ivf%3Dfalse%26src%3Dsearch&amp;refined=true">https://www.tokopedia.com/marnov/lm7805-l-7805-17805cv-to-220-dip-fixed-voltage-regulator-5v-ic?extParam=ivf%3Dfalse%26src%3Dsearch&amp;refined=true</a>	<a href="https://www.tokopedia.com/pawnstudio/lm-317-lm317?extParam=ivf%3Dfalse&amp;src=topads">https://www.tokopedia.com/pawnstudio/lm-317-lm317?extParam=ivf%3Dfalse&amp;src=topads</a>	<a href="https://www.tokopedia.com/jogjarobotika/lm1117t-3-3v-lm1117?extParam=ivf%3Dfalse%26src%3Dsearch&amp;refined=true">https://www.tokopedia.com/jogjarobotika/lm1117t-3-3v-lm1117?extParam=ivf%3Dfalse%26src%3Dsearch&amp;refined=true</a>
Step Up Converter	1-5V to 5V 600mA	MT3608	SX1308
Harga	<a href="https://www.tokopedia.com/fortunajoga/modul-dc-dc-step-up-1-5v-to-5v-600ma-boost-converter">https://www.tokopedia.com/fortunajoga/modul-dc-dc-step-up-1-5v-to-5v-600ma-boost-converter</a>	<a href="#">MT3608</a>	<a href="#">SX1308</a>
Modul Charger	Charger usb dengan konektor jst PH2.0	Modul charging TP5100	TP4056

	<a href="https://tokopedia.link/WFWZ7q0FGPb">https://tokopedia.link/WFWZ7q0FGPb</a>	<a href="#">Modul charging TP5100</a>	<a href="#">TP4056_with_protection</a>
--	---	---	--

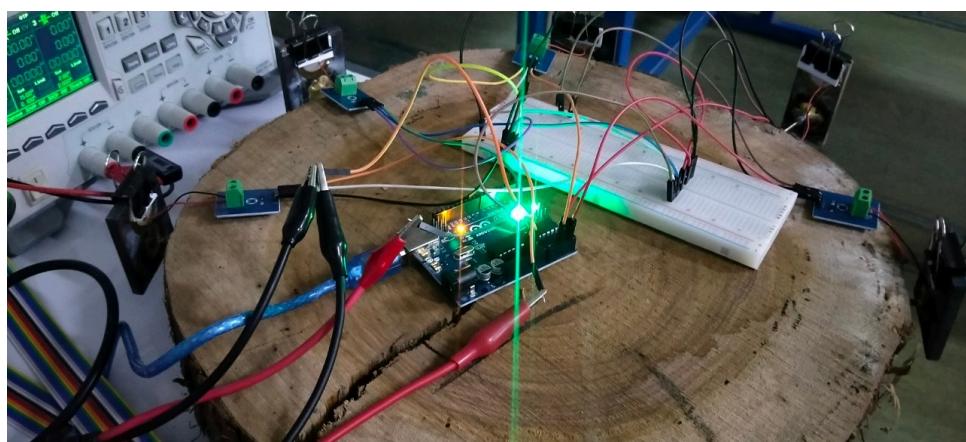
## Hasil Pengujian Awal

### Pengujian Sensor Piezo

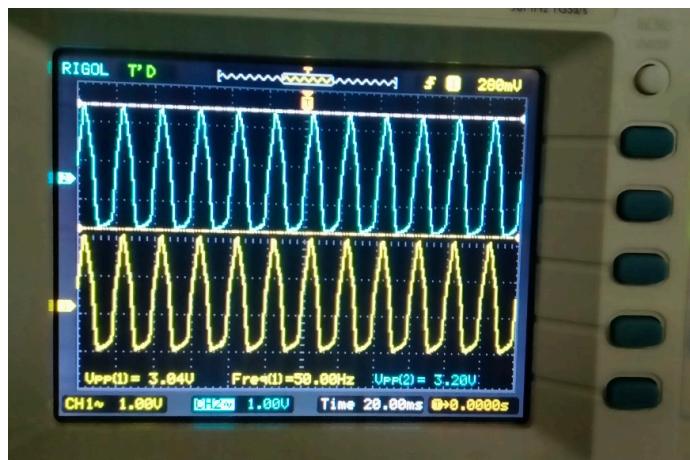
Setup pengukuran awal 5 sensor:



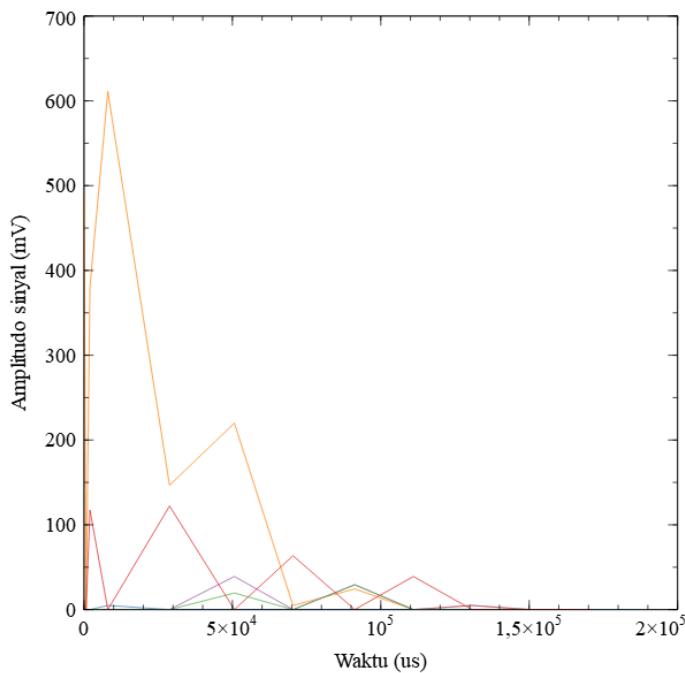
Setup pengujian piezo di osiloskop:



Tegangan output maksimal 3,2 V



Grafik pembacaan waktu dengan input 5 sensor (menggunakan Arduino):

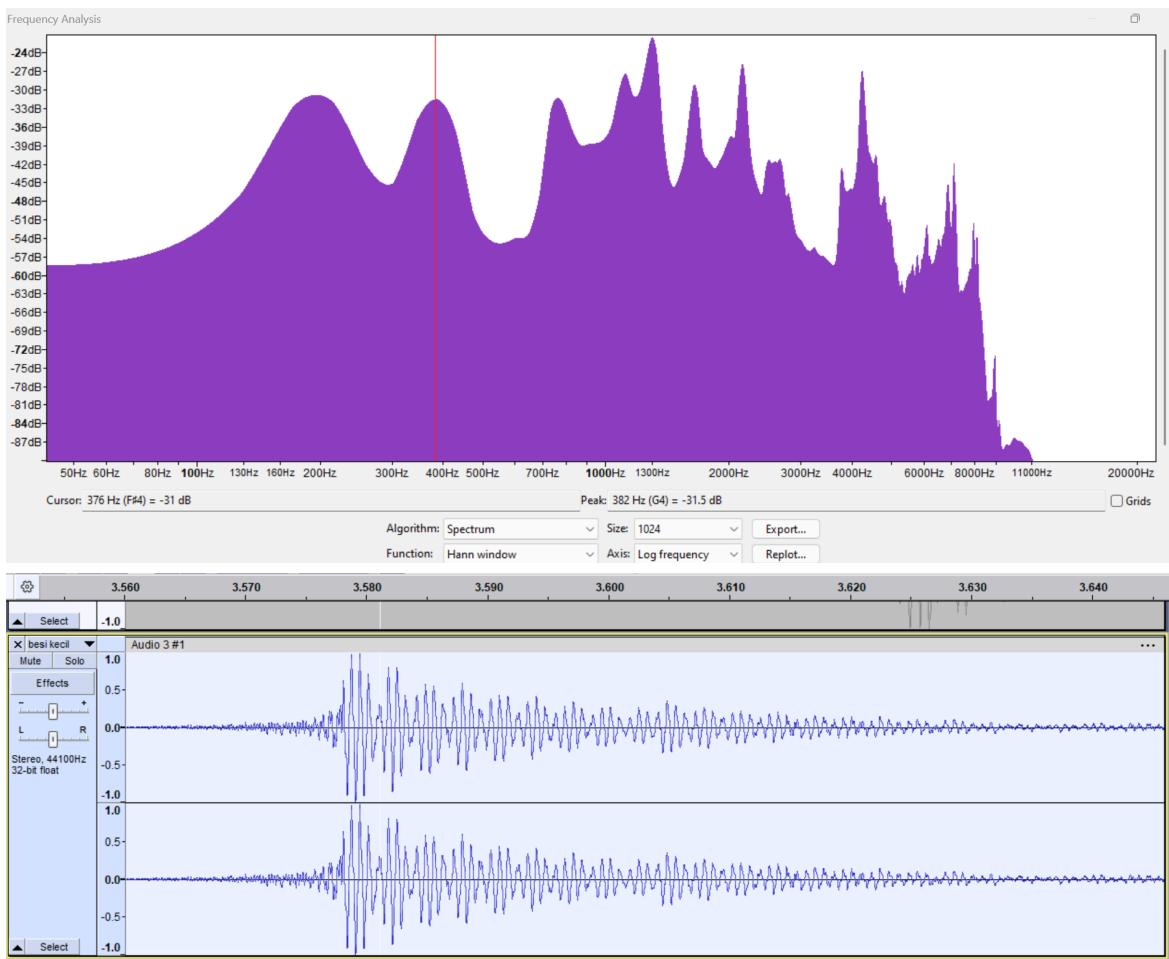


## Pengujian Microphone Audio Jack

Pengujian spektrum frekuensi menggunakan microphone audio jack:

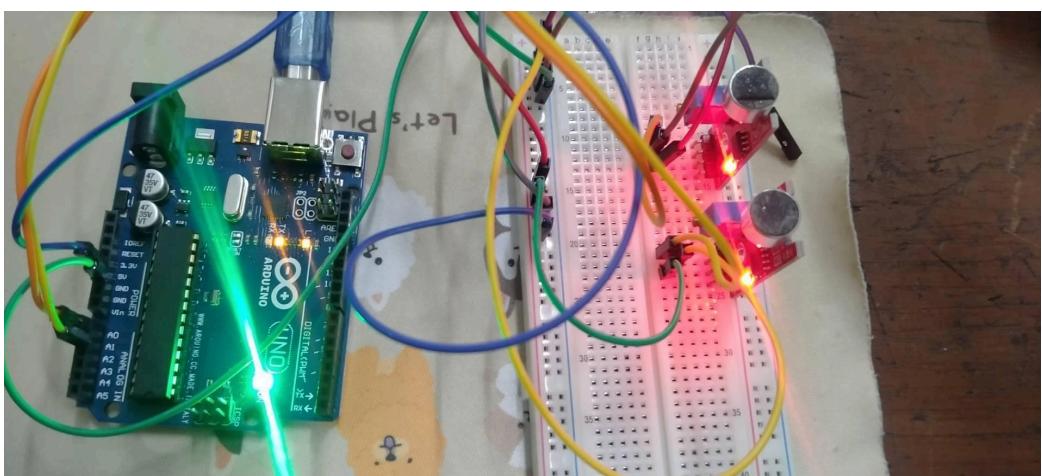
Pengujian dilakukan pada kayu dengan panjang 77,5 cm dengan tiga titik pengukuran, yaitu 5 cm dari sumber, di tengah kayu (39 cm), dan di ujung kayu (77.5 cm).

