



# 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

**TUGAS AKHIR TEKNIK ELEKTRO:  
MONITORING KONDISI KESEHATAN  
INTERNAL BATANG POHON**

Jenis Dokumen

**SPESIFIKASI**

Catatan: Dokumen ini dikendalikan penyebarannya oleh Prodi Teknik Elektro ITB

Nomor Dokumen

**B200- TA2324.02.002**

Nomor Revisi

**002**

Nama File

**B200-TA2324.02.002-002**

Tanggal Penerbitan

**25 Mei 2024**

Unit Penerbit

**Prodi Teknik Elektro - ITB**

Jumlah Halaman

**21**

(termasuk lembar sampul ini)

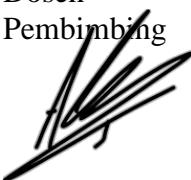
#### Data Pemeriksaan dan Persetujuan

Ditulis Oleh	Nama Tanggal	Rani Isramiharti 25 Mei 2024	Jabatan Tanda Tangan	Anggota
-----------------	-----------------	---------------------------------	-------------------------	---------

Nama Tanggal	Tifany S. Nababan 25 Mei 2024	Jabatan Tanda Tangan	Anggota
-----------------	----------------------------------	-------------------------	---------

Nama Tanggal	Faris Jabar Nugrahadi 25 Mei 2024	Jabatan Tanda Tangan	Anggota
-----------------	--------------------------------------	-------------------------	---------

Nama Tanggal	Bayu Aji Nugroho 25 Mei 2024	Jabatan Tanda Tangan	Anggota
-----------------	---------------------------------	-------------------------	---------

Disetujui	Nama	Ir. Akhmad Surawijaya, S.T, M.Eng.	Jabatan	Dosen Pembimbing
Oleh	Tanggal	25 Mei 2024	Tanda Tangan	

## DAFTAR ISI

<b>DAFTAR ISI</b>	<b>3</b>
<b>CATATAN SEJARAH PERBAIKAN DOKUMEN</b>	<b>3</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 SPESIFIKASI</b>	<b>7</b>
2.1 SPESIFIKASI PRODUK	7
2.1.1 <i>Spesifikasi 1 : Akurasi Pembacaan Perubahan Kecepatan Gelombang</i>	8
2.1.2 <i>Spesifikasi 2 : Frekuensi Gelombang Suara</i>	8
2.1.3 <i>Spesifikasi 3 : Akurasi Timer</i>	9
2.1.4 <i>Spesifikasi 4 : Tampilan Hasil Pengukuran</i>	9
2.1.5 <i>Spesifikasi 5 : Total Waktu Pengukuran</i>	9
2.1.6 <i>Spesifikasi 6 : Casing</i>	9
2.1.7 <i>Spesifikasi 7 : Daya Tahan Baterai</i>	10
2.1.8 <i>Spesifikasi 8 : Berat dan Dimensi Produk</i>	11
2.1.9 <i>Spesifikasi 9 : User Interface (UI)</i>	13
2.1.10 <i>Spesifikasi 10 : Memory Capacity</i>	14
2.2 TABEL SPESIFIKASI PRODUK	16
2.3 VERIFIKASI	17
2.3.1 <i>Spesifikasi 1: Akurasi Pembacaan Perubahan Kecepatan Gelombang</i>	17
2.3.2 <i>Spesifikasi 2: Frekuensi Gelombang Suara</i>	18
2.3.3 <i>Spesifikasi 3: Akurasi Timer</i>	18
2.3.4 <i>Spesifikasi 4: Tampilan Hasil Pengukuran</i>	18
2.3.5 <i>Spesifikasi 5: Total Waktu Pengukuran</i>	19
2.3.6 <i>Spesifikasi 6: Casing</i>	19
2.3.7 <i>Spesifikasi 7: Daya Tahan Baterai</i>	19
2.3.8 <i>Spesifikasi 8: Berat dan Dimensi Produk</i>	20
2.3.9 <i>Spesifikasi 9: User Interface (UI)</i>	21
2.3.10 <i>Spesifikasi 10: Memory Capacity</i>	21
<b>3 LAMPIRAN</b>	<b>21</b>

## Catatan Sejarah Perbaikan Dokumen

VERSI, TGL, OLEH	PERBAIKAN
002, 4 April 2024, Tifany, Bayu. Rani, Faris.	Revisi konten 2.1 Spesifikasi Produk, revisi konten 2.2 Tabel Spesifikasi Produk, dan revisi konten 2.3 Verifikasi Produk
001, 19 Maret 2024, Rany, Tifany, Faris Bayu.	Dokumen Dibuat

# 1 Pengantar

## 1.1 Ringkasan Isi Dokumen

Dokumen B200 merincikan spesifikasi teknis untuk alat monitoring kesehatan batang pohon, yang telah dirumuskan berdasarkan karakteristik dan batasan yang diuraikan dalam dokumen sebelumnya. Setiap spesifikasi yang disebutkan dapat dilacak kembali ke karakteristik produk yang relevan. Dokumen ini menjelaskan 10 spesifikasi produk yang harus diimplementasikan, disertai dengan penjelasan mengenai langkah-langkah verifikasi, serta metode pengujian yang terperinci.

