

**DESAIN DAN IMPLEMENTASI PERANGKAT KERAS ALAT
MONITORING KONDISI INTERNAL BATANG POHON
DENGAN METODE *ACOUSTIC TOMOGRAPHY***

TUGAS AKHIR

**Karya tulis sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar Sarjana dari
Institut Teknologi Bandung**

**Oleh
RANI ISRAMIHARTI
NIM: 13220003
(Program Studi Sarjana Teknik Elektro)**



**INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG
Februari 2025**

ABSTRAK

DESAIN DAN IMPLEMENTASI PERANGKAT KERAS ALAT MONITORING KONDISI INTERNAL BATANG POHON DENGAN METODE *ACOUSTIC TOMOGRAPHY*

Oleh

Rani Isramiharti

NIM: 13220003

(Program Studi Sarjana Teknik Elektro)

Proyek tugas akhir ini bertujuan untuk mengembangkan alat bernama "Terawang" berbasis teknologi *acoustic tomography* sebagai solusi lokal yang terjangkau untuk mengetahui kondisi internal batang pohon secara non-destruktif. Pohon memiliki peran penting dalam ekosistem global, baik dari aspek ekologis sebagai penyerap karbon dioksida (CO₂) dan penghasil oksigen (O₂), maupun dari aspek ekonomi dan sosial, termasuk sebagai elemen estetika di kawasan urban. Namun, kesehatan pohon sering kali terganggu oleh kerusakan internal yang tidak terlihat secara visual, seperti akibat pelapukan, hama, atau penyakit. Kerusakan ini dapat melemahkan struktur pohon dan meningkatkan risiko tumbang, yang berpotensi menyebabkan kerugian material hingga ancaman keselamatan, terutama di kawasan perkotaan yang padat penduduk. Teknologi *acoustic tomography* menawarkan kemampuan untuk mendeteksi kerusakan internal melalui pengukuran kecepatan rambat gelombang suara, yang lebih cepat pada kayu sehat dibandingkan dengan kayu yang rusak. Namun, perangkat komersial seperti *Picus* dan *Arbotom* memiliki harga yang sangat tinggi, sehingga sulit diakses oleh banyak pihak. Oleh karena itu, proyek tugas akhir ini mengembangkan alat bernama "Terawang" yang lebih terjangkau untuk mendukung *arborist*, peneliti, dan akademisi dalam penilaian kondisi pohon.

Alat "Terawang" terdiri dari perangkat keras dan perangkat lunak, dengan fokus utama pada pengembangan perangkat keras, termasuk desain *casing mainboard*, sistem daya, desain PCB, dan modifikasi *luggage box* untuk meningkatkan portabilitas. Sistem daya dirancang menggunakan baterai Li-Po berkapasitas 10.000 mAh dengan tegangan 3,7V, *step-up converter* SX1308 untuk meningkatkan tegangan menjadi 5V, serta modul pengisi daya TP4056 dengan perlindungan DW01. Sistem ini dirancang untuk mendukung pengoperasian alat hingga 8 jam tanpa henti dengan efisiensi daya yang tinggi. Desain PCB mengintegrasikan daya, mikrokontroler Teensy 4.1, modul Bluetooth HC-05, dan konektor JST XH 2,54 mm untuk sensor. Tata letak komponen PCB dirancang secara optimal untuk meminimalkan interferensi elektromagnetik antara jalur daya dan komunikasi. *Casing* perangkat dirancang menggunakan bahan PETG dengan perlindungan standar IP23 untuk melindungi komponen dari percikan air dan benda padat. *Luggage box* dimodifikasi untuk menyimpan seluruh komponen alat,

termasuk 8 sensor, kabel, palu, dan meteran. Dengan dimensi 42 cm × 36 cm × 12 cm dan berat total 3,894 kg, desain *luggage box* memastikan alat portabel dan mudah digunakan di lapangan. Pengujian subsistem daya menunjukkan bahwa sistem bekerja dengan optimal pada mode *charging*, *standby*, dan *discharging*, dengan suplai tegangan stabil untuk seluruh komponen. Pengujian baterai menunjukkan bahwa sistem mampu menyuplai daya selama lebih dari 28 jam secara kontinu, jauh di atas kebutuhan minimum 8 jam. Pengujian *casing* membuktikan bahwa bahan PETG memenuhi standar IP23, memberikan perlindungan yang memadai terhadap air dan benda padat. Paku sensor berbahan baja galvanis juga terbukti tahan terhadap deformasi dan korosi dalam simulasi lingkungan ekstrem. Pengujian portabilitas memastikan bahwa alat dapat dioperasikan secara praktis oleh satu hingga dua orang dewasa. Dengan desain yang efisien, alat "Terawang" memberikan solusi inovatif untuk mendeteksi kondisi internal pohon secara akurat, andal, dan ekonomis. Teknologi ini diharapkan dapat meningkatkan efektivitas pemeliharaan dan perawatan pohon, mengurangi risiko kecelakaan akibat pohon tumbang, dan mendukung pengelolaan ruang hijau yang lebih baik di kawasan urban. Alat ini tidak hanya relevan bagi para *arborist* dan akademisi, tetapi juga memiliki potensi besar untuk diaplikasikan dalam konservasi lingkungan dan mitigasi bencana.

Kata kunci: *Acoustic Tomography*, Sistem Daya, *Casing* IP23, *Luggage Box*, Portabilitas.

ABSTRACT

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF HARDWARE FOR TREE TRUNK INTERNAL CONDITION MONITORING DEVICE USING ACOUSTIC TOMOGRAPHY METHOD

By

Rani Isramiharti

NIM: 13220003

(Bachelor Program in Electrical Engineering)

This study aims to develop a tool called "Terawang", based on acoustic tomography technology, as a cost-effective local solution to assess the internal condition of tree trunks non-destructively. Trees play a vital role in the global ecosystem, both ecologically as carbon dioxide (CO₂) absorbers and oxygen (O₂) producers, and economically and socially as aesthetic elements in urban areas. However, tree health is often compromised by internal damage that is not visible externally, such as decay, pest infestations, or disease. This damage can weaken the tree structure and increase the risk of falling, which can lead to material losses and safety hazards, especially in densely populated urban areas. Acoustic tomography technology offers the capability to detect internal damage by measuring the propagation speed of sound waves, which travel faster in healthy wood compared to damaged wood. However, commercial devices such as Picus and Arbotom are prohibitively expensive, making them inaccessible to many users. Therefore, this study developed a more affordable "Terawang" prototype to support arborists, researchers, and academics in assessing tree conditions.

The "Terawang" tool consists of hardware and software components, with the primary focus on hardware development, including mainboard casing design, power system design, PCB design, and luggage box modifications to enhance portability. The power system was designed using a 10,000 mAh Li-Po battery with a 3.7V output, a step-up converter (SX1308) to increase the voltage to 5V, and a TP4056 charging module with DW01 protection. This system is designed to operate continuously for up to 8 hours with high power efficiency. The PCB design integrates the power supply, a Teensy 4.1 microcontroller, a Bluetooth HC-05 module, and JST XH 2.54 mm connectors for sensors. The PCB component layout is optimized to minimize electromagnetic interference between power and communication lines. The device casing is made of PETG material and meets the IP23 protection standard to safeguard components from water splashes and solid particles. The luggage box was modified to store all tool components, including 8 sensors, cables, a hammer, and a measuring tape. With dimensions of 42 cm × 36 cm × 12 cm and a total weight of 3.894 kg, the luggage box ensures that the device is portable and easy to use in the field. Power subsystem testing demonstrated that the system performed optimally in charging, standby, and discharging modes, with

stable voltage supply to all components. Battery testing showed that the system could supply power for more than 28 continuous hours, far exceeding the minimum requirement of 8 hours. The casing testing confirmed that the PETG material meets IP23 standards, providing adequate protection against water and solid particles. The galvanized steel sensor nails also proved resistant to deformation and corrosion during extreme environmental simulations. Portability testing confirmed that the tool could be operated practically by one to two adults. With its efficient design, "Terawang" offers an innovative solution to accurately, reliably, and economically detect the internal condition of trees. This technology is expected to enhance tree maintenance and care effectiveness, reduce the risk of accidents caused by falling trees, and support better urban green space management. The tool is not only relevant for arborists and academics but also has significant potential for applications in environmental conservation and disaster mitigation.

Keywords: Acoustic Tomography, Power System, IP23 Casing, Luggage Box, Portability.

HALAMAN PENGESAHAN

DESAIN DAN IMPLEMENTASI PERANGKAT KERAS ALAT MONITORING KONDISI INTERNAL BATANG POHON DENGAN METODE *ACOUSTIC TOMOGRAPHY*

Oleh
Rani Isramiharti
NIM: 13220003
(Program Studi Sarjana Teknik Elektro)

Institut Teknologi Bandung

Menyetujui
Dosen Pembimbing

Tanggal 3 Februari 2025

Pembimbing 1



(Dr. Ir. Akhmadi Surawijaya, S.T, M.Eng.)

Pembimbing 2



(Indra Sihar, S.T., M.Sc., Ph.D.)

PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR

Tugas Akhir Sarjana, yang tidak dipublikasikan, terdaftar dan tersedia di Perpustakaan Institut Teknologi Bandung, dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis dengan mengikuti aturan HaKI yang berlaku di Institut Teknologi Bandung. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai dengan kaidah ilmiah untuk menyebutkan sumbernya.

Sitasi hasil pekerjaan Tugas Akhir ini dapat di tulis dalam bahasa Indonesia sebagai berikut:

Isramiharti, Rani. (2025): *Desain dan Implementasi Perangkat Keras Alat Monitoring Kondisi Internal Batang Pohon dengan Metode Acoustic Tomography*, Tugas Akhir Program Sarjana, Institut Teknologi Bandung.

dan dalam bahasa Inggris sebagai berikut:

Isramiharti, Rani. (2025): *Design and Implementation of Hardware for Monitoring the Internal Condition of Tree Trunks Using the Acoustic Tomography Method*, Bachelor's Final Project, Institut Teknologi Bandung.

Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh Tugas Akhir haruslah seizin Ketua Program Studi Sarjana Teknik Elektro, Institut Teknologi Bandung.

Dipersembahkan kepada orang tua saya yang sudah mencurahkan tenaga dan upayanya sehingga bisa membuat anaknya menjadi seorang sarjana.

KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul "Desain dan Implementasi Perangkat Keras Alat Monitoring Kondisi Internal Batang Pohon dengan Metode *Acoustic Tomography*". Dalam proses pengerjaan hingga penulisan laporan ini, penulis menerima banyak bantuan, arahan, serta dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan tulus penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, Dra. Emita Dahlia (Ibu) dan Ismael Kahar (Ayah), atas doa, dukungan, dan kasih sayang yang tidak pernah berhenti diberikan kepada penulis sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.
2. Bapak Dr. Ir. Akhmadi Surawijaya, S.T., M.Eng. dan Bapak Indra Sihar, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku dosen pembimbing, atas saran, arahan, motivasi, serta bimbingan selama proses pengerjaan tugas akhir.
3. Bapak Nana Sutisna, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen wali yang telah memberikan nasihat, dukungan, dan motivasi sepanjang perjalanan akademik penulis di ITB.
4. Bapak Dr. Rahadian Yusuf, S.T., M.T., selaku dosen pengampu mata kuliah Tugas Akhir I dan Tugas Akhir II, beserta tim dosen tugas akhir lainnya yang telah memberikan waktu, masukan, kritik dan evaluasi dalam membantu proses pengerjaan tugas akhir.
5. Dr. Yayat Hidayat, S.Hut., M.Si., selaku dosen kehutanan ITB yang telah menjadi narasumber penting dalam pengerjaan tugas akhir ini.
6. Bayu Aji Nugroho, Tiffany Saulina Nababan, dan Faris Jabar Nugrhadi, sebagai rekan tim tugas akhir atas kerja sama, pengertian, dedikasi, dan kesabarannya selama pengerjaan proyek ini.
7. Rekan-rekan Mahasiswa Teknik Elektro angkatan 2020, atas dukungan, kebersamaan, dan pengalaman berharga yang telah diberikan selama masa studi dan pengerjaan tugas akhir.