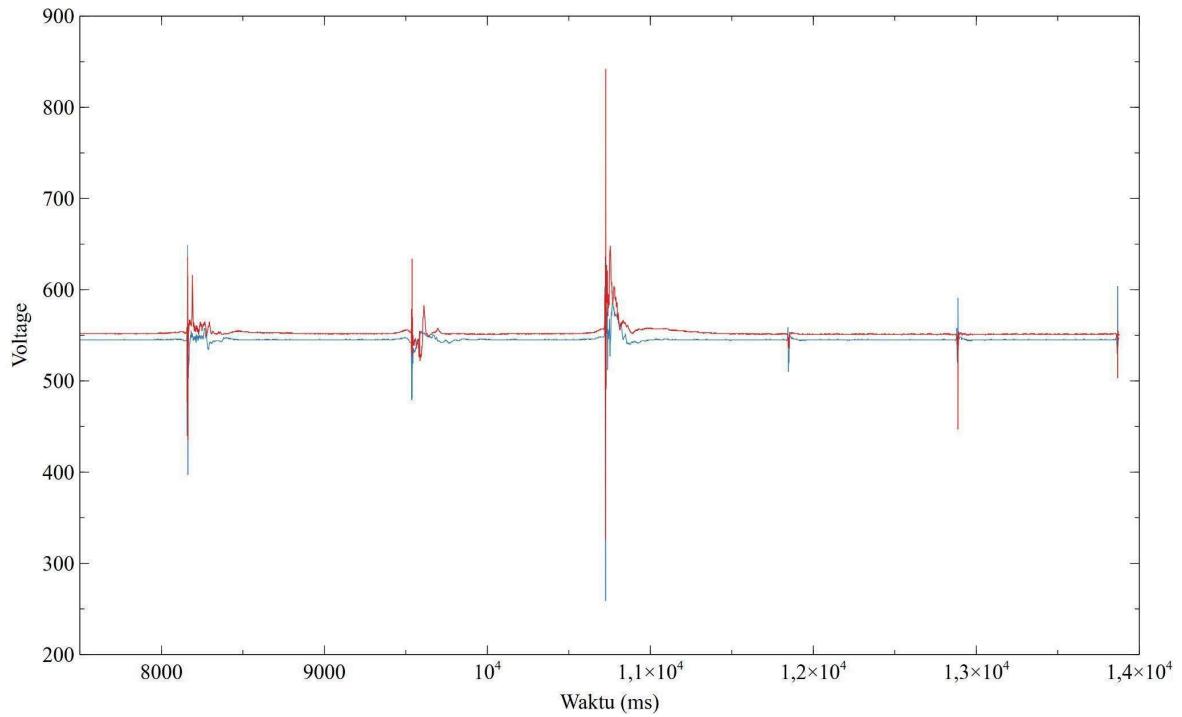




## Pengujian Sensor KY-037

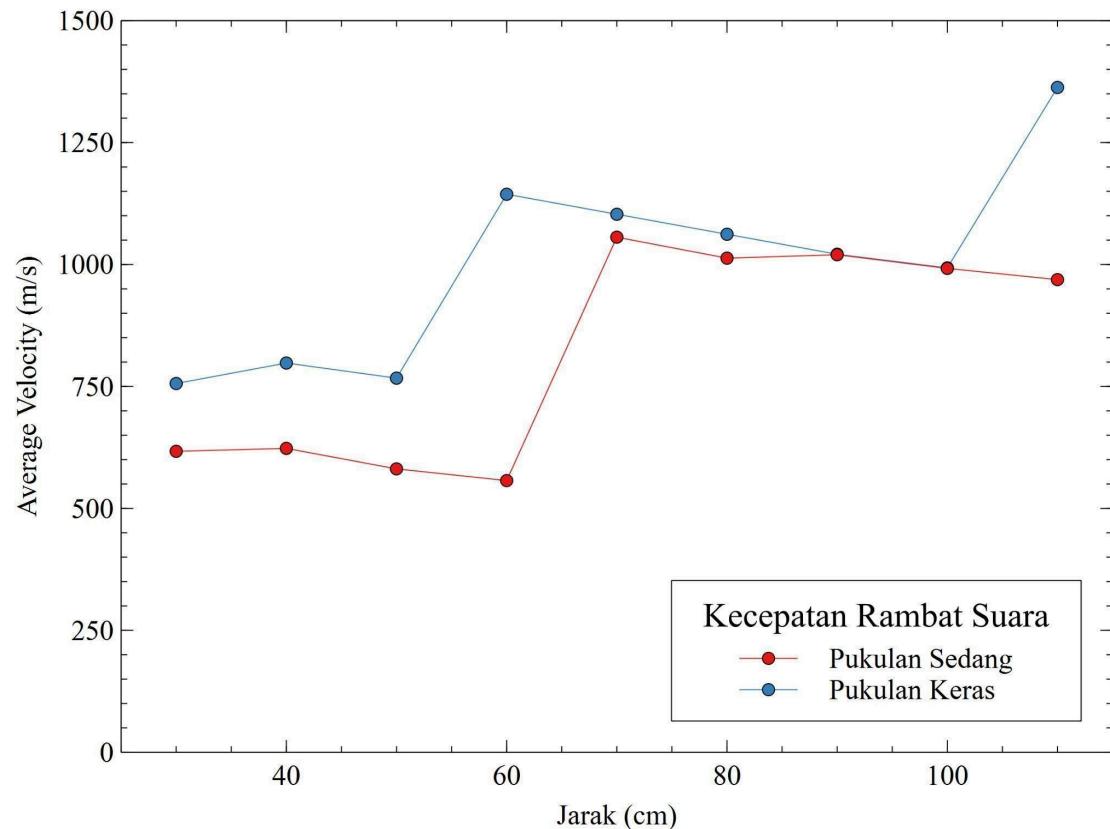
Pengujian dilakukan dengan menggunakan 2 buah sound detection sensor KY-037 yang diatur agar memiliki sensitivitas yang sama. Sensor dirangkai ke arduino uno kemudian dilakukan pengujian dengan memberikan tepukan tangan dan jentikan jari.





Gambar diatas merupakan data tepukan tangan (3 data pertama) dan jentikan jari (3 data terakhir).

Pengujian sensor KY-037 menggunakan **ESP32** pada kayu panjang:



JARAK (cm)	KEKUATAN KETUKAN				JARAK (cm)	KEKUATAN KETUKAN				JARAK (cm)	KEKUATAN KETUKAN					
	Sedang		Keras			Sedang		Keras			Sedang		Keras			
	t (us)	v (m/s)	t (us)	v (m/s)		t (us)	v (m/s)	t (us)	v (m/s)		t (us)	v (m/s)	t (us)	v (m/s)		
30	496	605	476	630	60	1088	551	524	1145	90	872	1032	880	1023		
	388	773	384	781		1080	556	520	1154		884	1018	876	1027		
	500	600	384	781		1096	547	516	1163		888	1014	872	1032		
	504	595	372	806		1004	598	524	1145		884	1018	872	1032		
	500	600	372	806		1104	543	524	1145		888	1014	880	1023		
	500	600	376	798		1112	540	528	1136		880	1023	884	1018		
	504	595	376	798		1148	523	532	1128		884	1018	884	1018		
	504	595	372	806		1024	586	508	1181		884	1018	888	1014		
	500	600	380	789		1016	591	528	1136		880	1023	884	1018		
	496	605	536	560		1124	534	544	1103		884	1018	892	1009		
Avg	489	617	403	756	Avg	1080	557	525	1144	Avg	883	1020	881	1021		
40	632	633	628	637	70	660	1061	636	1101	100	1004	996	1008	992		
	624	641	488	820		668	1048	632	1108		1004	996	1012	988		
	644	621	480	833		660	1061	640	1094		1012	988	1008	992		
	652	613	488	820		672	1042	632	1108		1008	992	1004	996		
	664	602	516	775		664	1054	632	1108		1008	992	1008	992		
	640	625	492	813		664	1054	636	1101		1004	996	1004	996		
	644	621	480	833		656	1067	640	1094		1008	992	1004	996		
	640	625	488	820		656	1067	636	1101		1012	988	1004	996		
	640	625	488	820		664	1054	632	1108		1008	992	1004	996		
	640	625	492	813		664	1054	632	1108		1008	992	1012	988		
Avg	642	623	504	798	Avg	663	1056	635	1103	Avg	1008	992	1007	993		
50	972	514	988	506	80	780	1026	756	1058	110	1136	968	1104	996		
	856	584	752	665		788	1015	756	1058		1144	962	448	2455		
	860	581	836	598		788	1015	760	1053		1136	968	1116	986		
	752	665	620	806		784	1020	752	1064		1132	972	464	2371		
	864	579	600	833		788	1015	748	1070		1136	968	752	1463		
	880	568	756	661		796	1005	752	1064		1128	975	1120	982		
	864	579	836	598		800	1000	752	1064		1128	975	764	1440		
	860	581	428	1168		796	1005	752	1064		1132	972	1120	982		
	876	571	428	1168		788	1015	752	1064		1132	972	1124	979		
	856	584	756	661		792	1010	756	1058		1144	962	1132	972		
Avg	864	581	700	767	Avg	790	1013	754	1062	Avg	1135	969	914	1363		