## 1.2 Tujuan Penulisan dan Aplikasi/Kegunaan Dokumen

Tujuan penulisan dari dokumen B200 ini sebagai berikut:

1. Untuk memenuhi syarat kelulusan Mata Kuliah Tugas Akhir 1 (TA1).
2. Acuan dasar untuk tugas akhir yang dikerjakan, yang menjelaskan tentang spesifikasi dari produk beserta metode verifikasi dan pengujian dari masing-masing spesifikasi.
3. Sebagai bukti catatan historis dalam pengerjaan tugas akhir secara menyeluruh dan menjadi acuan untuk pembuatan dokumen berikutnya

Dokumen ini ditujukan kepada dosen pembimbing tugas akhir dan tim tugas akhir Program Studi Teknik Elektro ITB selaku penilai dan pembimbing dari rangkaian pengerjaan tugas akhir ini.

## 1.3 Referensi

- [1] U. Dackermann *et al.*, “In situ assessment of structural timber using stress-wave measurements,” *Mater Struct*, vol. 47, no. 5, pp. 787–803, May 2014, doi: 10.1617/s11527-013-0095-4.
- [2] M. A. Price, K. Attenborough, and N. W. Heap, “Sound attenuation through trees: Measurements and models,” *The Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 84, no. 5, pp. 1836–1844, Nov. 1988, doi: 10.1121/1.397150.
- [3] M. Krause, U. Dackermann, and J. Li, “Elastic wave modes for the assessment of structural timber: ultrasonic echo for building elements and guided waves for pole and pile structures,” *J Civil Struct Health Monit*, vol. 5, no. 2, pp. 221–249, Apr. 2015, doi: 10.1007/s13349-014-0087-2.
- [4] “Fakopp 3D User’s Manual.” Fakop Enterprise, 2023.
- [5] “FAKOPP Microsecond Timer Manual.” Fakop Enterprise Bt, 2023.
- [6] N. Gilani, “Properties of Hardened Steel,” Sciencing. Accessed: Mar. 26, 2024. [Online]. Available: <https://sciencing.com/properties-hardened-steel-6301296.html>

- [7] M. M. Rahman, U. Adzkia, D. Nandika, I. Z. Siregar, and L. Karlinasari, “Urban tree bark analysis for monitoring of air pollution level in Jakarta business district,” *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 1109, no. 1, p. 012052, Nov. 2022, doi: 10.1088/1755-1315/1109/1/012052.
- [8] Guide to Using Science Images for Research Papers. Accessed : Apr. 05, 2024. [online]. Available: <https://www.simplifiedsciencepublishing.com/resources/guide-to-using-science-images-for-research-papers>
- [9] Allison, Richard Bruce, et al. “Methods for Nondestructive Testing of Urban Trees.” *Forests*, vol. 11, no. 12, 16 Dec. 2020, p. 1341, doi:10.3390/f11121341.
- [10] Niklewski, J., et al. “Moisture Content Prediction of Rain-Exposed Wood: Test and Evaluation of a Simple Numerical Model for Durability Applications.” *Building and Environment*, vol. 97, Feb. 2016, pp. 126–136, doi:10.1016/j.buildenv.2015.11.037.
- [11] Decay Detection Using Sonic Tomography : May 25, 2024. [online]. Available: <https://thinktrees.co.uk/our-services/picus-testing-sonic-tomography/>

#### **1.4 Daftar Singkatan**

SINGKATAN	ARTI
2D	2 Dimensi
ppi	pixel per inch

## 2 Spesifikasi

### 2.1 Spesifikasi Produk

Berdasarkan pembahasan pada dokumen B100, dirumuskan karakteristik solusi produk yang dirangkum dari fitur dan sifat solusi yang diharapkan. Fitur-fitur dan sifat solusi yang diharapkan tersebut adalah:

- Fitur Utama:

Perangkat dapat melakukan pengukuran untuk mengetahui kondisi internal batang pohon berdasarkan distribusi densitas batang pohon sebagai parameter kesehatan pohon.

- Fitur Dasar:

- Mengukur distribusi densitas batang pohon untuk mendeteksi adanya pelapukan pada titik yang diukur
- Memberikan visualisasi pelapukan batang pohon kepada user
- Portable dan *splash resistant*

- Fitur Tambahan:

- Menyediakan penyimpanan data hasil pengukuran pada memory/database produk

- Sifat solusi yang diharapkan

- Perangkat yang dibuat memiliki harga yang relatif lebih murah dibanding produk lain yang sudah ada (estimasi dibawah 50 juta)
- Dapat dioperasikan dalam durasi waktu yang panjang dalam sehari dan tidak membutuhkan perawatan yang terlalu intensif
- Pengukuran tidak akan menyebabkan adanya potensi kerusakan tambahan pada pohon [9]
- Waktu pengukuran per pohon tidak memakan waktu yang lama

Tabel 1 Karakteristik Produk

No	Karakteristik Produk
1	Dapat <b>mengukur distribusi densitas batang pohon</b> untuk <b>mendeteksi adanya pelapukan</b> pada titik yang diukur
2	Dapat memberikan <b>visualisasi</b> pelapukan batang pohon kepada user
3	Produk <b>portable</b> dan <b>splash resistant</b>
4	Menyediakan <b>penyimpanan data hasil pengukuran</b> pada <b>memory/database</b> produk
5	<b>Waktu pengukuran</b> per pohon tidak memakan waktu yang lama

Berdasarkan karakteristik solusi yang dibuat, dilakukan perumusan spesifikasi produk yang dapat memenuhi karakteristik yang ditentukan.