8. Semua pihak lainnya yang tidak dapat disebutkan satu per satu, atas doa, bantuan, dan dukungan yang diberikan kepada penulis selama proses studi hingga penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca serta menjadi inspirasi untuk pengembangan lebih lanjut di masa depan. Penulis juga terbuka terhadap kritik dan saran yang membangun guna memperbaiki dan meningkatkan solusi yang telah disusun.

Bandung, 3 Februari 2025



Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
HALAMAN PENGESAHAN	v
PEDOMAN PENGGUNAAN TUGAS AKHIR.....	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xii
Bab I PENDAHULUAN	1
I.1. Masalah dan Tujuan	1
I.2. Batasan dan Konstrain	2
I.3. Bagian yang Dikerjakan	3
BAB II PENGETAHUAN DAN INFORMASI PENDUKUNG	6
II.1. Manajemen Daya	6
II.2. Casing dan Standar Perlindungan (IP)	6
II.3. Mata Kuliah Terkait	7
BAB III PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI.....	9
III.1. Spesifikasi Teknis	10
III.2. Proses Perancangan	12
III.3. Proses Implementasi	19
III.4. Hasil Implementasi.....	23
BAB IV ANALISIS HASIL TUGAS AKHIR.....	31
IV.1. Hasil Tugas Akhir	31
IV.2. Pengetahuan yang Diperoleh.....	32
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	33
V.1. Kesimpulan	33
V.2. Saran	33
REFERENSI.....	35
DAFTAR LAMPIRAN	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Bagian sistem yang dikerjakan	5
Gambar 2 Arsitektur subsistem daya	6
Gambar 3 IP rating	7
Gambar 4 Arsitektur subsistem daya dengan komponen terpilih	13
Gambar 5 Skematik PCB	14
Gambar 6 Rangkaian daya pada breadboard	14
Gambar 7 (a) Layer atas (b) Layer bawah PCB	16
Gambar 8 Desain casing utama mainboard	18
Gambar 9 Desain penutup casing mainboard	18
Gambar 10 Hasil assembly casing utama mainboard dengan penutupnya	18
Gambar 11 PCB dan komponen terpilih yang sudah disolder	19
Gambar 12 Implementasi casing mainboard dari berbagai sudut: (a) samping kanan, (b) samping kiri, (c) depan, dan (d) dalam.	20
Gambar 13 Penataan komponen perangkat acoustic tomography di dalam luggage box	22
Gambar 14 Desain rangkaian PCB awal	23
Gambar 15 Desain PCB hasil revisi yang telah diintegrasikan dengan casing mainboard	23
Gambar 16 Hasil pengujian daya tahan baterai	27
Gambar 17 Hasil pengujian dari bagian atas casing dan kondisi dalam casing	28
Gambar 18 Hasil pengujian casing terhadap benda padat	28
Gambar 19 Hasil pengujian paku terhadap korosi dan tekanan pukulan	29
Gambar 20 Berat luggage box	30
Gambar 21 Dimensi luggage box 42 x 36 x 12 cm	30
Gambar 22 Simulasi pengukuran pada pohon diameter 100 cm dan tinggi titik pengukuran 180 cm	30

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Bagian sistem yang dikerjakan	4
Tabel 2 Karakteristik produk	9
Tabel 3 Spesifikasi teknis	10
Tabel 4 Konsumsi daya masing masing komponen	12
Tabel 5 Perhitungan dan implementasi lebar jalur PCB berdasarkan kebutuhan arus	16
Tabel 6 Pengujian tegangan pada PCB saat mode charging	23
Tabel 7 Pengujian tegangan pada PCB saat mode standby	24
Tabel 8 Pengujian tegangan pada PCB saat mode discharging	25

Bab I PENDAHULUAN

I.1. Masalah dan Tujuan

Pohon adalah elemen penting dalam ekosistem global, baik sebagai penyerap karbon dioksida (CO_2), penghasil oksigen (O_2), maupun pelindung lingkungan dari erosi tanah dan bencana alam. Selain memberikan manfaat ekologis, pohon juga memiliki nilai ekonomi dan sosial, termasuk sebagai habitat bagi fauna serta elemen estetika di kawasan urban [1], [2]. Pohon dikatakan sehat apabila masih dapat menjalankan fungsi fisiologisnya dengan baik. Sebaliknya, pohon yang mengalami kerusakan struktural, baik sebagian maupun keseluruhan, dianggap tidak sehat. Penyebab utama kerusakan ini dapat berupa organisme patogenik seperti hama atau jamur, maupun faktor lingkungan fisik seperti angin kencang atau hujan lebat [3]. Penilaian kesehatan pohon secara visual menggunakan metode *Forest Health Monitoring* (FHM) menjadi salah satu cara untuk mengidentifikasi kerusakan berdasarkan lokasi, tipe, dan tingkat keparahan kerusakan [4]. Namun, metode ini terbatas pada pengamatan luar saja dan tidak dapat memberikan gambaran tentang kondisi internal batang pohon.

Kerusakan internal akibat pelapukan, hama, atau penyakit sering kali tidak terlihat dari luar, tetapi dapat melemahkan struktur pohon secara signifikan dan menyebabkan tumbang pohon secara tiba-tiba. Hal ini meningkatkan risiko kerugian material hingga ancaman keselamatan, terutama di kawasan perkotaan yang padat penduduk [5]. Teknologi berbasis non-destruktif seperti *acoustic tomography* telah terbukti mampu memberikan informasi mendalam tentang kondisi internal batang pohon melalui pengukuran kecepatan rambat gelombang suara [6]. Sayangnya, alat berbasis teknologi non-destruktif yang tersedia, seperti *Picus* dan *Arbotom*, memiliki harga yang sangat mahal sehingga sulit diakses oleh banyak pihak. [7]. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu alat yang dapat mengetahui kondisi internal batang pohon berdasarkan distribusi densitasnya secara akurat tanpa merusak pohon (non-destruktif). Proyek tugas akhir ini bertujuan untuk mengembangkan alat berbasis teknologi *acoustic tomography* bernama “Terawang” sebagai solusi lokal yang terjangkau untuk mendeteksi kerusakan internal batang pohon. Alat ini diharapkan dapat membantu peneliti, *arborist*, dan akademisi dalam melakukan analisis mendalam terhadap kondisi internal pohon

secara efisien dan akurat, sehingga dapat mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik dalam pemeliharaan dan pengelolaan pohon di kawasan urban.

I.2. Batasan dan Konstrain

Dalam pelaksanaan tugas akhir ini, batasan masalah yang diperhatikan adalah:

1. Cakupan Masalah: Tugas akhir ini hanya berfokus pada pengembangan alat untuk mendeteksi kondisi internal batang pohon berbasis distribusi densitas batang pohon (padat, lapuk, atau berlubang).
2. Jenis Pohon yang Diukur. Pohon yang diukur memiliki batasan kriteria sebagai berikut:
 - Jenis pohon berkayu dan berbentuk batang bulat, seperti pohon mahoni atau pohon jati.
 - Pohon *overmature*, yaitu pohon yang telah melampaui usia atau kondisi kedewasaan, serta produktivitasnya menurun.
 - Pohon memiliki diameter batang minimal 30 cm.
 - Pohon menunjukkan gejala kerusakan fisik atau penyakit berdasarkan pengamatan visual.
3. Lingkungan Operasional: Alat dirancang untuk digunakan di area luar ruangan tanpa sumber listrik langsung, sehingga alat harus *portable* dan berbasis baterai.

Beberapa konstrain yang memengaruhi perancangan dan implementasi solusi pada tugas akhir ini adalah:

1. Konstrain Ekonomi dan Manufakturabilitas (*Economy and Manufacturability*)
 - Instrumen harus memiliki biaya produksi yang terjangkau agar dapat diakses oleh pihak-pihak berkepentingan seperti pengelola ruang hijau perkotaan, peneliti pohon, atau komunitas *arborist* dengan anggaran terbatas.
 - Komponen yang digunakan harus tersedia di dalam negeri agar mudah diperoleh dan tidak menimbulkan ketergantungan pada impor.

- Biaya pembuatan alat harus tetap ekonomis untuk mendukung keberlanjutan pengoperasian.
2. Konstrain Kesehatan, Keselamatan, dan Lingkungan (*Health, Safety, and Environment*)
 - Instrumen harus dirancang non-destruktif agar tidak merusak pohon selama pengukuran dilakukan.
 - Pengguna harus terhindar dari risiko bahaya seperti sengatan listrik, sehingga rangkaian elektronika dirancang terlindungi.
 - Material yang digunakan pada alat tidak boleh berbahaya bagi manusia maupun lingkungan, baik dalam jangka pendek maupun panjang.
 3. Konstrain Lingkungan dan Keberlanjutan (*Environment and Sustainability*)
 - Alat harus mampu beroperasi dalam kondisi luar ruangan, tahan terhadap paparan sinar matahari dan percikan air.
 - Alat harus menggunakan baterai yang mampu bertahan selama satu hari penuh untuk mendukung pengukuran berulang setiap enam bulan.
 - Komponen yang digunakan harus tahan lama dan tetap presisi meskipun digunakan dalam jangka panjang.
 4. Legalitas dan Standar (*Legal, Code, and Standards*)
 - Instrumen harus mematuhi regulasi yang berlaku, seperti Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 05/PRT/M/2012 tentang pedoman penanaman pohon pada sistem jaringan jalan, yang menyebutkan jarak penanaman antar pohon sekitar 4 meter, sehingga area pengukuran terbatas.
 5. Etika, Sosial, dan Budaya (*Ethics, Social, and Culture*)
 - Pengguna instrumen diharapkan memiliki latar belakang pendidikan minimal S1 dan pengetahuan mengenai spesies pohon di Indonesia untuk memastikan penggunaan alat secara efektif.