Pengujian sensor KY-037 menggunakan Teensy 4.1 pada kayu panjang

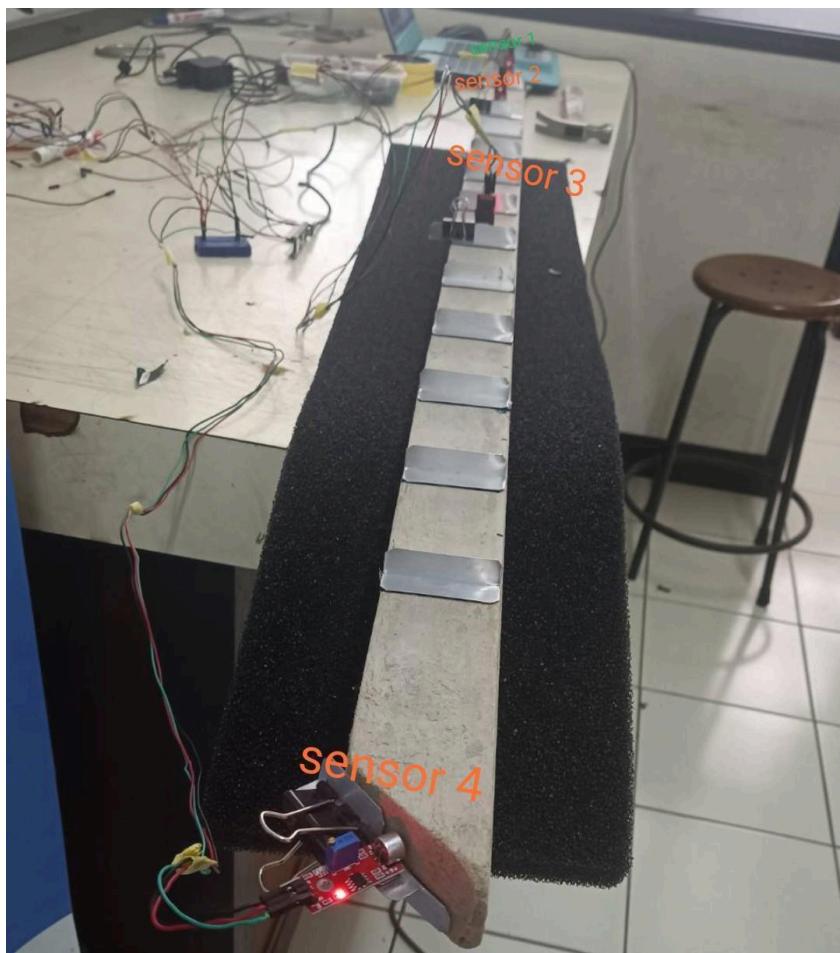
Semua sensor diletakkan diatas kayu:



Sehingga kecepatan yang didapatkan adalah kecepatan radial-tangensial:

Sensor dan Jarak (cm)	Ketukan Pelan						Ketukan Sedang					
	waktu tempuh (us)			kecepatan (m/s)			waktu tempuh (us)			kecepatan (m/s)		
	t2	t3	t4	v2	v3	v4	t2	t3	t4	v2	v3	v4
S2 = 20, S3 = 50, S4 = 120	194	560	1204	1031	893	997	276	647	1288	725	773	932
	174	531	1181	1149	942	1016	278	651	1294	719	768	927
	299	653	1300	669	766	923	274	647	1286	730	773	933
	269	646	1281	743	774	937	273	644	1285	733	776	934
	280	646	1289	714	774	931	279	646	1293	717	774	928
	282	648	1294	709	772	927	272	644	1283	735	776	935
	284	647	1293	704	773	928	277	641	1288	722	780	932
	279	653	1295	717	766	927	270	644	1280	741	776	938
	293	647	1298	683	773	924	270	644	1280	741	776	938
	285	651	1295	702	768	927	275	641	1285	727	780	934
Avg	264	628	1273	782	800	944	274	645	1286	729	775	933

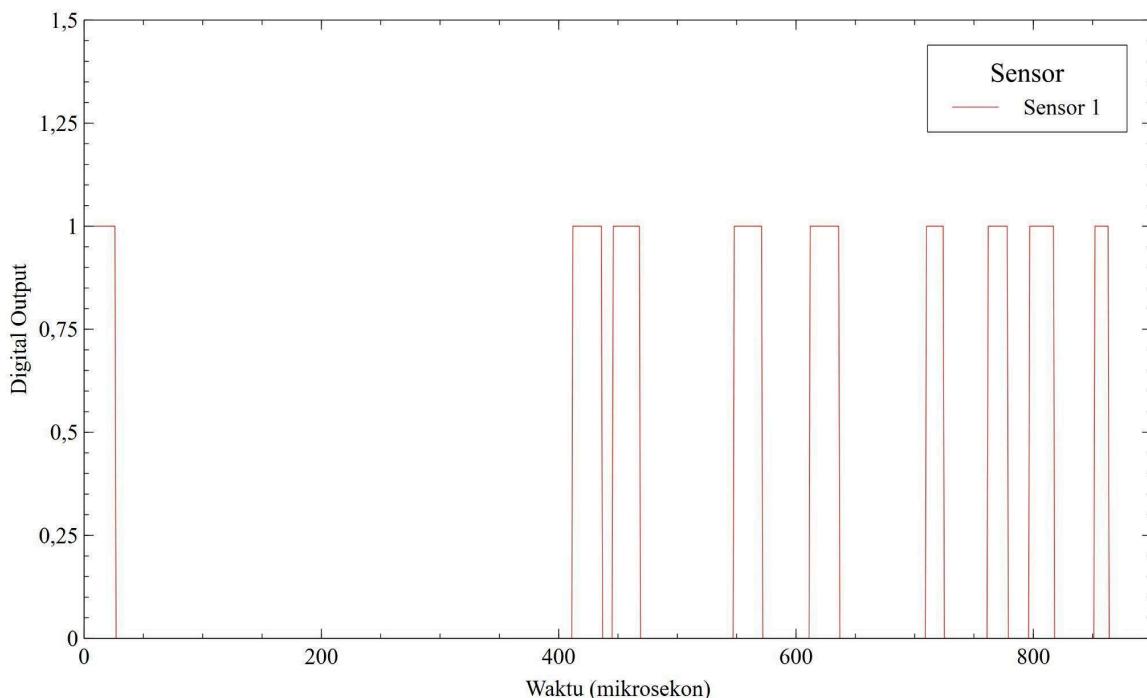
Sensor 4 kemudian diletakkan di ujung kayu,