### 2.1.1 Spesifikasi 1 : Akurasi Pembacaan Perubahan Kecepatan Gelombang

Sebuah batang pohon yang mengalami pembusukan menunjukkan adanya perubahan distribusi densitas batang. Nilai distribusi densitas dapat diketahui berdasarkan perubahan kecepatan gelombang akustik yang melewati medium tersebut. Batang dinyatakan dapat mengalami pembusukan ketika perubahan kecepatan gelombang melebihi 15% kecepatan gelombang pada batang tanpa pembusukan.

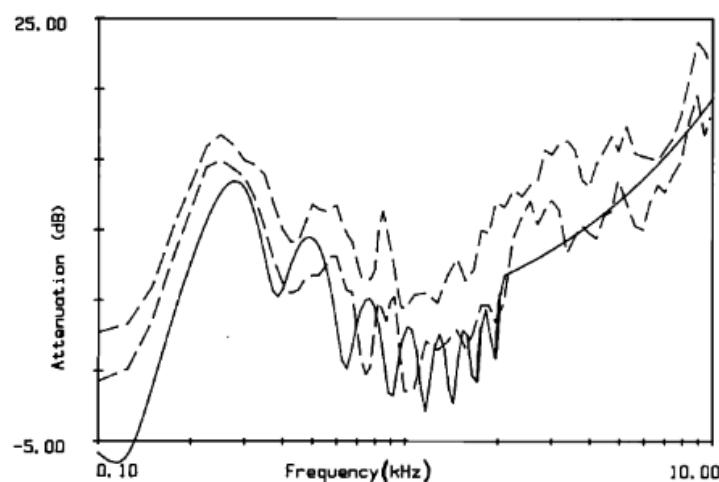
Tabel 2.1.1 Relative Velocity Decrease and Decay Area [5]

Relative velocity decrease [%]	Decayed area estimate [%]
0	0
5	0
10	0
15	1-10
20	10-20
25	10-20
30	20-30
40	20-40
50	30-50
> 50	> 50

Berdasarkan tabel 2.2.1, produk harus bisa membaca perubahan kecepatan gelombang sebesar 5%.

### 2.1.2 Spesifikasi 2 : Frekuensi Gelombang Suara

Pengukuran dilakukan dengan memukul paku baja yang tertancap pada kambium pohon sehingga menghasilkan gelombang akustik. Berdasarkan produk komersial yang sudah ada, getaran yang dihasilkan palu baja bernilai di bawah 10 kHz [1].



Gambar 2.1.2 Redaman gelombang akustik pada medium pohon [2]

Selain itu, berdasarkan gambar 2.1.1, untuk menghindari redaman yang terjadi pada gelombang, perlu dipilih frekuensi di atas 3 kHz. Sehingga rentang frekuensi gelombang yang diperlukan pada produk berada pada rentang 3 – 10 kHz.

### 2.1.3 Spesifikasi 3 : Akurasi Timer

Produk dibuat dengan prinsip mengukur cepat rambat gelombang suara pada medium kayu. Pada batang pohon hidup, dengan berbagai kelembaban, cepat rambat maksimum gelombang suara ( $v$ ) tidak melebihi 5800 m/s [3]. Jarak terdekat antara 2 sensor melintang ( $L$ ) adalah 30 cm. Waktu tempuh terendah ( $t$ ) yang perlu dibaca adalah

$$t = \frac{L}{v} = \frac{30 \text{ cm}}{5800 \text{ m/s}} \approx 51,7 \mu\text{s}$$

Maka akurasi timer yang dipilih adalah setengah dari waktu tempuh terendah, yaitu kurang dari 25  $\mu\text{s}$ .

### 2.1.4 Spesifikasi 4 : Tampilan Hasil Pengukuran

Produk yang dibuat bersifat portabel, mudah dibawa dan tampilan dapat terbaca dengan baik. Dalam memenuhi aspek portabilitas dan kemudahan pengguna, maka produk dirancang supaya dapat menampilkan hasil pengukuran di smartphone android. Hasil pengukuran berupa gambaran 2 Dimensi (2D) distribusi densitas batang pohon secara melintang, sehingga gambar yang muncul memiliki perbandingan 1:1. Agar mendapatkan tampilan yang tajam dan mampu memberikan gradasi warna baik pada setiap perubahan densitas batang serta dapat digunakan untuk publikasi ilmiah, produk dibuat menggunakan gambar dengan kualitas bagus dengan kualitas terendah 720p (720 x 720 pixel) sampai maksimal 1280p (1280 x 1280 pixel) dan dengan kerapatan 72-300 pixel per inch (ppi)[8].

### 2.1.5 Spesifikasi 5 : Total Waktu Pengukuran

Berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan kepada peneliti (user), kegiatan pengecekan kesehatan batang pohon dengan menggunakan peralatan sejenis membutuhkan waktu sekitar 1 jam setiap pohon. Oleh karena itu produk yang dibuat harus bisa memberikan waktu total pengukuran tidak lebih dari 1 jam dimulai dari awal pemasangan hingga pembongkaran alat.