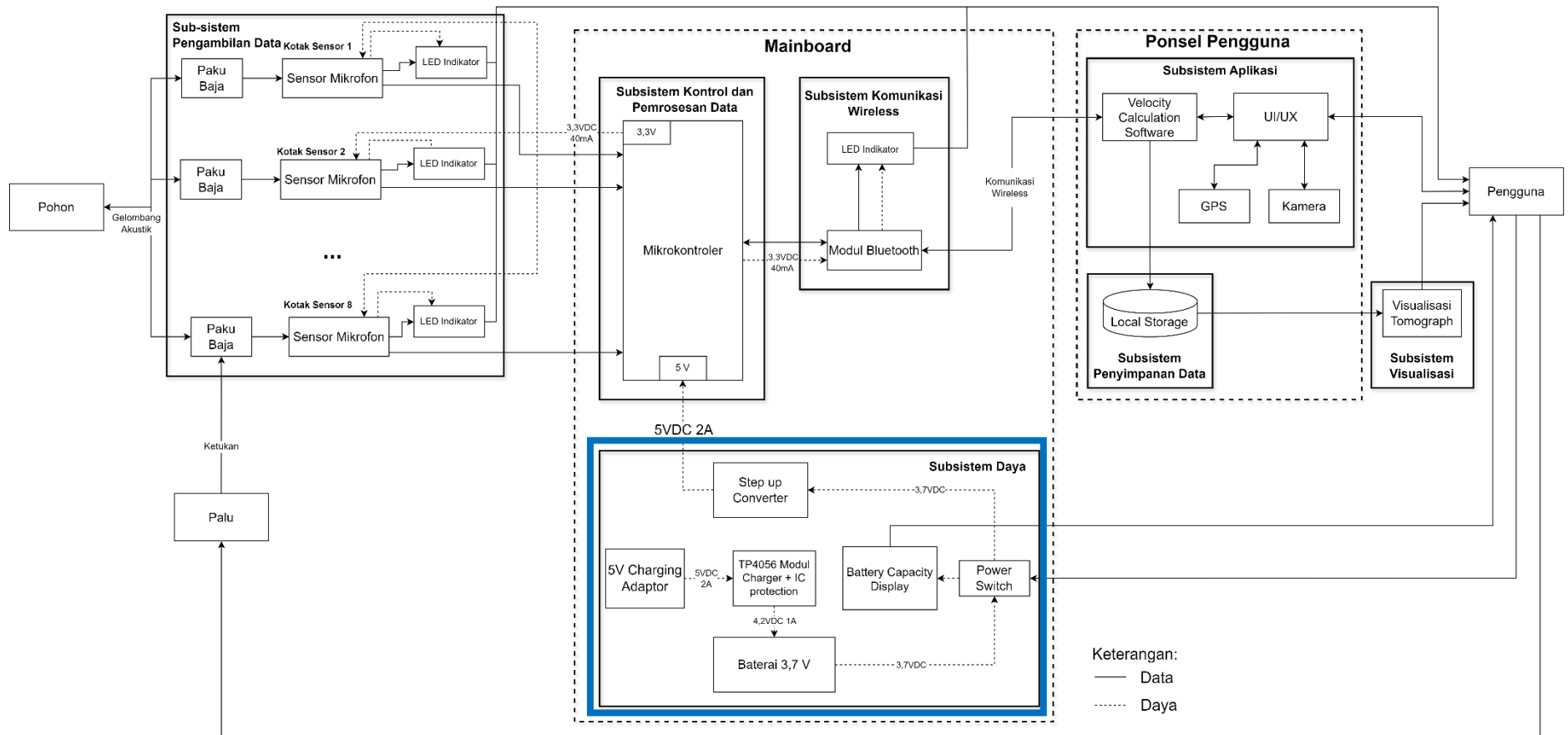
I.3. Bagian yang Dikerjakan

Arsitektur utama untuk alat monitoring kondisi internal batang pohon berbasis teknologi *acoustic tomography* bernama Terawang dapat dilihat pada Gambar 1.

Arsitektur utama dipecah menjadi 7 subsistem. Bagian yang dikerjakan meliputi desain dan implementasi subsistem daya, PCB, *casing mainboard*, dan modifikasi *luggage box*. Semua bagian ini dirancang untuk mendukung alat "Terawang" dalam memenuhi spesifikasi fungsional, portabilitas, dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan luar. Fungsi sistem daya dijelaskan dalam tabel berikut ini.

Tabel 1 Bagian sistem yang dikerjakan

Nama	Sistem Daya
Fungsi	Sistem ini berfungsi sebagai penyedia daya dan melakukan manajemen daya untuk seluruh sistem, termasuk subsistem pengumpulan data, pemrosesan data, dan komunikasi <i>wireless</i> . Sistem juga dapat menerima suplai berupa tegangan 220V AC dari jala-jala yang dikonversi oleh <i>charging</i> adapter menjadi 5V untuk pengisian daya baterai.
Masukan	Tegangan 220V AC dari jala-jala yang dikonversi oleh <i>charging</i> adapter menjadi 5V
Luaran	Suplai daya dengan tegangan operasional 5V untuk input mikrokontroller. Sedangkan <i>pin</i> 3,3V mikrokontroller digunakan untuk menyuplai sensor dan bluetooth.



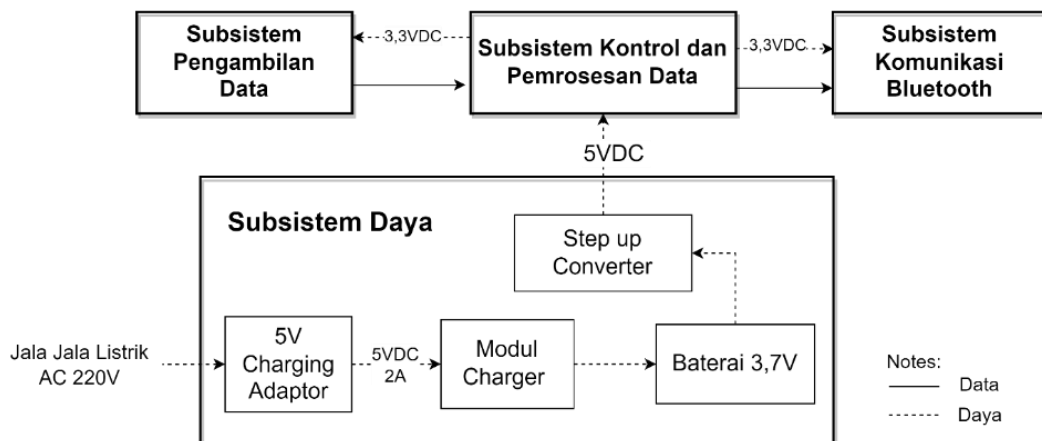
Gambar 1 Bagian sistem yang dikerjakan

BAB II PENGETAHUAN DAN INFORMASI PENDUKUNG

II.1. Manajemen Daya

Manajemen daya adalah komponen penting dalam alat monitoring kondisi internal batang pohon. Subsistem daya portabel dirancang untuk menyediakan suplai energi stabil selama pengoperasian di lapangan. Pada alat Terawang, baterai Li-Po berkapasitas tinggi dengan tegangan nominal 3,7V dipilih sebagai sumber daya utama. Baterai jenis ini memiliki keunggulan berupa densitas energi yang tinggi, fleksibilitas dalam bentuk dan ukuran, ringan, dan dapat diisi ulang, sehingga sangat cocok untuk aplikasi perangkat portabel.

Untuk memenuhi kebutuhan tegangan mikrokontroler Teensy 4.1, digunakan *step-up converter* SX1308 untuk meningkatkan tegangan dari 3,7V menjadi 5V dengan efisiensi konversi tinggi. Sistem ini dilengkapi dengan modul *charger* TP4056 yang memungkinkan pengisian daya melalui *port* USB *type-C* menggunakan adaptor 5V yang umum digunakan pada ponsel, modul ini juga dilengkapi proteksi DW01 untuk melindungi baterai dari arus berlebih, tegangan berlebih, dan suhu tinggi. Rancangan ini memastikan alat memiliki suplai daya yang stabil, aman, dan efisien untuk mendukung pengoperasian di luar ruangan.



Gambar 2 Arsitektur subsistem daya

II.2. Casing dan Standar Perlindungan (IP)

Casing produk memainkan peran penting dalam melindungi seluruh komponen produk dari berbagai potensi kerusakan faktor eksternal, sekaligus melindungi pengguna dari adanya resiko sengatan listrik dari komponen. *Ingress Protection* (IP) adalah standar internasional yang digunakan untuk mengukur tingkat

perlindungan suatu casing terhadap benda padat dan cairan. *Casing* produk seperti kotak sensor dan kotak *mainboard* harus memenuhi standar *rating ingress protection* setara IP23 karena produk-produk ini akan sering digunakan di luar ruangan [8].

IP (Ingress Protection) Ratings Guide	
SOLIDS	WATER
1 Protected against a solid object greater than 50 mm such as a hand.	1 Protected against vertically falling drops of water. Limited ingress permitted.
2 Protected against a solid object greater than 12.5 mm such as a finger.	2 Protected against vertically falling drops of water with enclosure tilted up to 15 degrees from the vertical. Limited ingress permitted.
3 Protected against a solid object greater than 2.5 mm such as a screwdriver.	3 Protected against sprays of water up to 60 degrees from the vertical. Limited ingress permitted for three minutes.
4 Protected against a solid object greater than 1 mm such as a wire.	4 Protected against water splashed from all directions. Limited ingress permitted.
5 Dust Protected. Limited ingress of dust permitted. Will not interfere with operation of the equipment. Two to eight hours.	5 Protected against jets of water. Limited ingress permitted.
6 Dust tight. No ingress of dust. Two to eight hours.	6 Water from heavy seas or water projected in powerful jets shall not enter the enclosure in harmful quantities.
Rating Example: IP65 INGRESS PROTECTION	
	7 Protection against the effects of immersion in water between 15 cm and 1 m for 30 minutes.
	8 Protection against the effects of immersion in water under pressure for long periods.

Gambar 3 IP rating

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 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 di lingkungan luar ruangan.

II.3. Mata Kuliah Terkait

Mata Kuliah yang telah atau baru dipelajari dan digunakan dalam pelaksanaan perancangan tugas akhir.

1. Elektronika : Mata kuliah ini digunakan dalam merancang PCB, dari fungsi komponen yang digunakan, pembuatan skematik, tata letak komponen, dan lebar jalur PCB agar optimal, stabil, dan meminimalkan *noise*.
2. Pemecahan Masalah dengan C : cara pembuatan *flowchart* dan DFD yang benar.
3. Solidwork : Aplikasi yang dipelajari untuk mendesain *casing mainboard*.

BAB III PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

Setelah merumuskan permasalahan, fitur dan sifat dari produk solusi didefinisikan dan diturunkan menjadi beberapa karakteristik seperti pada penjelasan berikut ini.

- **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 di bawah 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 (non-destruktif).
 - Waktu pengukuran per pohon tidak memakan waktu yang lama

Fitur dan sifat tersebut kemudian diturunkan menjadi beberapa karakteristik dari produk yang dibuat. Karakteristik tersebut dijelaskan pada tabel berikut ini.

Tabel 2 Karakteristik produk

No	Karakteristik Produk
1	Dapat mengukur distribusi densitas batang pohon untuk mendeteksi adanya pelapukan pada titik yang diukur
2	Dapat memberikan visualisasi pelapukan batang pohon kepada user
3	Produk <i>portable</i> dan <i>splash resistant</i>

4	Menyediakan penyimpanan data hasil pengukuran pada <i>memory/database</i> produk
5	Waktu pengukuran per pohon tidak memakan waktu yang lama

III.1. Spesifikasi Teknis

Untuk memenuhi karakteristik yang telah disebutkan sebelumnya, implementasi dan pengujian produk akan dilakukan berdasarkan fungsi dan spesifikasi yang telah ditetapkan. Dari seluruh karakteristik yang dirumuskan, spesifikasi yang harus dicapai oleh sistem daya beserta integrasinya dengan sistem pengumpulan data pada PCB, desain *casing mainboard*, serta modifikasi *luggage box* dirangkum pada tabel berikut.