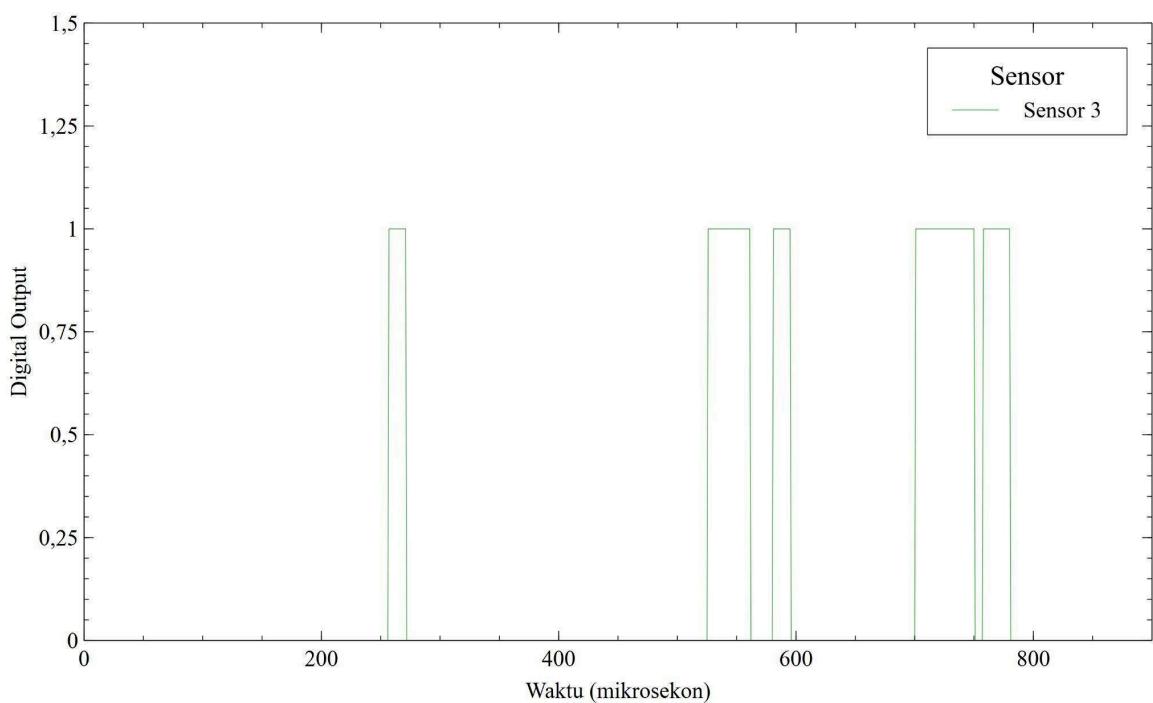
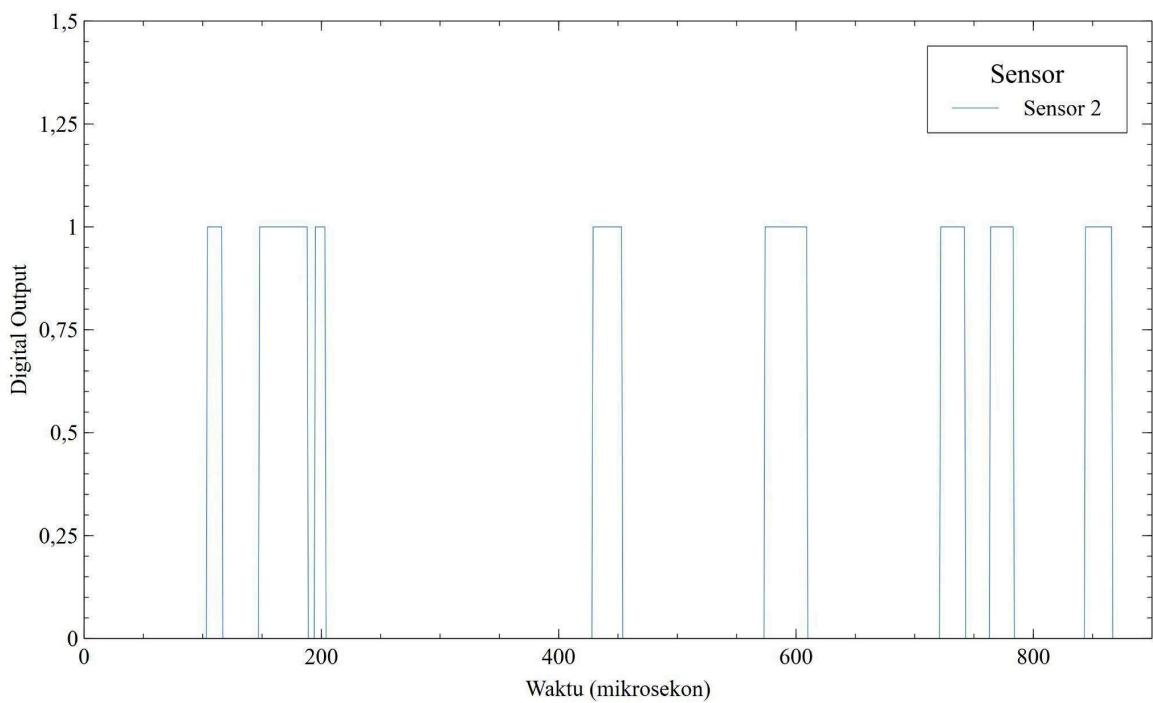