### 2.1.6 Spesifikasi 6 : Casing

Casing produk digunakan untuk melindungi seluruh komponen produk dari berbagai potensi kerusakan faktor eksternal, sekaligus melindungi pengguna dari adanya resiko sengatan listrik dari komponen. Berikut adalah beberapa ketentuan terkait casing produk:

- Casing produk seperti kotak baterai dan kotak amplifier harus memenuhi standar rating ingress protection setara IP23 karena produk-produk ini akan sering digunakan di luar ruangan. Kualitas IP23 memastikan perlindungan terhadap benda padat yang lebih besar dari 12,5 mm, seperti jari tangan manusia, dan ketahanan terhadap air yang jatuh sebagai semprotan hujan hingga 60 derajat dari vertikal, karena produk digunakan di luar ruangan dan harus dapat mengantisipasi kondisi cuaca yang tidak menentu. Perlindungan ini sangat penting untuk memastikan keamanan pengguna dan menjaga produk dari kerusakan akibat air yang bisa tiba-tiba terjadi saat hujan, sehingga dapat memperpanjang umur pakai perangkat elektronik ini di lingkungan luar ruangan.

- Penyusunan seluruh peralatan produk harus memudahkan pengguna dalam pemasangan, dengan kabel dan komponen sistem tersusun rapi dalam satu briefcase/luggage box.



Gambar 2.1.6 *Acoustic Tomograph Briefcase Box* [4]

- Paku transduser akan dimasukkan ke dalam pohon, sehingga ujung mata paku harus mampu menembus material kayu yang keras untuk mentransmisikan atau menerima gelombang suara, sedangkan ujung datar paku harus tahan terhadap ketukan palu. Material paku yang digunakan juga harus tahan terhadap korosi, karena batang pohon memiliki fungsi transportasi air yang berarti tingkat kelembapan kayu biasanya lebih tinggi dibandingkan udara normal. Kelembapan air di batang pohon juga akan semakin tinggi ketika terkena hujan [10]. Material yang dipilih harus memiliki kekuatan dan ketahanan yang tinggi terhadap tekanan dan deformasi, serta memiliki konduktivitas akustik yang baik dan tahan terhadap korosi.

Produk yang dibuat harus dapat menerima input pengguna melalui saklar yang terdapat pada box baterai untuk mengaktifkan komunikasi *wireless*, amplifier dan transduser yang tersambung oleh kabel. Transmitter *wireless* produk berada di dalam box baterai dan digunakan untuk memberikan hasil pengukuran oleh peralatan ke pengguna.

### 2.1.7 Spesifikasi 7 : Daya Tahan Baterai

Berdasarkan wawancara yang dilakukan bersama Pak Yayat, Dosen SITH-R Kehutanan ITB, perkiraan waktu yang dapat dihabiskan dalam satu hari untuk melakukan monitoring kesehatan batang pohon bagi peneliti pohon adalah 8 jam. Estimasi waktu total pengukuran (dari satu pohon ke pohon lain) adalah 40 menit, sehingga dalam satu hari terdapat 12 pohon yang akan *di-monitoring*. Setiap kali monitoring dilakukan, waktu selama 15 menit dihabiskan dengan menyalaakan produk untuk pengecekan koneksi (5 menit) dan melakukan pengukuran (10 menit). Maka dalam satu hari produk akan menyala selama 180 menit atau 3 jam.

Estimasi konsumsi daya dari alat adalah sebagai berikut:

- Kotak amplifier, terhubung ke sebuah transduser (8 buah) : estimasi 270 mW/kotak
- Bluetooth module : 50 mW

Total konsumsi daya adalah 2.210 mW untuk satu jam.

Total energi minimum yang dibutuhkan agar produk dapat bertahan selama 3 jam,

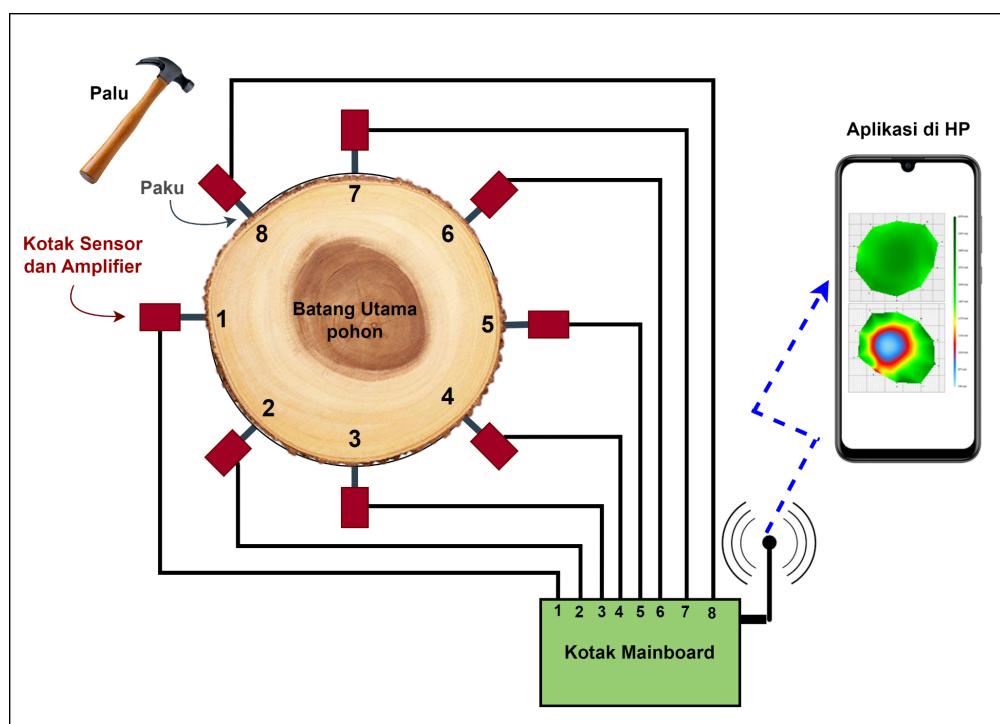
$$\text{Energi} = \text{Power Consumption} \times \text{Waktu}$$