Tabel 3 Spesifikasi teknis

Spesifikasi	Uraian	Verifikasi
<i>Casing</i>	Baterai diberikan <i>case</i> 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.	Menguji ketahanan dan portabilitas produk terhadap air dengan menggunakan <i>shower</i> . Pengujian ketahanan paku terhadap deformasi dan uji korosi. Simulasi hujan dari arah atas sampai 60 derajat dari atas menggunakan <i>shower</i> terhadap kotak baterai (kotak <i>mainboard</i>) 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.
Daya Tahan Baterai	Produk disertakan dengan <i>rechargeable battery</i> yang tahan untuk	Melakukan pengujian dengan beban yang sesuai (~6630 mW) terhadap baterai dengan <i>battery tester</i>

	digunakan dalam pengukuran selama satu hari yaitu selama sekitar 3 jam.	setidaknya selama 3 jam secara kontinu.
Berat dan Dimensi Produk	Seluruh komponen produk dimasukkan ke dalam <i>luggage box</i> sehingga mudah untuk dipindahkan. Total berat produk dipastikan untuk dapat diangkat oleh 1-2 orang dewasa. Kabel-kabel yang digunakan pada sistem memiliki panjang sesuai untuk pengukuran pohon berdiameter maksimum 120 cm dengan ketinggian pengukuran maksimum 180 cm.	Pengujian portabilitas <i>briefcase</i> /kotak produk. Pengujian berat dan dimensi produk dan <i>luggage box</i> . Simulasi pemasangan kabel di pohon dengan lingkaran berdiameter 120 cm dan ketinggian pengukuran maksimum 180 cm. Melakukan pengujian dengan membuat 1-2 manusia dewasa mengangkat <i>luggage box</i> yang berisi seluruh peralatan <i>acoustic tomography</i> . 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.

Spesifikasi tersebut disusun sebagai acuan dalam proses perancangan dan implementasi. Adapun spesifikasi lainnya yang diturunkan dari karakteristik yang telah ditetapkan akan dirancang dan diimplementasikan pada sistem lain sesuai dengan pembagian kerja yang telah ditentukan.

III.2. Proses Perancangan

Desain alat monitoring kondisi internal batang pohon berbasis *acoustic tomography* dilakukan dengan fokus pada pengembangan perangkat keras yang memenuhi kebutuhan spesifikasi, yaitu *casing*, daya tahan baterai, berat dan dimensi produk.

A. Desain Rangkaian Sistem Daya

Untuk memenuhi kebutuhan daya operasional, perhitungan kapasitas dilakukan sebagai berikut:

Tabel 4 Konsumsi daya masing masing komponen

Komponen	Total Arus (mA)
8 buah <i>Microphone</i> KY037	40
Bluetooth HC-05	30
LED indikator bluetooth	11
Teensy 4.1	100
<i>Fuel gauge display</i>	20

Total arus konsumsi: $40 + 30 + 11 + 100 + 20 = 201 \text{ mA}$

Step up converter SX1308 memiliki efisiensi 95%. Daya total pada output 5V adalah :

$$P_{\text{output}} = 5V \times 0,201 A = 1,005 \text{ Watt}$$

Daya *input* pada 3,7V *step up converter*, yaitu:

$$P_{\text{input}} = \frac{P_{\text{output}}}{\text{efisiensi}} = \frac{1,005}{0,95} = 1,057 \text{ Watt}$$

Arus *input* dari baterai:

$$I_{\text{baterai}} = \frac{P_{\text{input}}}{V_{\text{baterai}}} = \frac{1,057}{3,7} = 0,286 A = 286 \text{ mA}$$

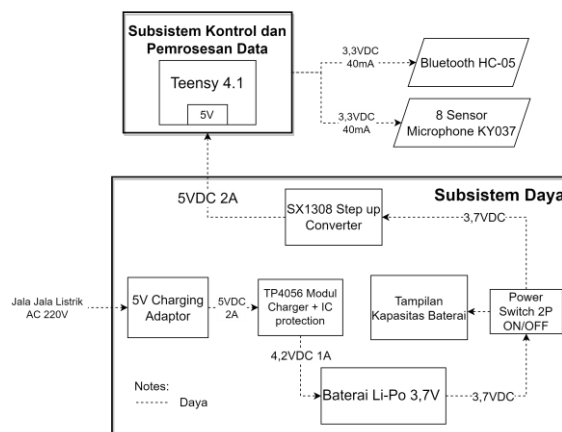
Konsumsi arus total alat adalah 286 mA. Maka, energi yang diperlukan untuk 8 jam adalah:

$$Q_{\text{beban}} = I_{\text{beban}} \times \text{Waktu} = 286 \text{ mA} \times 8 \text{ jam} = 2.288 \text{ mAh}$$

$$\text{Kapasitas Baterai (mAh)} = Q_{\text{beban}} \times \left(\frac{100\%}{70\%} \right) = 3.268 \text{ mAh}$$

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, kapasitas minimum baterai yang dibutuhkan adalah 3.268 mAh. Namun, saat pembelian komponen, baterai Li-Po dengan kapasitas 3.500–5.000 mAh tidak tersedia di *marketplace*. Oleh karena itu,

dipilih baterai Li-Po dengan kapasitas 10.000 mAh dan tegangan nominal 3,7V sebagai solusi. Untuk pengisian daya, digunakan modul *charger* TP4056 yang dilengkapi dengan IC DW01 untuk melindungi baterai dari pengisian berlebih. Untuk memenuhi kebutuhan tegangan input sebesar 5V pada mikrokontroler, digunakan *step-up converter* SX1308 dengan efisiensi tinggi (95%) yang juga dilengkapi dengan perlindungan terhadap arus pendek (*short circuit*) dan *overheating*. Sumber tegangan untuk sensor mikrofon dan modul Bluetooth diambil dari *pin* 3,3V pada Teensy 4.1, karena tegangan ini lebih stabil dan bebas *noise* sehingga tidak memengaruhi hasil pengukuran. Sistem daya juga dilengkapi dengan *display* kapasitas baterai yang memungkinkan pengguna memantau sisa daya serta *power switch on/off* untuk memutus dan menghubungkan aliran daya dari baterai ke beban. Seluruh sistem daya beserta komponennya dirancang sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4.

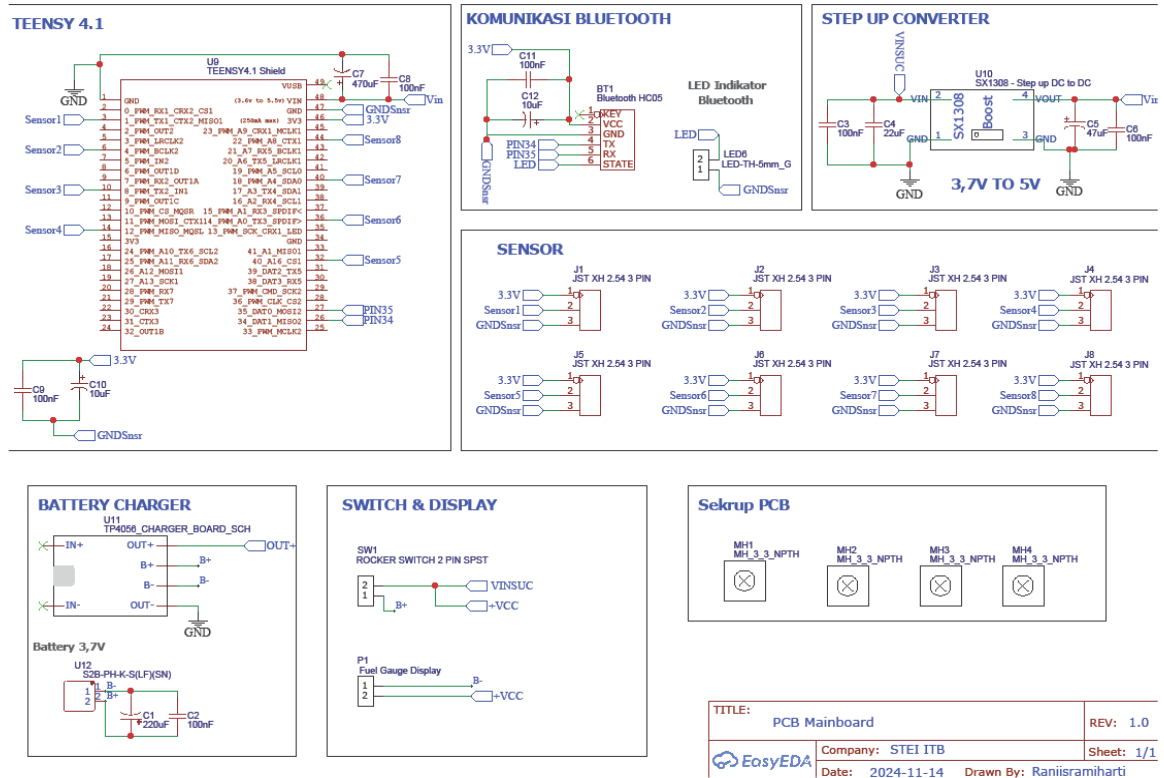


Gambar 4 Arsitektur subsistem daya dengan komponen terpilih

Sistem daya mendukung tiga mode kerja: *standby*, *charging*, dan *discharging*, yang diatur melalui *power rocker switch*. Pada mode *discharging* (*switch on*), baterai menyuplai daya ke *step-up converter* untuk mengaktifkan mikrokontroler, sensor, dan modul Bluetooth. Mode *charging* terjadi saat *switch off* dan adaptor 5V terhubung ke *port* USB *type-C* pada modul *charger* TP4056 untuk mengisi ulang daya baterai. Pada mode *standby*, *switch off* tanpa adaptor terhubung, sehingga baterai tidak menyuplai daya ke beban.

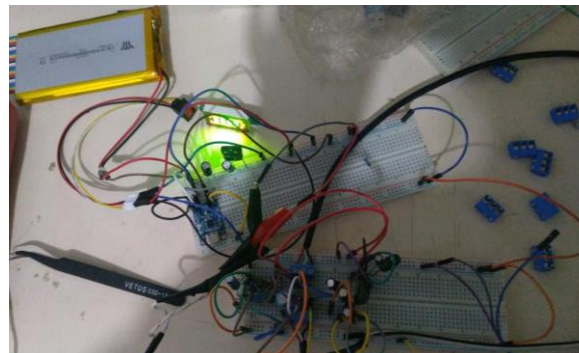
B. Desain PCB Mainboard dan pemilihan komponen

Sub sistem daya, pemrosesan data, dan komunikasi Bluetooth diintegrasikan dalam sebuah rangkaian PCB (*Printed Circuit Board*) dengan skematik seperti pada Gambar 5.



Gambar 5 Skematik PCB

Sebelum mencetak PCB, skematik rangkaian PCB dicoba terlebih dahulu menggunakan *breadboard*. Pada percobaan didapatkan bahwa tegangan pada *input* dan *output step-up converter* masih belum stabil. Untuk mengatasi masalah ini, ditambahkan kapasitor tambahan berupa kapasitor *bulk* dan kapasitor *decoupling* untuk meningkatkan stabilitas daya dan melakukan penyaringan noise pada sub sistem baterai, *step up converter*, mikrokontroler Teensy 4.1, dan modul Bluetooth.



Gambar 6 Rangkaian daya pada breadboard

Tata letak komponen dan jalur pada PCB ditunjukkan pada Gambar 7. Baterai ditempatkan di bagian bawah PCB untuk mengoptimalkan efisiensi penggunaan ruang. Koneksi antara baterai dan PCB menggunakan konektor JST XH 2.0 dengan *pin* bengkok, yang memberikan sambungan kokoh dan andal. Modul *charger* TP4056 diposisikan di tepi kiri bagian tengah PCB untuk mempermudah akses pemasangan adaptor *charger* USB *type-C* pada casing. Modul TP4056 dan *step-up converter* SX1308 ditempatkan dekat jalur daya utama untuk memastikan tegangan stabil selama operasi.