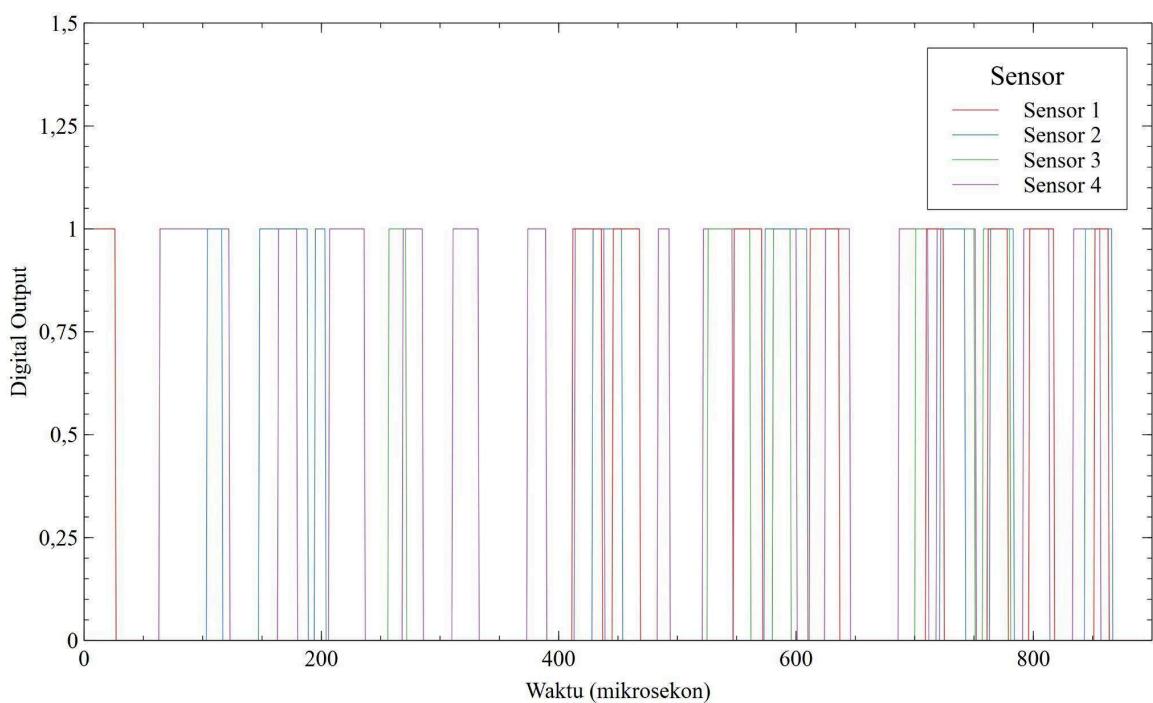
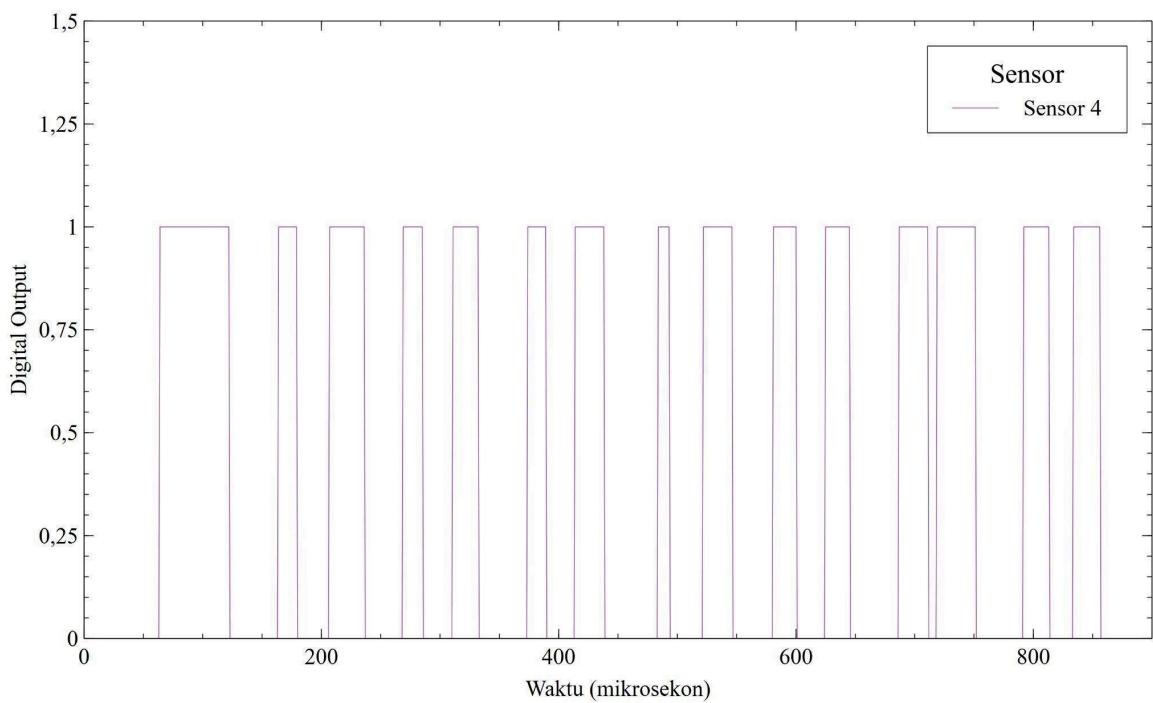
sehingga kecepatan yang terdeteksi merupakan kecepatan longitudinal (lihat v4).