$$\text{Energi} = 2.210 \text{ mW} \times 3 \text{ jam} = 6.630 \text{ mWh}$$

Untuk mendapatkan kapasitas baterai yang dibutuhkan, perlu untuk memilih baterai yang mampu menyediakan total energi yang dibutuhkan. Dalam kasus ini, dengan mempertimbangkan efisiensi pengisian dan pengosongan baterai, baterai berkapasitas diatas 6.630 mWh dipilih untuk memastikan daya tahan yang cukup. Baterai dengan kapasitas 7.000 mWh atau lebih kemudian dipilih untuk mengakomodasi kebutuhan daya.

#### 2.1.8 Spesifikasi 8 : Berat dan Dimensi Produk

Produk didesain agar mudah untuk dipindahkan, sehingga dimensi dan berat dari produk harus disesuaikan agar tidak membebani user.



Gambar 2.1.8.1 Skema Pemasangan Alat

Berikut adalah *breakdown* desain dari komponen sistem produk:

- Casing Amplifier dan Baterai

Produk diusahakan memiliki berat yang ringan dan *splash-resistant*, sehingga material yang digunakan harus lumayan kuat, tidak terlalu berat, dan *splash resistant*.



Gambar 2.1.8.2 Hubungan antara kotak amplifier, kotak baterai, dan transduser di pohon [11]

Kotak amplifier terhubung dengan paku transduser yang dipukul ke dalam batang pohon, sehingga kotak amplifier akan tergantung di paku transduser secara vertikal. Dimensi dan berat dari satu kotak amplifier harus disesuaikan agar beratnya tidak membebani paku sehingga posisinya tetap kuat di kayu pohon. Estimasi dimensi dan berat dari satu kotak amplifier sebagai berikut:

1. Dimensi: 15 x 7 x 5 cm
2. Berat: ± 300 gram

Sementara itu, mainboard yang terhubung ke kotak amplifier bebas untuk diletakkan dimanapun, sehingga berat dapat lebih besar dari kotak amplifier. Estimasi dimensi dan berat dari satu kotak amplifier sebagai berikut:

1. Dimensi: 15 x 25 x 8 cm
2. Berat: ± 800 gram.

- Paku Transduser

Sensor piezoelektrik ditempatkan di antara ujung datar paku dan *cover piece* paku. Perpendikular dari paku adalah kabel koaksial dengan ujung BNC yang nantinya akan dihubungkan dengan kotak amplifier.



Gambar 2.1.7 Transduser yang ditancapkan ke pohon [4]

Paku harus dipukul melebihi lapisan kulit pohon (*tree bark*), sehingga panjang paku harus mempertimbangkan ketebalan kulit kayu di Indonesia, yaitu berkisar 3-9 mm[7]. Panjang juga harus disesuaikan agar paku dapat tertancap dengan baik

di pohon, sehingga panjang paku adalah 6 cm dengan diameter ujung datar sekitar 2 cm.

- Kabel-kabel

Produk ini dirancang untuk mengukur pohon dengan diameter 30-120 cm, dengan estimasi ketinggian maksimal pengukuran yang disesuaikan dengan rata-rata tinggi badan manusia di Indonesia, yaitu sekitar 180 cm dengan adanya jangkauan tangan ke atas untuk memakai paku. Untuk meminimalkan adanya perbedaan delay pengiriman data ke mainboard, kedelapan kabel diberikan panjang yang sama, sehingga minimal panjang kabel adalah 180 cm (dari atas ke bawah) + 120 cm (dari sisi yang paling ujung ke sisi yang paling dekat ke mainboard). Sehingga perkiraan panjang kabel yang digunakan adalah sekitar 350-400 cm.

- Briefcase Box

Untuk mempermudah mobilitas dengan produk, seluruh komponen sistem dari alat Acoustic Tomography akan dimasukkan ke dalam satu kotak besar (seperti *briefcase* ataupun *luggage box* beroda) dengan gagang agar bisa di-*carry* ataupun ditarik. Dengan mempertimbangkan banyaknya jumlah dan dimensi dari masing-masing komponen, digunakan *luggage box* berdimensi 60 x 40 x 20 cm dengan ketebalan (ke dalam) sekitar 1 cm untuk memastikan durabilitasnya. Agar total berat sistem tidak terlalu tinggi, digunakan *briefcase* dengan berat maksimal 1.5 kg.

Untuk memastikan produk dapat dibawa kemanapun, berat total produk diusahakan serendah mungkin, yaitu dibawah 10 kg.

### 2.1.9 Spesifikasi 9 : User Interface (UI)

Produk yang dibuat memungkinkan pengguna untuk mendeteksi kondisi internal batang pohon dan melakukan visualisasi dalam bentuk gambar 2D tomogram dari penampang melintang batang pohon. Proses pengolahan data dapat dilakukan melalui aplikasi di smartphone. Aplikasi pada smartphone memerlukan koneksi Bluetooth untuk menghubungkan produk dengan smartphone. Selama proses pengukuran, pengguna perlu menginput informasi seperti diameter pohon, ketinggian titik pengukuran, jumlah sensor, dan lokasi setiap sensor. Beberapa ketentuan umum dari UI antara lain sebagai berikut.

#### 1. Tampilan Informasi dan Notifikasi

- ❖ Menampilkan informasi aktual seperti nomor sensor, jumlah pengambilan data pada setiap sensor, serta deviasi hasil pengukuran.
- ❖ Memberikan notifikasi visual (warna hijau untuk pengambilan data yang sudah benar, warna merah untuk pengambilan data yang tidak tepat), termasuk notifikasi "missing sensor" jika palu dipukul tidak tepat ditengah-tengah sensor.
- ❖ Memastikan tampilan informasi dan notifikasi mudah dipahami dan jelas bagi pengguna.

#### 2. Fitur "Lihat Tomogram"

- ❖ Fitur ini memungkinkan pengguna untuk melihat gambar tomogram yang merupakan visualisasi 2D dari penampang batang secara melintang pada titik yang diukur.
- ❖ Memastikan bahwa tampilan gambar tomogram dapat menampilkan semua data hasil pengukuran dengan jelas dan akurat.

### 2.1.10 Spesifikasi 10 : Memory Capacity

Produk yang dibuat memiliki kapasitas memori penyimpanan tertentu, yang dipertimbangkan berdasarkan ukuran dan jumlah data visualisasi distribusi densitas batang pohon. Ukuran data ini sangat bergantung pada kualitas atau resolusi gambar yang dihasilkan. Visualisasi pengukuran tersebut berupa tampilan 2D dari penampang batang secara melintang, dengan resolusi maksimum mencapai 1280 x 1280 pixel dan kerapatan 72-300 ppi.

Dalam satu hari, produk digunakan selama 8 jam untuk melakukan monitoring kesehatan batang pohon. Estimasi waktu total pengukuran dari satu pohon ke pohon lain adalah 40 menit, yang berarti dalam satu hari dapat dilakukan pemantauan terhadap 12 pohon. Pengukuran dilakukan selama 5 hari dalam satu minggu atau 20 hari dalam satu bulan. Dengan demikian, kapasitas memori minimal yang dibutuhkan harus mampu menyimpan data dari 240 gambar hasil pengukuran.

Untuk menghitung kebutuhan penyimpanan memori guna menampung 240 gambar dalam rentang waktu satu bulan, langkah pertama adalah menghitung jumlah total pixel yang akan digunakan oleh visualisasi tersebut. Setelah itu, jumlah pixel ini dikalikan dengan ukuran setiap pixel.

Dalam menghitung kebutuhan penyimpanan memori, ukuran file dari satu gambar diukur, kemudian dikali dengan jumlah gambar yang diambil dalam satu bulan.

Diberikan:

- Resolusi gambar maksimum: 1280 x 1280 pixel
- Kerapatan: 72-300 ppi
- Jenis warna: Merah, Biru, Kuning, Hijau, dll.
- Total gambar yang diambil dalam satu bulan: 240 gambar
  - Total pixel = Lebar x Tinggi  
= 1280 pixel x 1280 pixel  
= 1.638.400 pixel

Karena visualisasi berupa gambar berwarna, perlu dipertimbangkan tiga komponen warna (merah, biru, hijau) atau RGB untuk setiap pixel. Setiap komponen warna menggunakan 1 byte, maka total bytes per pixel adalah 3 byte.

Total bytes per pixel = 3 bytes/pixel

Jadi, ukuran satu gambar dalam bytes adalah:

- Ukuran satu gambar = Total pixel x Total bytes per pixel  
= 1.638.400 pixel x 3 bytes/pixel  
= 4.915.200 bytes
- Total kebutuhan penyimpanan = Ukuran satu gambar x Jumlah gambar dalam satu bulan  
= 4.915.200 bytes/gambar x 240 gambar  
≈ 1.179.648.000 bytes
- Ubah kebutuhan penyimpanan dalam unit yang lebih besar:

Konversi ke megabytes (MB):

$$\text{Total MB} = \text{Total bytes} / (1024 * 1024)$$

$$\approx 1.179.648.000 \text{ bytes} / (1024 * 1024)$$

$$\approx 1125 \text{ MB}$$

Jadi, diperlukan total kapasitas penyimpanan minimal sekitar 1125 MB atau 1,125 GB untuk menyimpan 240 gambar berwarna selama satu bulan dengan 20 hari kerja.

## 2.2 Tabel Spesifikasi Produk

Tabel 3 Spesifikasi Produk

No	Karakteristik Produk	Spesifikasi	Rincian
1	Melakukan pengukuran distribusi densitas batang pohon	Akurasi Pembacaan Perubahan Kecepatan Gelombang	5 %
2	Melakukan pengukuran distribusi densitas batang pohon	Frekuensi gelombang suara	3–10 kHz
3	Melakukan pengukuran distribusi densitas batang pohon	Akurasi timer	< 25 $\mu$ s
4	Memberikan visualisasi pelapukan batang pohon	Tampilan hasil pengukuran	Menggunakan tampilan gambar dengan image size minimal 720p (720 x 720 pixel) s.d. 1280p (1280 x 1280 pixel) dan kerapatan 72-300 ppi.
5	Waktu pengukuran per pohon tidak memakan waktu yang lama	Total waktu pengukuran	Total waktu pengukuran kurang dari 1 jam tiap pohon.
6	Produk portable dan <i>splash resistant</i>	Casing	Baterai dan amplifier diberikan case dengan material yang memberikan perlindungan terhadap benda padat berukuran >12.5 mm dan percikan air dari sudut hingga 60 derajat dari vertikal atau setara dengan IP23. Paku transduser memiliki ketahanan yang tinggi terhadap tekanan dan deformasi dan tahan terhadap korosi.
7	Produk portable dan <i>splash resistant</i>	Daya Tahan Baterai	Produk disertakan dengan <i>rechargeable battery</i> yang tahan

			untuk digunakan selama 3 jam secara kontinu.
8	Produk portable dan <i>splash resistant</i>	Berat dan Dimensi Produk	<p>Seluruh komponen produk dimasukkan ke dalam <i>luggage box</i> sehingga mudah untuk dipindahkan. Total berat produk kurang dari 10 kg. Dimensi dari <i>luggage box</i> dibawah 60 x 40 x 20 cm.</p> <p>Kabel-kabel yang digunakan pada sistem memiliki panjang sesuai untuk pengukuran pohon berdiameter maksimum 120 cm dengan ketinggian pengukuran maksimum 180 cm.</p>
9	Melakukan pengukuran distribusi densitas batang pohon	User Interface (UI)	Menampilkan informasi terkait data yang perlu di- <i>input</i> pengguna, serta menampilkan informasi tentang nomor sensor, jumlah pengambilan data pada setiap sensor, deviasi hasil pengukuran, dan notifikasi apakah pengambilan data setiap kali palu dipukul sudah oke atau terjadi <i>missing sensor</i> .
10	Menyediakan penyimpanan data hasil pengukuran di memory/database produk	Memory Capacity	Total kapasitas penyimpanan minimal sekitar 1125 megabytes (MB) atau 1,125 GB untuk menyimpan 240 gambar berwarna selama satu bulan dengan 20 hari kerja.

### 2.3 Verifikasi

Berikut merupakan metode verifikasi dari masing-masing spesifikasi produk.

#### 2.3.1 Spesifikasi 1: Akurasi Pembacaan Perubahan Kecepatan Gelombang

Tabel 4 Verifikasi spesifikasi #1

Hal	Akurasi Pembacaan Perubahan Kecepatan Gelombang
Rincian	5%
Metode Pengukuran	Perbandingan cepat rambat antara kayu berlubang.
Prosedur Pengujian	Lakukan pengukuran kecepatan gelombang pada kayu yang dilubangi 10%. Kemudian lakukan pengukuran pada

	kayu yang dilubangi 20% areanya. Bandingkan kecepatan gelombang kedua hasil pengukuran.
--	---

### 2.3.2 Spesifikasi 2: Frekuensi Gelombang Suara

**Tabel 4 Verifikasi spesifikasi #2**

Hal	Frekuensi gelombang suara
Rincian	3–10 kHz
Metode Pengukuran	Menggunakan sensor piezoelektrik
Prosedur Pengujian	Paku transduser dikoneksikan langsung dengan sensor, kemudian paku dipukul dan frekuensi gelombang yang dihasilkan dibaca.

### 2.3.3 Spesifikasi 3: Akurasi Timer

**Tabel 5 Verifikasi spesifikasi #3**

Hal	Akurasi timer
Rincian	< 25 $\mu$ s
Metode Pengujian	Pengambilan data beruntun
Prosedur Pengujian	Prosesor membaca data dari sensor sebanyak 10 kali berturut-turut. Pada setiap pengambilan data, dilakukan fungsi timer untuk mencatat waktu. Target akurasi adalah selisih waktu antara dua pembacaan data yang berurutan.

### 2.3.4 Spesifikasi 4: Tampilan Hasil Pengukuran

**Tabel 6 Verifikasi spesifikasi #4**

Hal	Tampilan Hasil Pengukuran
Rincian	Menggunakan tampilan Medium Density (MD) dengan screen resolution minimum 720 x 720 pixel s.d. maksimal 1280 x 1280 pixel dan kerapatan 72 ppi s.d. 300 ppi.
Metode Pengujian	Menguji resolusi pixel dengan image resolution tools
Prosedur Pengujian	Menyimpan/mengunduh file gambar dari hasil pengukuran kemudian menguji file tersebut dengan image resolution tools.

### 2.3.5 Spesifikasi 5: Total Waktu Pengukuran

Tabel 7 Verifikasi spesifikasi #5

Hal	Total waktu pengukuran
Rincian	Total waktu pengukuran < 1 jam per pohon.
Metode Pengujian	Menghitung waktu tiap proses menggunakan timer/stopwatch
Prosedur Pengujian	Melakukan simulasi dari setiap langkah pengukuran dan menghitung menggunakan timer/stopwatch kemudian mencatat dan membandingkan dengan total waktu yang menjadi target yaitu dibawah 1 jam untuk 1 pohon.

### 2.3.6 Spesifikasi 6: Casing

Tabel 8 Verifikasi Spesifikasi #6

Hal	Casing
Rincian	Kotak baterai dan kotak amplifier memiliki perlindungan terhadap benda padat berukuran > 12.5 mm dan percikan air dari sudut hingga 60 derajat dari vertikal (setara dengan IP23). Paku transduser memiliki ketahanan yang tinggi terhadap tekanan dan deformasi dan tahan terhadap korosi.
Metode Pengujian	Menguji ketahanan dan portabilitas produk terhadap air dengan menggunakan shower. Pengujian ketahanan paku terhadap deformasi dan uji korosi.
Prosedur Pengujian	Simulasi hujan dari atas sampai 60 derajat menggunakan shower terhadap kotak baterai dan kotak amplifier setidaknya selama 3 menit. Memukul paku langsung ke batang pohon sampai ke ujung setidaknya 10x untuk memastikan durabilitas paku. Melakukan uji korosi dengan memasukkan paku ke dalam larutan NaCl setidaknya selama 3-7 hari.

### 2.3.7 Spesifikasi 7: Daya Tahan Baterai

Tabel 9 Verifikasi spesifikasi #7

Hal	Daya Tahan Baterai
-----	--------------------

Rincian	Perangkat disertakan dengan sumber daya <i>rechargeable battery</i> yang dapat bertahan lebih lama dari waktu minimum produk menyala selama pengukuran dilakukan dalam satu hari, yaitu untuk 12 batang pohon dengan waktu 15 menit/pohon dengan total waktu 3 jam.
Metode Pengujian	Menguji kapasitas baterai dengan <i>battery tester</i>
Prosedur Pengujian	Melakukan pengujian dengan beban yang sesuai (~5910 mW) terhadap baterai dengan <i>battery tester</i> setidaknya selama 3 jam secara kontinu.

### 2.3.8 Spesifikasi 8: Berat dan Dimensi Produk

**Tabel 10 Verifikasi spesifikasi #8**

Hal	Berat dan Dimensi Produk
Rincian	<p>Seluruh komponen produk dimasukkan ke dalam <i>luggage box</i> sehingga mudah untuk dipindahkan. Total berat produk kurang dari 10 kg. Dimensi dari <i>luggage box</i> adalah dibawah 60 x 40 x 20 cm.</p> <p>Kabel-kabel yang digunakan pada sistem memiliki panjang sesuai untuk pengukuran pohon berdiameter maksimum 120 cm dengan ketinggian pengukuran maksimum 180 cm.</p>
Metode Pengujian	<p>Pengujian portabilitas briefcase/kotak produk.</p> <p>Pengujian berat dan dimensi produk dan <i>luggage box</i>.</p> <p>Simulasi pemasangan kabel di pohon dengan lingkaran berdiameter 120 cm dan ketinggian pengukuran maksimum 180 cm.</p>
Prosedur Pengujian	<p>Memastikan bahwa <i>luggage box</i> yang berisikan seluruh peralatan akustik tomografi memiliki beban berat sesuai estimasi (&lt; 10 kg) dengan dimensi dibawah 60 x 40 x 20 cm mudah untuk dibawa/ditarik dengan <i>luggage box</i>.</p> <p>Mengukur panjang kabel dengan meteran, menempelkan salah satu ujung kabel ke ketinggian 180 cm, melentangkannya secara vertikal ke bawah, menahan ujung di bawah kemudian menarik sisa kabel secara horizontal sepanjang 120 cm.</p>

### 2.3.9 Spesifikasi 9: User Interface (UI)

**Tabel 11 Verifikasi spesifikasi #9**

Hal	User Interface (UI)
Rincian	Menampilkan informasi terkait data yang perlu di-input pengguna, serta menampilkan informasi aktual tentang nomor sensor, jumlah pengambilan data pada setiap sensor, deviasi hasil pengukuran, dan notifikasi apakah pengambilan data setiap kali palu dipukul sudah oke atau terjadi <i>missing sensor</i> .
Metode Pengujian	Melakukan uji verifikasi usability dengan menyebarkan kuesioner kepada pengguna untuk menilai kesesuaian tampilan dari produk dengan kebutuhan pengguna.
Prosedur Pengujian	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Menyiapkan antarmuka tampilan sebagai dasar untuk membuat kuesioner dari setiap tampilan.</li> <li>2. Membuat kuesioner untuk mengumpulkan umpan balik dari pengguna terkait kejelasan dan kegunaan setiap tampilan, dengan skala penilaian dari 0 hingga 10 (0 untuk tidak jelas, 10 untuk sangat jelas)</li> <li>3. Menyebarkan kuesioner supaya dapat diisi oleh pengguna yang akan berinteraksi dengan tampilan produk.</li> <li>4. Mengolah data yang terkumpul dari kuesioner untuk mengevaluasi kemudahan penggunaan aplikasi, termasuk proses input informasi dan navigasi antarmuka.</li> </ol>

### 2.3.10 Spesifikasi 10: Memory Capacity

**Tabel 12 Verifikasi spesifikasi #10**

Hal	Memory Capacity
Rincian	Total kapasitas penyimpanan minimal sekitar 1125 MB atau 1,125 GB untuk menyimpan 240 gambar berwarna selama satu bulan dengan 20 hari kerja.
Metode Pengujian	Menyimpan data hingga kondisi maksimum.
Prosedur Pengujian	Melakukan penyimpanan data pada tempat penyimpanan hingga 1125 MB.

## 3 Lampiran

Tidak ada lampiran.