Mikrokontroler ditempatkan di bagian tengah PCB agar mudah terhubung ke komponen lain, seperti sensor, *step-up converter*, dan modul Bluetooth. Port sensor dirancang di tepi PCB untuk memudahkan akses dan koneksi eksternal. Konektor port sensor menggunakan JST XH 2.54 male agar koneksi antara PCB dan *casing mainboard* tetap kuat, sinyal stabil, dan memudahkan pemasangan atau pelepasan kabel konektor sensor dari PCB. Indikator LED dan sakelar daya diposisikan di tepi PCB untuk mempermudah akses pengguna.

Setelah tata letak komponen disusun, dibuat jalur pada PCB dengan mempertimbangkan kebutuhan arus pada setiap jalur. Jalur daya utama dirancang untuk mendukung arus besar dengan lebar yang memadai. Lebar jalur PCB dihitung menggunakan rumus standar IPC-2221, sebagai berikut:

- Rumus perhitungan area (A)

$$A = \left(\frac{I}{K \times T_{Rise}^b} \right)^{\frac{1}{c}}$$

- Rumus perhitungan lebar (W)

$$W = \frac{A}{t \times 1,378}$$

Konstanta k, b, dan c diperoleh dari pendekatan kurva IPC-2221:

Untuk lapisan internal sesuai standar IPC-2221: k = 0.024, b = 0.44, c = 0.725

Untuk lapisan eksternal sesuai standar IPC-2221: k = 0.048, b = 0.44, c = 0.725

Berdasarkan perhitungan tersebut, menggunakan ketebalan tembaga 1 oz/ft² dan referensi dari *datasheet* komponen, diperoleh minimal lebar jalur untuk setiap

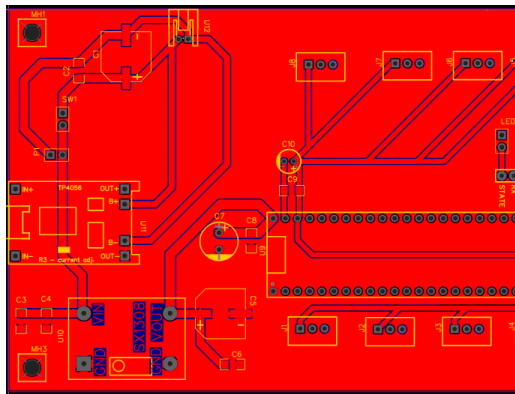
komponen

sebagai

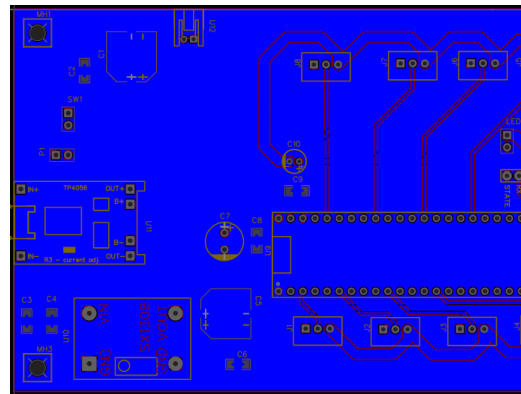
berikut:

Tabel 5 Perhitungan dan implementasi lebar jalur PCB berdasarkan kebutuhan arus

Nama Jalur	Arus Maks (A)	Lebar Minimal (mm)	Implementasi Lebar Jalur (mm)
Jalur Daya Utama (Baterai ke Power <i>Switch</i> dan Step-Up)	2	1,3	1,7
Jalur Output 5V (Step-Up ke Teensy VIN)	2	1,3	2
Jalur 3.3V (Teensy ke Sensor dan Bluetooth)	0,07	0,2	1
Jalur GND Sensor dan bluetooth	0,07	0,2	2
Jalur Sinyal (Sensor dan Bluetooth RX/TX)	0,001	0,2	0,5
Jalur Pengisian Baterai (TP4056 ke Baterai)	1	0,8	1,3



(a)



(b)

Gambar 7 (a) Layer atas (b) Layer bawah PCB

Untuk menghilangkan penurunan tegangan (*voltage drop*), jalur daya 3,3V yang digunakan untuk sumber tegangan sensor dan modul Bluetooth dirancang menggunakan topologi bus, sehingga semua sensor mendapatkan tegangan yang seragam. Tata letak ini juga dirancang dengan mempertimbangkan pemisahan jalur sinyal dan jalur daya untuk mencegah interferensi elektromagnetik antara sub sistem daya dan sub sistem komunikasi, khususnya modul Bluetooth. Jalur daya di layer atas PCB, dan jalur sinyal di layer bawah PCB. Lalu pemisahan *ground* antara jalur daya dengan jalur GND sensor untuk menghilangkan *noise* dari tegangan sumber utama, dan mendapatkan sinyal yang bagus dan akurat.

Tata letak juga mempertimbangkan pemisahan jalur daya dan jalur sinyal untuk mencegah interferensi elektromagnetik antara subsistem daya dan subsistem komunikasi. Jalur daya diletakkan pada layer atas PCB, sedangkan jalur sinyal diletakkan pada layer bawah. Selain itu, *ground plane* dipisahkan antara jalur daya dan jalur GND sensor, guna mengurangi *noise* dan memastikan akurasi sinyal yang tinggi. Desain ini memastikan sistem bekerja secara optimal, stabil, aman, dan mendukung performa keseluruhan perangkat dengan efisien.

Pada tahap akhir perancangan PCB, dilakukan pengecekan *Design Rule Check* (DRC) untuk memastikan bahwa semua aturan desain telah terpenuhi. Jika pengecekan DRC berhasil tanpa adanya kesalahan, PCB dinyatakan siap untuk dicetak dan digunakan.

C. Desain Casing Mainboard

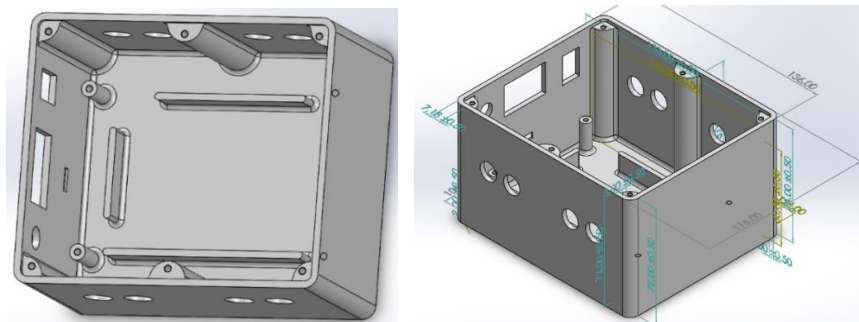
Casing mainboard dirancang untuk melindungi komponen elektronik dari kerusakan fisik, paparan lingkungan, dan memastikan portabilitas serta kemudahan penggunaan. Proses desain *casing* dimulai dengan pembuatan model menggunakan perangkat lunak SolidWorks. *Casing* ini memiliki dimensi 136 mm × 116 mm × 75 mm dan dibuat dari bahan PETG yang tahan terhadap panas, air, serta kokoh, memenuhi standar IP23 untuk perlindungan terhadap benda padat dan percikan air. Ketebalan *casing* ditentukan 3 mm untuk memastikan kekuatan struktur, terutama di area port sensor yang menghubungkan *casing* ke PCB dan kabel sensor.

Desain tinggi *casing* mempertimbangkan beberapa elemen, seperti tinggi baterai, ruang antara baterai dengan bagian bawah PCB, tinggi modul Bluetooth, serta jarak antara modul Bluetooth dengan penutup *casing*. *Standoff* setinggi 20 mm digunakan untuk mendukung dan menstabilkan PCB berukuran 80 mm × 120 mm, sekaligus memastikan jarak aman dari baterai yang ditempatkan di bawah PCB. Posisi *standoff* dirancang sesuai dengan lubang baut pada PCB agar PCB dapat dipasang dengan kuat menggunakan sekrup.

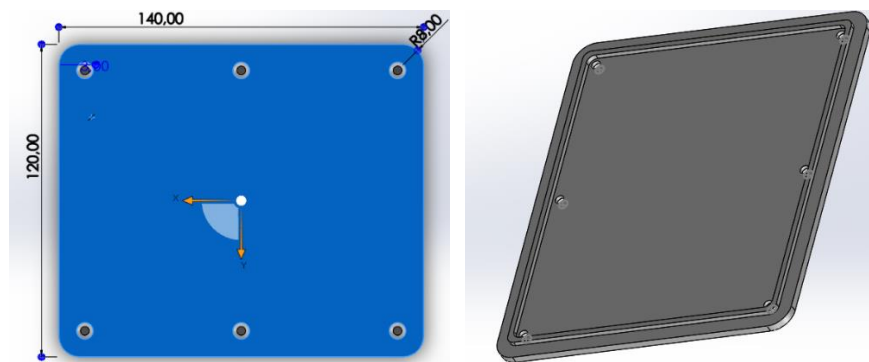
Untuk mencegah baterai bergeser atau terpengaruh guncangan, *casing* dilengkapi pembatas baterai yang dirancang sesuai dengan dimensi baterai yang digunakan. Komponen utama, seperti *display* kapasitas baterai, indikator LED Bluetooth,

sakelar On/Off, dan *port charger* USB type-C, ditempatkan secara strategis di bagian depan *casing* untuk memudahkan akses pengguna.

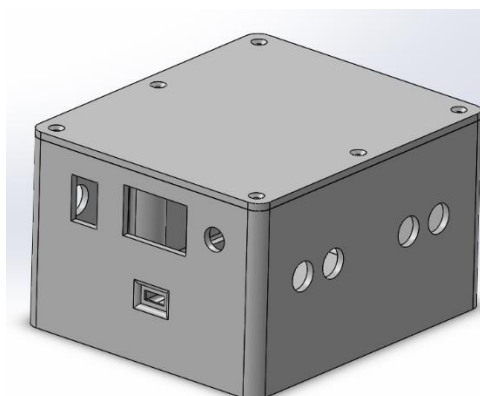
Di setiap sudut *casing* terdapat *standoff* tambahan sebanyak 6 buah yang dirancang untuk memperkuat sambungan antara *casing* utama dan penutupnya. Penutup *casing* didesain agar sesuai dengan dimensi *casing* utama, dengan tambahan fitur desain berupa tonjolan setinggi 2 mm di bagian pinggir untuk memastikan penutup lebih kokoh dan tidak mudah bergeser. Enam lubang pada penutup disediakan untuk menghubungkan penutup dengan *casing* menggunakan sekrup, memastikan struktur tetap kuat dan tahan terhadap percikan air, sekaligus mencegah masuknya air dari bagian atas. Detail *casing mainboard* dapat dilihat pada Gambar di bawah.



Gambar 8 Desain casing utama mainboard



Gambar 9 Desain penutup casing mainboard



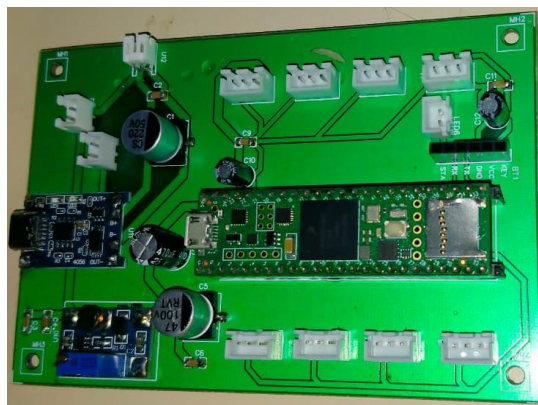
Gambar 10 Hasil assembly casing utama mainboard dengan penutupnya

III.3. Proses Implementasi

A. Implementasi PCB

Setelah PCB selesai dicetak, langkah pertama adalah memeriksa seluruh sirkuit pada PCB untuk memastikan tidak ada koneksi *short circuit* yang dapat mengganggu kinerja. Pemeriksaan dilakukan dengan multimeter untuk memeriksa kontinuitas dan polaritas jalur. Jika hasilnya aman, proses penyolderan komponen dapat dimulai.

Penyolderan dimulai dari komponen *Surface Mount Device* (SMD) seperti kapasitor SMD karena ukurannya yang kecil dan memerlukan penanganan lebih detail. Selanjutnya, komponen seperti konektor JST XH untuk baterai, sakelar *on/off*, tampilan kapasitas baterai, dan *port* sensor dipasang sesuai dengan desain PCB. Proses dilanjutkan dengan pemasangan komponen yang lebih tinggi, seperti *pin header* dan modul lainnya. Setelah semua komponen terpasang, rangkaian kembali diperiksa menggunakan multimeter untuk memastikan tidak ada hubungan pendek (*short circuit*) yang muncul selama proses penyolderan. Jika hasil pengecekan aman, langkah berikutnya adalah merakit PCB ke dalam *casing mainboard* untuk integrasi lebih lanjut.



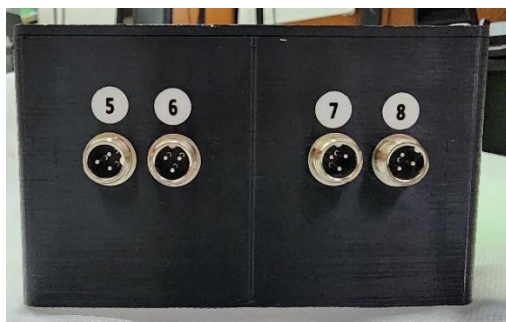
Gambar 11 PCB dan komponen terpilih yang sudah disolder

B. Assembly PCB dan casing mainboard

Port sensor dirancang di sisi samping *casing* untuk mempermudah koneksi kabel antara kotak sensor dan kotak *mainboard*. Setiap port dilengkapi dengan penomoran untuk memastikan pemasangan kabel dilakukan dengan benar. Sambungan antara kabel sensor dan kotak *mainboard* menggunakan konektor

Aviation Plug GX12 Male yang memiliki tingkat perlindungan IP23 (berdasarkan *datasheet*), sehingga perangkat tahan terhadap debu dan percikan air.

Komponen seperti tampilan kapasitas baterai, LED indikator Bluetooth, dan sakelar *on/off* dipasang menggunakan kabel konektor JST XH 2-pin, sedangkan *port* sensor menggunakan kabel konektor JST XH 3-pin. Proses penyolderan komponen dan kabel dilakukan dengan hati-hati, memperhatikan warna kabel dan kesesuaian polaritas dengan konektor JST male pada PCB. Kesalahan pemasangan dapat menyebabkan polaritas terbalik yang berpotensi merusak komponen atau membuat perangkat tidak menyala. Setelah semua komponen terpasang, *casing* diperkuat dengan sekrup pada sambungan untuk memastikan kerapatan dan mencegah masuknya air atau debu, menjadikan perangkat aman dan andal dalam berbagai kondisi lapangan.



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 12 Implementasi casing mainboard dari berbagai sudut: (a) samping kanan, (b) samping kiri, (c) depan, dan (d) dalam.

C. Paku sensor

Pada spesifikasi *casing*, dijelaskan mengenai penggunaan paku sensor sebagai transduser akustik. Paku ini dirancang untuk memiliki ketahanan tinggi terhadap tekanan, deformasi, dan korosi, sehingga cocok untuk digunakan dalam lingkungan

lapangan. Paku baja galvanis putih dipilih karena sifatnya yang tahan terhadap deformasi dan kelembapan, serta lebih ekonomis dibandingkan dengan paku *stainless steel*. Dengan panjang 10 cm dan ujung yang tajam, paku ini memudahkan penetrasi ke batang pohon tanpa merusak struktur kayu, sehingga mampu menghasilkan pengukuran yang akurat. Material galvanis yang melapisi paku memberikan perlindungan tambahan terhadap kelembapan dan paparan hujan, menjadikannya alat yang tahan lama dan andal untuk penggunaan di luar ruangan. Untuk meningkatkan fungsi dan mencegah paku menembus terlalu dalam ke batang pohon saat pengambilan data atau saat dipukul dengan palu, paku sensor dimodifikasi dengan menambahkan pembatas *stainless steel*. Pembatas ini menggunakan komponen *Shaft Drill Locator Stop Collars Fixing Ring*, yang memastikan paku hanya menembus hingga kedalaman maksimal 3 cm, sesuai dengan batas yang telah ditentukan. Modifikasi ini menjaga struktur kayu tetap utuh dan mendukung proses pengukuran yang konsisten dan aman.

D. Modifikasi Luggage Box

Luggage box dimodifikasi untuk menyimpan seluruh komponen alat dengan rapi dan aman, termasuk 8 kotak sensor, 8 kabel dengan panjang masing-masing 3 meter, kotak *mainboard*, palu, dan meteran 10 meter. Modifikasi ini dirancang untuk meningkatkan portabilitas dan perlindungan alat. *Luggage box* memiliki dimensi 42 cm x 36 cm x 12 cm dan terbuat dari material *ABS Plastic* yang tahan benturan dan air. Untuk perlindungan maksimal, bagian dalam *luggage box* dilengkapi *sponge precut* yang memastikan semua komponen tersusun dengan stabil dan terlindungi dari guncangan. Selain itu, fitur tambahan berupa pegangan dirancang untuk mempermudah mobilitas perangkat, menjadikannya lebih mudah dibawa ke berbagai lokasi pengukuran. Modifikasi ini memastikan *luggage box* mampu melindungi alat dari benturan, debu, dan percikan air, sehingga mendukung penggunaan alat dalam kondisi luar ruangan.



Gambar 13 Penataan komponen perangkat acoustic tomography di dalam luggage box

E. Kendala yang dihadapi dan Upaya untuk Mengatasinya

Selama proses pengembangan, terdapat beberapa kendala yang memerlukan revisi desain PCB dan penyesuaian sistem untuk memastikan perangkat berfungsi dengan optimal.

1. Kesalahan Jalur Daya

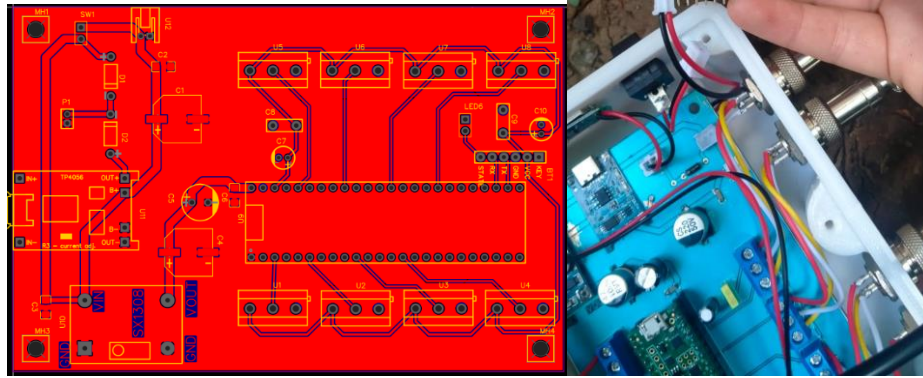
Jalur dari *pin* B+ TP4056 langsung terhubung ke *pin* IN+ SX1308, sehingga baterai selalu terhubung ke *step-up converter* tanpa kontrol saklar daya. Solusinya adalah menghapus jalur tersebut dan memastikan saklar daya dapat mengontrol aliran tegangan.

2. Port Sensor Kurang Praktis

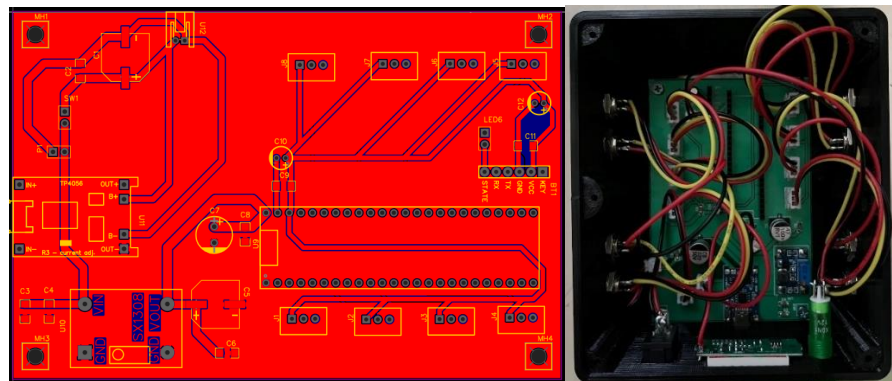
Port sensor menggunakan terminal blok yang memerlukan obeng untuk pemasangan dan sering menyebabkan kabel terlepas. Solusi: mengganti terminal blok dengan konektor JST male 3 *pin* agar lebih mudah dibongkar pasang.

3. Perbedaan Tegangan pada Sensor

Tegangan 3,3V awalnya dirancang secara seri, mengakibatkan perbedaan hingga 7 mV antara sensor. Solusi: mengubah jalur tegangan menjadi topologi bus untuk distribusi tegangan yang seragam ke semua sensor.



Gambar 14 Desain rangkaian PCB awal



Gambar 15 Desain PCB hasil revisi yang telah diintegrasikan dengan casing mainboard

Revisi ini berhasil mengatasi kendala yang dihadapi, memastikan sistem daya bekerja sesuai desain, *port* sensor lebih *user-friendly*, dan jalur tegangan memberikan distribusi daya yang stabil ke semua sensor.

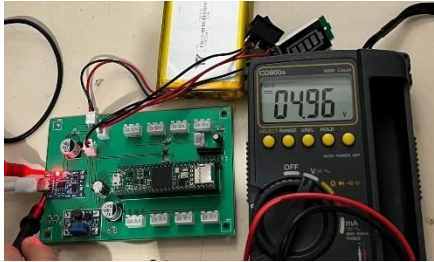
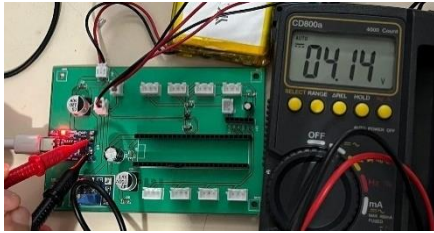
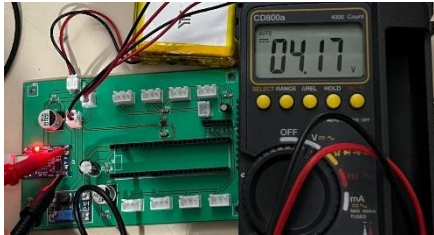
III.4. Hasil Implementasi

A. Pengujian Subsistem Daya

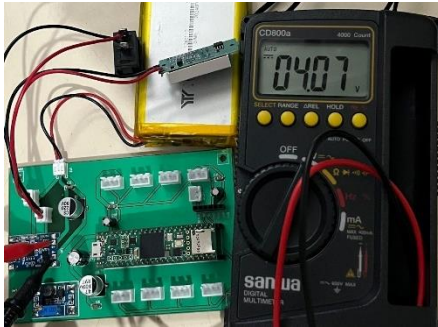
Pengujian subsistem daya dilakukan untuk memastikan fungsionalitas sistem pada tiga mode kerja, yaitu *charging*, *standby*, dan *discharging*. Berikut merupakan hasil uji dari tiap-tiap titik untuk masing-masing kondisi tersebut.

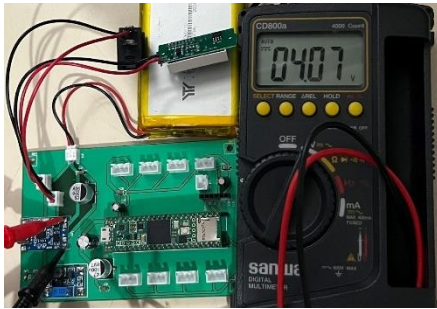
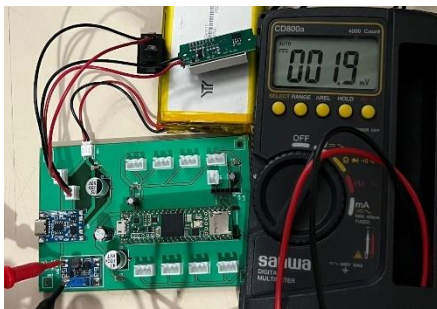
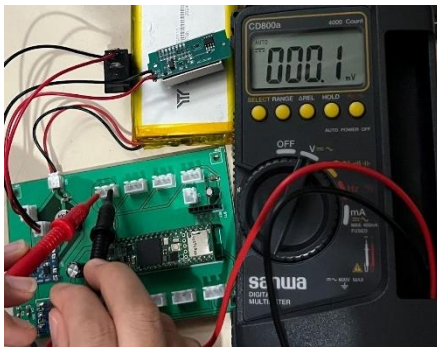
Tabel 6 Pengujian tegangan pada PCB saat mode charging

No.	Titik Pengujian	Hasil Pengujian	Analisis
-----	-----------------	-----------------	----------

1	<i>Input charging circuit</i> TP4056		Tegangan antara <i>pin</i> IN+ dan IN- yang merupakan tegangan <i>output</i> adapter sudah memenuhi kebutuhan <i>input charging circuit</i> , yaitu 5V.
2.	Pin B+ dan B - TP4056		Tegangan baterai diukur pada B+ dan B- <i>charging IC</i> saat mode <i>charging</i> sudah sesuai kebutuhan, yaitu di rentang 4,137 – 4,263V.
3.	Pin OUT + dan OUT- TP4056		Tegangan <i>output charging IC</i> yang diukur pada <i>pin</i> OUT+ dan OUT- saat mode <i>charging</i> sudah sesuai, yaitu di rentang 4,137 – 4,263

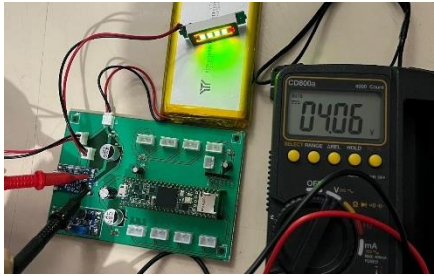
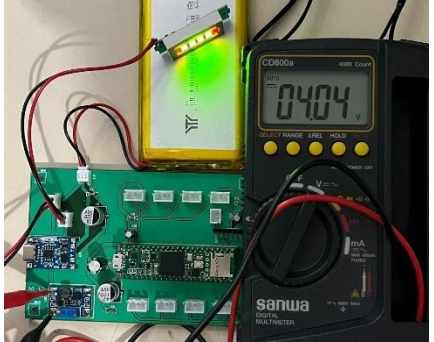
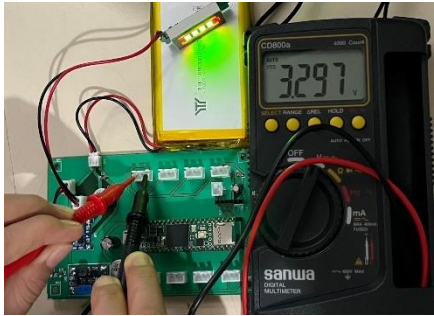
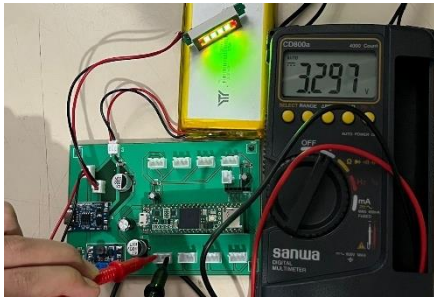
Tabel 7 Pengujian tegangan pada PCB saat mode standby

No.	Titik Pengujian	Hasil Pengujian	Analisis
1.	Pin B+ dan B - TP4056		Tegangan baterai diukur pada B+ dan B pada <i>charging IC</i> dan pada soket baterai menunjukkan nilai tegangan 4,07V yang menandakan baterai masih bisa melakukan <i>discharging</i> untuk menyuplai daya ke beban.

2.	Pin OUT + dan OUT- TP4056		Tegangan <i>output charging</i> IC yang diukur pada pin OUT+ dan OUT- yang memiliki nilai yang sama dengan B+ dan B-, yaitu 4,07V. Nilai ini menggambarkan nilai tegangan pada baterai dimana baterai masih bisa menyuplai daya ke beban.
3.	Pin IN + dan GND pada Step Up Converter SX1308		Saat kondisi <i>standby</i> atau <i>switch off</i> , baterai tidak menyuplai daya ke beban, sehingga tegangan di beban (<i>step up converter</i> 1,9mV atau 0V
4.	Pin VCC dan GND pada sensor 4		Nilai tegangan pada sensor 0V, hal ini membuktikan bahwa sensor (beban) tidak mendapatkan sumber tegangan. Sesuai teori baterai tidak menyuplai daya ke beban.

Tabel 8 Pengujian tegangan pada PCB saat mode discharging

No.	Titik Pengujian	Hasil Pengujian	Analisis
-----	-----------------	-----------------	----------

1.	Pin B+ dan B - TP4056		Tegangan baterai diukur pada B+ dan B pada <i>charging</i> IC dan pada soket baterai menunjukkan nilai tegangan 4,07V yang menandakan baterai masih bisa melakukan <i>discharging</i> untuk menyuplai daya ke beban.
2.	Pin IN + dan GND pada Step Up Converter SX1308		Tegangan <i>input step up converter</i> 4,04 V yang berasal dari baterai. Tegangan ini akan diubah menjadi 5V untuk memberikan sumber tegangan ke Teensy 4.1
3.	Pin VCC dan GND pada sensor 4		Tegangan pada sensor 4 yaitu 3,297 V. Tegangan ini berasal dari <i>pin</i> 3,3 V Teensy. Tegangan ini sudah sesuai dalam <i>range</i> .
4.	Pin VCC dan GND pada sensor 5		Tegangan pada sensor 5 yaitu 3,297 V. Tegangan ini berasal dari pin 3,3 V Teensy. Tegangan sensor 4 dan 5 bernilai sama, hal ini menunjukkan sumber tegangan yang stabil dan tidak terjadi <i>voltage drop</i> akibat

			jalur daya yang panjang.
--	--	--	--------------------------

B. Pengujian Spesifikasi : Daya Tahan Baterai

Pengujian daya tahan baterai dilakukan dengan memaralelkan 2 buah resistor 7 ohm selama 3 jam 20 menit secara kontinu. Tegangan awal baterai sebelum dihubungkan ke beban tercatat 4,13V yang menunjukkan kondisi baterai penuh. Setelah 3 jam 20 menit pengujian, kapasitas baterai yang terpakai tercatat sebesar 3,238Ah (3238mAh), dengan tegangan akhir di bawah beban sebesar 3,70V, dan arus akhir sebesar 0,952A yang ditunjukkan pada Gambar 15. Tegangan baterai kembali naik menjadi 4,08V setelah beban dilepas, menunjukkan pemulihan tegangan yang baik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa baterai mampu menyuplai daya sebesar 12.671 mWh selama pengujian, jauh lebih besar dari kebutuhan energi perangkat selama 8 jam, yaitu 8.472 mWh. Dengan kapasitas efektif baterai sekitar 29.600 mWh (80% dari kapasitas total 37.000 mWh), baterai ini secara teoretis dapat mendukung operasional perangkat hingga 28 jam secara kontinu, memberikan margin energi yang besar untuk aplikasi alat Terawang.



Gambar 16 Hasil pengujian daya tahan baterai

C. Pengujian Spesifikasi : Casing

Hasil Pengujian terhadap Air

Pengujian dilakukan dengan meletakkan produk di bawah hujan selama 8 menit. Setelah selesai, air terlihat hanya menggenang di bagian atas *casing* tanpa adanya kebocoran ke dalam *casing*. Setelah sekrup *casing* dibuka, kondisi di dalam *casing* tetap kering, dan tisu yang diletakkan sebagai indikator tidak menunjukkan tanda-tanda basah. Hal ini menunjukkan bahwa *casing* mampu memberikan perlindungan yang baik terhadap percikan air, sesuai dengan spesifikasi perlindungan IP23.



Gambar 17 Hasil pengujian dari bagian atas casing dan kondisi dalam casing

Hasil Pengujian terhadap Benda Padat Berukuran >12,5 mm



Gambar 18 Hasil pengujian casing terhadap benda padat

Pengujian dilakukan dengan mencoba memasukkan benda padat seperti terminal blok, *seven segment*, dan obeng ke dalam produk, khususnya pada *port* sensor dan *port charger*. Tidak ada satu pun benda yang berhasil masuk ke dalam *casing*. Hasil ini membuktikan bahwa *casing* mampu melindungi komponen internal dari benda padat berukuran >12,5 mm, sesuai dengan standar IP23.

Hasil Pengujian terhadap Paku

Paku direndam dalam larutan air garam selama 13 hari untuk menguji ketahanannya terhadap korosi. Setelah pengujian, bagian cat di ujung paku mengalami pengelupasan, tetapi tidak ditemukan tanda-tanda korosi pada material inti paku. Selain itu, paku diuji terhadap tekanan pukulan palu berkali-kali setelah ditancapkan pada batang pohon. Hasilnya, paku tetap kokoh, tidak bengkok, dan mampu bertahan dalam kondisi penggunaan lapangan.



Gambar 19 Hasil pengujian paku terhadap korosi dan tekanan pukulan

D. Pengujian Spesifikasi : Berat dan Dimensi Produk

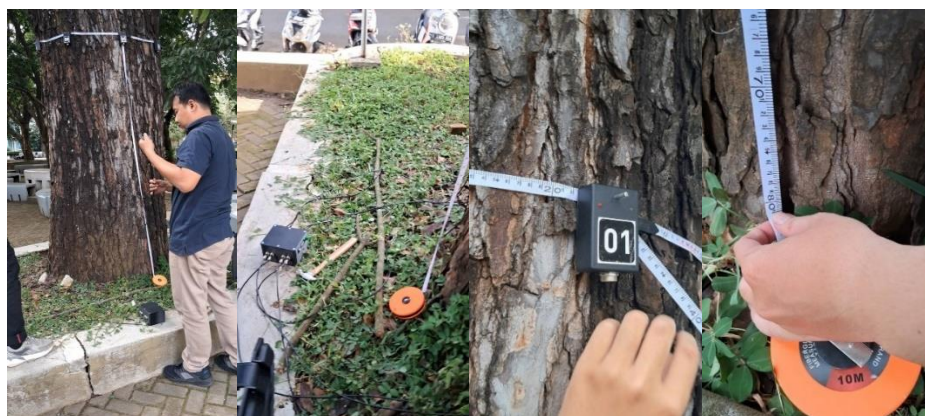
Pengujian berat dan dimensi produk dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen perangkat *acoustic tomography* dapat disimpan dengan aman dan tetap portabel di dalam *luggage box*. *Luggage box* berisi 8 kotak sensor, 8 kabel masing-masing sepanjang 3 meter, palu, kotak mainboard, dan meteran, dengan total berat tercatat sebesar 3,894 kg. Dimensi *luggage box* adalah 42 x 36 x 12 cm, dilengkapi dengan gagang pegangan untuk mempermudah mobilitas.



Gambar 20 Berat luggage box



Gambar 21 Dimensi luggage box 42 x 36 x 12 cm



Gambar 22 Simulasi pengukuran pada pohon diameter 100 cm dan tinggi titik pengukuran 180 cm

BAB IV ANALISIS HASIL TUGAS AKHIR

IV.1. Hasil Tugas Akhir

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, tugas akhir ini berhasil memenuhi tujuan utama, yaitu merancang dan mengimplementasikan perangkat yang mampu mendeteksi kondisi internal batang pohon secara akurat, portabel, dan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Sistem daya yang dikembangkan terbukti mampu mendukung operasional perangkat dengan menyediakan suplai tegangan stabil sebesar 5V untuk mikrokontroler serta 3,3V untuk sensor dan modul Bluetooth. Pengujian daya tahan baterai menunjukkan bahwa baterai Li-Po berkapasitas 10.000 mAh mampu mendukung perangkat hingga 28 jam secara kontinu, memberikan margin energi yang memadai untuk kebutuhan aplikasi alat Terawang. Sistem daya ini bekerja optimal pada mode *standby*, *charging*, dan *discharging* tanpa mengalami penurunan tegangan (*voltage drop*), sehingga dapat diandalkan untuk berbagai kondisi operasional di lapangan.

Casing perangkat dirancang dengan perlindungan sesuai standar IP23, yang mampu melindungi komponen internal dari percikan air dan benda padat. Pengujian terhadap percikan air menunjukkan bahwa *casing* dapat melindungi perangkat selama simulasi hujan selama 8 menit tanpa adanya kebocoran. Setelah dilakukan pembongkaran, tidak ditemukan genangan air di dalam *casing*, dan komponen elektronik tetap kering. Pengujian terhadap benda padat berukuran lebih dari 12,5 mm juga membuktikan bahwa *casing* efektif melindungi perangkat dari gangguan eksternal, seperti terminal blok dan obeng. Paku sensor, sebagai salah satu komponen penting, menunjukkan ketahanan yang sangat baik terhadap korosi setelah direndam dalam larutan air garam selama 13 hari. Selain itu, paku tetap kokoh dan tidak bengkok meskipun telah digunakan untuk pengukuran di lapangan dengan pukulan palu berkali-kali.

Produk ini dirancang agar portabel dan mudah digunakan. Seluruh komponen alat, termasuk 8 kotak sensor, 8 kabel sepanjang 3 meter, palu, kotak *mainboard*, dan meteran, tersimpan rapi dalam *luggage box* dengan berat total 3,894 kg dan dimensi $42 \times 36 \times 12$ cm. *Luggage box* ini dilengkapi gagang pegangan untuk mempermudah mobilitas, sehingga dapat dengan mudah diangkat oleh 1-2 orang

dewasa. Pengujian kabel pada pohon dengan diameter maksimum 120 cm dan ketinggian pengukuran 180 cm menunjukkan bahwa kabel sepanjang 3 meter sudah memadai untuk kebutuhan operasional.

Dari hasil pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa perangkat yang dirancang telah berhasil memenuhi spesifikasi teknis dan kebutuhan operasional. Sistem daya yang andal, *casing* yang kokoh dan tahan terhadap kondisi lingkungan, serta desain produk yang portabel memastikan perangkat dapat berfungsi optimal di lapangan. Hal ini membuktikan bahwa tugas akhir ini telah berhasil memecahkan permasalahan yang diidentifikasi dan mencapai tujuan yang telah ditetapkan.

IV.2. Pengetahuan yang Diperoleh

Selama pelaksanaan tugas akhir, penulis memperoleh wawasan baru tentang metode monitoring kesehatan batang pohon secara non-destruktif, seperti *penetrating radar*, *acoustic tomography*, *electrical resistivity tomography*, dan *infrared tomography*. Setiap metode memiliki prinsip kerja yang unik untuk mendeteksi perubahan struktur internal pohon.

Penulis juga mempelajari pentingnya pemilihan komponen yang tepat dalam perancangan sistem daya untuk mencegah spesifikasi berlebihan atau kurang memadai. Pemahaman *datasheet* komponen menjadi hal esensial, terutama dalam memahami toleransi tegangan, arus, dan fitur perlindungan. Selain itu, pengalaman dalam desain PCB memberikan pengetahuan tentang tata letak rangkaian yang efisien, pengaturan jalur untuk meminimalkan interferensi, dan memastikan stabilitas sistem.

Proses *assembly* dan penyolderan komponen pada PCB khususnya komponen SMD, serta integrasi dengan *casing mainboard*, memberikan pengalaman praktis dalam merancang perangkat yang andal dan mudah digunakan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

V.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian alat monitoring kondisi internal batang pohon berbasis *acoustic tomography* bernama "Terawang," dapat disimpulkan bahwa perangkat ini berhasil memenuhi spesifikasi yang ditetapkan.

1. **Sistem Daya:** Sistem daya dirancang untuk bekerja optimal dalam tiga mode operasi (*standby*, *charging*, dan *discharging*). Sistem ini mampu menyediakan tegangan stabil sebesar 5V untuk mikrokontroler dan 3,3V untuk sensor serta modul Bluetooth. Pengujian baterai menunjukkan daya tahan hingga 28 jam, jauh melebihi kebutuhan operasional harian perangkat.
2. **Casing:** *Casing* produk telah memenuhi standar IP23, memberikan perlindungan terhadap percikan air dan benda padat berukuran lebih dari 12,5 mm. Selain itu, paku sensor terbukti kokoh, tahan terhadap korosi, dan deformasi, bahkan setelah digunakan dalam kondisi lapangan yang menantang.
3. **Portabilitas:** Seluruh komponen perangkat dapat disimpan dalam *luggage box* dengan berat total 3,894 kg dan dimensi $42 \times 36 \times 12$ cm. Desain ini memastikan alat mudah dibawa dan digunakan di lapangan. Panjang kabel 3 meter mencukupi untuk pengukuran pada pohon dengan diameter hingga 100 cm dan tinggi titik pengukuran 180 cm.

Secara keseluruhan, alat "Terawang" berhasil memecahkan permasalahan terkait kebutuhan perangkat monitoring internal pohon yang terjangkau dan non-destruktif. Dengan fitur-fitur yang dirancang khusus untuk mendukung kebutuhan *arborist*, peneliti, dan akademisi, alat ini menjadi solusi inovatif, efektif, dan andal untuk mendeteksi kondisi internal pohon. Selain itu, alat ini memiliki potensi besar untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi pemeliharaan pohon, khususnya di kawasan urban.

V.2. Saran

Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan untuk meningkatkan perlindungan *casing* dengan menggunakan bahan yang memiliki standar perlindungan lebih tinggi, seperti IP54 atau IP65. Hal ini akan meningkatkan ketahanan perangkat terhadap cuaca ekstrem, termasuk hujan deras dan debu, terutama pada bagian *port* sensor yang rentan terhadap gangguan dari lingkungan luar. Selain itu, penambahan ring gasket karet pada penutup *casing mainboard* juga dapat diimplementasikan untuk mengoptimalkan perlindungan terhadap air, sehingga perangkat menjadi lebih tahan lama dan andal saat digunakan di lapangan. Paku pada kotak sensor disarankan menggunakan paku stainless steel karena lebih tahan korosi dan lebih kuat dibandingkan paku baja galvanis putih.

Dari sisi sistem daya, penggunaan baterai dengan kapasitas 3500-5000 mAh dapat menjadi alternatif yang lebih efisien, asalkan stok tersedia. Kapasitas ini sudah mencukupi untuk kebutuhan operasional alat tanpa mengurangi performa, sekaligus mengurangi berat total perangkat untuk meningkatkan portabilitas.

Terakhir, kolaborasi dengan institusi terkait, seperti pemerintah daerah, universitas, atau komunitas *arborist*, sangat disarankan guna memperluas penggunaan alat ini dalam pemeliharaan ruang hijau di perkotaan. Melalui kerja sama ini, alat “Terawang” dapat memberikan kontribusi yang lebih signifikan dalam upaya pelestarian lingkungan, peningkatan keselamatan publik, serta perawatan pohon di berbagai wilayah urban.

REFERENSI

- [1] S. F. Papandrea, M. F. Cataldo, G. Zimbalatti, and A. R. Proto, "Comparative evaluation of inspection techniques for decay detection in urban trees," *Sensors and Actuators A: Physical*, 2022. doi: 10.1016/j.sna.2022.113544.
- [2] B. K. Brashaw et al., "Nondestructive testing and evaluation of wood: a worldwide research update," *For. Prod. J.*, vol. 59, no. 3, pp. 7–14, 2009.
- [3] B. N. T. Siregar, "Evaluasi Kesehatan Pohon Peneduh Di Kota Bandar Lampung Berbasis Sonic Tomography," Skripsi, Institut Pertanian Bogor, 2014, 19 hlm.
- [4] A. N. Rachmadiyanto, N. F. Azzahra, E. Sudiana, and S. Wahyuni, "Tree health analysis of old *Vatica pauciflora* (Korth.) Blume in Bogor Botanical Gardens using Forest Health Monitoring method," *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 1433, 012012, Aug. 2024. doi: 10.1088/1755-1315/1433/1/012012.
- [5] Q. Qiu et al., "An innovative tomographic technique integrated with acoustic-laser approach for detecting defects in tree trunk," *Comput. Electron. Agric.*, vol. 156, pp. 129–137, 2019. doi: 10.1016/j.compag.2018.11.017.
- [6] C. J. Lin and T. H. Yang, "Detection of acoustic velocity and electrical resistance tomographies for evaluation of peripheral-inner wood demarcation in urban royal palms," *Urban For. Urban Green.*, vol. 14, no. 3, pp. 583–589, 2015. doi: 10.1016/j.ufug.2015.05.010.
- [7] S. E. Gill et al., "Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure," *Built Environ.*, vol. 33, no. 1, pp. 115–133, 2007. doi: 10.2148/benv.33.1.115.
- [8] Atexxo Manufacturing, "Ingress Protection (IP) and NEMA Rating Explained," Atexxo, 2024. [Online]. Available: <https://atexxo.com/ingress-protection-ip-nema-rating/>. [Accessed: Dec. 22, 2024].
- [9] NanJing Top Power ASIC Corp., "TP4056 Datasheet," [Online]. Available: <https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Prototyping/TP4056.pdf>. [Accessed: Dec. 22, 2024].
- [10] Y. Barsukov and J. Qian, "Battery Power Management for Portable Devices", Norwood, MA: Artech House, 2013.
- [11] H. J. Bergveld, "Battery Management Systems: Design by Modelling", Enschede, Netherlands: University of Twente, 2001.

DAFTAR LAMPIRAN

Dokumentasi Terawang (alat monitoring kondisi internal batang pohon dengan metode acoustic tomography)

Github : <https://github.com/Akhmadi14/Terawang/tree/main>