Sensor dan Jarak (cm)	Ketukan Pelan						Ketukan Sedang					
	Waktu Tempuh (us)			Kecepatan (m/s)			Waktu Tempuh (us)			Kecepatan (m/s)		
	t2	t3	t4	v2	v3	v4	t2	t3	t4	v2	v3	v4
S2 = 20, S3 = 50, S4 = 134 (S4 di ujung kayu)	277	669	340	722	747	3941	274	651	336	730	768	3988
	284	654	329	704	765	4073	276	647	329	725	773	4073
	282	649	331	709	770	4048	273	654	336	733	765	3988
	276	649	329	725	770	4073	274	647	329	730	773	4073
	275	651	334	727	768	4012	272	649	332	735	770	4036
	280	652	336	714	767	3988	274	649	332	730	770	4036
	274	648	332	730	772	4036	272	649	333	735	770	4024
	276	650	337	725	769	3976	275	649	331	727	770	4048
	300	661	340	667	756	3941	276	647	329	725	773	4073
	277	659	341	722	759	3930	271	646	332	738	774	4036
	329	660	342	608	758	3918	270	646	330	741	774	4061
	298	677	368	671	739	3641	266	645	324	752	775	4136
	290	674	350	690	742	3829	268	645	327	746	775	4098
	289	670	351	692	746	3818	270	644	330	741	776	4061
	288	952	353	694	525	3796	285	654	329	702	765	4073
	308	664	341	649	753	3930	268	649	339	746	770	3953
	287	673	374	697	743	3583	270	644	334	741	776	4012
	300	678	380	667	737	3526	268	642	336	746	779	3988
	303	991	461	660	505	2907	268	642	338	746	779	3964
	283	667	353	707	750	3796	268	642	340	746	779	3941
Avg	289	692	351	694	732	3838	272	647	332	736	773	4033
Min	274	648	329	608	505	2907	266	642	324	702	765	3941
Max	329	991	461	730	772	4073	285	654	340	752	779	4136
Median	285,5	663	341	701	755	3930	271,5	647	332	737	773	4036
Deviation	13,9985	96,1695	29,6735	31,9215	75,1932	269,75	4,303	3,53144	4,19398	11,4243	4,20934	50,8223

Data sinyal digital KY-037 pada domain waktu:







Pengujian dengan kayu pendek dengan ujung yang petak:



Sensor dan Jarak (cm)	Ketukan Sedang					
	waktu tempuh (us)			kecepatan (m/s)		
	t2	t3	t4	v2	v3	v4
S2 = 30, S3 = 60, S4 = 77	313	451	188	958	1330	4096
	325	456	191	923	1316	4031
	324	458	189	926	1310	4074
	317	451	188	946	1330	4096
	326	462	193	920	1299	3990
	340	871	186	882	689	4140
	319	457	202	940	1313	3812
	324	461	187	926	1302	4118
	339	873	177	885	687	4350
	320	860	189	938	698	4074
Avg	325	580	189	925	1127	4078

Pengujian terakhir dilakukan untuk melihat apabila sensor dapat mendeteksi waktu ketika jarak sensor sangat dekat. Untuk pengukuran dengan diameter minimal 30 cm, jarak terdekat antara 2 buah sensor yang bersebelahan adalah 11,48 cm. Pengujian kemudian dilakukan untuk titik 10 cm (lihat v2).

Sensor dan Jarak (cm)	Ketukan Sedang					
	waktu tempuh (us)			kecepatan (m/s)		
	t2	t3	t4	v2	v3	v4
S2 = 10, S3 = 70, S4 = 134	151	1195	479	662	586	2797
	144	1182	460	694	592	2913
	134	1190	415	746	588	3229
	127	668	370	787	1048	3622
	145	686	377	690	1020	3554
	136	684	382	735	1023	3508
	137	675	373	730	1037	3592
	139	1186	474	719	590	2827
	134	688	387	746	1017	3463
	132	667	367	758	1049	3651
Avg	138	882	408	727	855	3316

### Sebaran data berdasarkan pukulan:

