



INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG

PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO

JALAN GANESHA NO. 10 Gedung Labtek V Lantai 2 (022)2508135-36, (022)250 0940
BANDUNG 40132

Dokumentasi Produk Tugas Akhir

Lembar Sampul Dokumen

Judul Dokumen

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

Jenis Dokumen

PROPOSAL

Catatan: Dokumen ini dikendalikan penyebarannya oleh Prodi Teknik Elektro ITB

Nomor Dokumen

B100-TA2324.02.002

Nomor Revisi

004

Nama File

B100-TA2324.02.002-004

Tanggal Penerbitan

25 Mei 2024

Unit Penerbit

Prodi Teknik Elektro - ITB

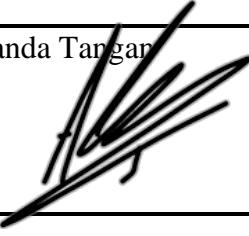
Jumlah Halaman

49

(termasuk lembar sampul ini)

Data Pengusul

Pengusul	Nama Tanggal	Rani Isramiharti 25 Mei 2024	Jabatan Tanda Tangan	Anggota 
	Nama Tanggal	Tifany Saulina Nababan 25 Mei 2024	Jabatan Tanda Tangan	Anggota 
	Nama Tanggal	Faris Jabar Nugrahan 25 Mei 2024	Jabatan Tanda Tangan	Anggota 
	Nama Tanggal	Bayu Aji Nugroho 25 Mei 2024	Jabatan Tanda Tangan	Anggota 

Pembimbing	Nama	Ir. Akhmad Surawijaya, Tanda Tangan
	S.T, M.Eng.	
Tanggal	25 Mei 2024	
		
<p>Lembaga Program Studi Teknik Elektro Sekolah Teknik Elektro dan Informatika Institut Teknologi Bandung</p>		
<p>Alamat Labtek V, Lantai 2, Jalan Ganesha no. 10, Bandung Telepon : +62 22 250 2260 Faks : +62 22 253 4222 Email:stei@stei.itb.ac.id</p>		

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	3
CATATAN SEJARAH PERBAIKAN DOKUMEN	4
1 PENGANTAR	5
1.1 RINGKASAN ISI DOKUMEN	5
1.2 TUJUAN PENULISAN DAN APLIKASI/KEGUNAAN DOKUMEN	5
1.3 REFERENSI	5
1.4 DAFTAR SINGKATAN	7
2 PROPOSAL	8
2.1 MASALAH	8
2.1.1 <i>Latar belakang masalah</i>	8
2.1.2 <i>Informasi pendukung</i>	9
2.1.3 <i>Analisis Masalah</i>	12
2.1.4 <i>Kebutuhan yang harus dipenuhi</i>	14
2.1.5 <i>Tujuan proyek</i>	14
2.2 SOLUSI	14
2.2.1 <i>Karakteristik Produk</i>	14
2.2.2 <i>Usulan Solusi</i>	15
2.2.3 <i>Analisis Usulan Solusi</i>	22
2.2.4 <i>Solusi yang dipilih</i>	24
2.3 PERENCANAAN PASAR	28
2.3.1 <i>Perkiraan Biaya</i>	28
2.3.2 <i>Analisa Finansial</i>	29
2.3.3 <i>Model Bisnis</i>	31
2.4 KESIMPULAN DAN RINGKASAN	32
3 LAMPIRAN	33

Catatan Sejarah Perbaikan Dokumen

VERSI, TGL, OLEH	PERBAIKAN
004, 4 April 2024, Tifany	Revisi Karakteristik Produk 2.2.1
003, 15 Maret 2024, Rani, Tifany, dan Faris	Perubahan konten Latar Belakang 2.1.1, Karakteristik Produk 2.2.1, 2.3.2 Analisa Finansial
002, 5 Maret 2024, Rani, Tifany, Faris dan Bayu	Revisi konten 2.1.3.3 Konstrain Lingkungan dan Keberlanjutan (Environment and Sustainability), 2.2.1 Karakteristik Produk, dan 2.2.3 Analisis Usulan Solusi, Revisi konten 2.2.4 Solusi yang dipilih, 2.2.2 Usulan Solusi
001, 16 Februari 2024, Rani, Tifani, Faris dan Bayu	Dokumen dibuat.

1 Pengantar

1.1 Ringkasan Isi Dokumen

Dokumen ini adalah proposal untuk mengatasi masalah dalam pendekripsi kondisi internal batang pohon di Indonesia. Saat ini, para peneliti pohon menghadapi kesulitan karena metode yang tersedia tidak memungkinkan observasi langsung terhadap kondisi internal batang pohon, dan instrumen yang tersedia di pasaran cenderung mahal dan tidak terjangkau.

Proposal ini mengusulkan penggunaan Acoustic Tomography sebagai solusi yang memungkinkan dalam mengetahui kondisi internal batang pohon secara akurat tanpa merusak pohon (non-destruktif). Solusi ini dianggap mampu untuk memenuhi kebutuhan para peneliti dengan harga yang terjangkau.

Analisis finansial menunjukkan perkiraan biaya pengembangan produk sebesar Rp 150.000.000 dan biaya produksi sebesar Rp 6.990.000. Total perkiraan biaya untuk memproduksi produk adalah Rp 156.990.000.

Proposal ini juga menyoroti potensi pasar untuk alat monitoring kondisi internal batang pohon, terutama di kalangan peneliti pohon dan lembaga riset lingkungan. Kerjasama dengan lembaga-lembaga ini diharapkan dapat membantu dalam mengidentifikasi peluang pasar dan memperluas jaringan distribusi produk.

Dengan implementasi solusi yang diusulkan, diharapkan masalah dalam mengetahui kondisi internal batang pohon berdasarkan distribusi densitas dapat diatasi secara efektif, memfasilitasi penelitian dan pemantauan kesehatan batang pohon di Indonesia.

1.2 Tujuan Penulisan dan Aplikasi/Kegunaan Dokumen

Tujuan penulisan dari dokumen B100 ini sebagai berikut:

1. Untuk memenuhi syarat kelulusan Mata Kuliah Tugas Akhir 1 (TA 1).
2. Acuan dasar untuk tugas akhir yang dikerjakan, yang menjelaskan tentang problem statement, latar belakang masalah, solusi masalah, dan perencanaan pasar.
3. Memberikan gambaran tentang alternatif solusi yang ada serta menjelaskan proses pemilihan solusi menggunakan metode Analytic Hierarchy Process dengan melakukan penilaian terhadap alternatif solusi yang tersedia.
4. 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] Yunasfi, “Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Perkembangan Penyakit dan Penyakit yang Disebabkan oleh Jamur,” *Fak. Pertan. Univ. Sumat. Utara*, 2002.
- [2] L. P. Simajorang and R. Safe’i, “Penilaian Vitalitas Pohon Jati dengan Forest Health Monitoring di KPH Balapulang,” *J. Ecogreen*, 2018.

Nomor Dokumen: B100-TA2324.02.004	Nomor Revisi: 04	Tanggal: 25/05/2024	Halaman 5 dari 49
-----------------------------------	------------------	---------------------	-------------------

- [3] F. Ardiansyah, R. Safe'i, R. Hilmanto, and Indriyanto, "Analisis Kerusakan Pohon Mangrove Menggunakan Teknik Forest Health Monitoring (FHM)," *Pros. Semin. Nas. Bid. Ilmu-Ilmu Pertan. BKS-PTN Bagian Barat Serang*, 2018.
- [4] L. Lantini, "Health Monitoring of Trees and Investigation of Tree Root Systems using Ground Penetrating Radar (GPR)," 2021, doi: 10.13140/RG.2.2.14148.14724.
- [5] V. Bucur, *Urban forest acoustics*. Berlin: Springer-Verlag, 2006.
- [6] A. K. Buza and B. Goncz, "Comparison of trees and NDT methods," *Wood Research Bratislava*, vol. 60, no. 1.
- [7] W. Li, J. Wen, Z. Xiao, and S. Xu, "Application of Ground-Penetrating Radar for Detecting Internal Anomalies in Tree Trunks with Irregular Contours," *Sensors*, vol. 18, no. 2, p. 649, Feb. 2018, doi: 10.3390/s18020649.
- [8] H. M. Jol, *Ground penetrating radar: theory and applications*, 1st ed. Amsterdam, Netherlands Oxford, UK: Elsevier Science, 2009.
- [9] B. N. Divakara and S. Chaithra, "Electric Resistance Tomograph (ERT): a review as non-destructive Tool (NDT) in deciphering interiors of standing trees," *Sens. Imaging*, vol. 23, no. 1, p. 18, Dec. 2022, doi: 10.1007/s11220-022-00385-3.
- [10] E. M. Gora, P. M. Bitzer, J. C. Burchfield, S. A. Schnitzer, and S. P. Yanoviak, "Effects of lightning on trees: A predictive model based on in situ electrical resistivity," *Ecol. Evol.*, vol. 7, no. 20, pp. 8523–8534, Oct. 2017, doi: 10.1002/ece3.3347.
- [11] A. Bär, M. Hamacher, A. Ganthalter, A. Losso, and S. Mayr, "Electrical resistivity tomography: patterns in Betula pendula, Fagus sylvatica, Picea abies and Pinus sylvestris," *Tree Physiol.*, vol. 39, no. 7, pp. 1262–1271, Jul. 2019, doi: 10.1093/treephys/tpz052.
- [12] Y. Xiaoquan, W. Lihai, W. Xinglong, R. Binbin, and G. Xiaowen, "Quantitative Detection of Internal Decay Degree for Standing Trees Based on Three NDT Methods: Electric Resistance Tomography, Sress Wave Imaging, and Resistograph Techniques," *Sci. Silvae Sin.*, 2017.
- [13] R. Usamentiaga, P. Venegas, J. Guerediaga, L. Vega, J. Molleda, and F. Bulnes, "Infrared Thermography for Temperature Measurement and Non-Destructive Testing," *Sensors*, vol. 14, no. 7, pp. 12305–12348, Jul. 2014, doi: 10.3390/s140712305.
- [14] "User's Manual FLIR Tools/Tools+." Flir System, Inc., 2017.
- [15] H. Komberg, "Metabolism," Britannica. Accessed: Mar. 04, 2024. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/science/metabolism>
- [16] M. C. Ho-hang and M. H. Ka-yi, "Introduction to the Applications of Remote Sensing Techniques on the Tree Health Monitoring," 2020.
- [17] A. Kloppenburg, "Density determination of tropical hardwoods with the Resistograph," *Delft Univ. Technol.*, 2018.
- [18] "Drilling Resistance Measurement," The Play Inspection Co. Accessed: Mar. 04, 2024. [Online]. Available: <https://playinspections.co.uk/inspection-services/resistograph-testing/>
- [19] D. Vidal and R. Pitarma, "Infrared Thermography Applied to Tree Health Assessment: A Review," *Agriculture*, vol. 9, no. 7, p. 156, Jul. 2019, doi: 10.3390/agriculture9070156.

Nomor Dokumen: B100-TA2324.02.004	Nomor Revisi: 04	Tanggal: 25/05/2024	Halaman 6 dari 49
-----------------------------------	------------------	---------------------	-------------------

- [20] E.-C. Leong, D. C. Burcham, and Y.-K. Fong, “A purposeful classification of tree decay detection tools,” *Arboric. J.*, vol. 34, no. 2, pp. 91–115, Jun. 2012, doi: 10.1080/03071375.2012.701430.
- [21] Y. Sasaki, T. Iwata, and K. Ando, “Acoustoelastic effect of wood II: Effect of compressive stress on the velocity of ultrasonic longitudinal waves parallel to the transverse direction of the wood,” *J. Wood Sci.*, vol. 44, no. 1, pp. 21–27, Feb. 1998, doi: 10.1007/BF00521870.
- [22] S. Schubert, D. Gsell, J. Dual, M. Motavalli, and P. Niemz, “Acoustic wood tomography on trees and the challenge of wood heterogeneity,” *hfsg*, vol. 63, no. 1, pp. 107–112, Jan. 2009, doi: 10.1515/HF.2009.028.
- [23] “Fakopp microsecond timer user’s guide.” Fakop Enterprise, 2010.
- [24] 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.

1.4 Daftar Singkatan

SINGKATAN	ARTI
AHP	Analytic Hierarchy Process
DPKP	Dinas Perumahan dan Kawasan Permukiman
FHM	Forest Health Monitoring
GPR	Ground Penetrating Radar
IRT	Infrared Thermography
K3L	Keselamatan, Kesehatan Kerja dan Lingkungan
RTH	Ruang Terbuka Hijau

2 Proposal

2.1 Masalah

Di lingkungan yang memiliki banyak pohon seperti ITB, diperlukan konsultan pemeliharaan dan Perawatan pohon (Peneliti pohon, Arborist, Dosen Kehutanan) yang dapat mengetahui kondisi pohon dengan benar, baik dari kondisi luar maupun kondisi dalam pohon. Namun, saat ini peneliti pohon masih menggunakan metode visual assessment dan Forest Health Monitoring (FHM) dalam melakukan pengecekan kesehatan pohon. Melalui metode tersebut, kondisi internal batang pohon tidak dapat diamati secara langsung. Instrumen yang sudah ada harganya sangat mahal dan tidak selalu tersedia bagi peneliti pohon yang memiliki anggaran terbatas. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu alat yang dapat mendeteksi kondisi internal batang pohon berdasarkan distribusi densitasnya secara akurat tanpa merusak pohon (non-destructive) dengan harga terjangkau.

2.1.1 Latar belakang masalah

Pohon memiliki peranan penting bagi kehidupan makhluk hidup dan kelestarian lingkungan hidup di bumi. Berbagai manfaat telah diberikan pohon pada kehidupan manusia dan kehidupan makhluk hidup lainnya. Dalam proses fotosintesis, pohon menggunakan gas karbondioksida (CO_2) dan mengubahnya menjadi gas oksigen (O_2) yang menjadi sumber pernapasan manusia dan makhluk hidup lainnya. Dengan mengikat gas karbondioksida (CO_2) dari udara bebas, pohon mampu mencegah terjadinya efek rumah kaca pada atmosfer bumi sehingga suhu udara di atmosfer menjadi lebih dingin. Pohon juga menjadi habitat kehidupan bagi banyak hewan seperti berbagai jenis burung, serangga, dan hewan arboreal lainnya.

Diantara banyaknya manfaat pohon, pada kondisi tertentu pohon juga dapat memberikan dampak buruk bagi manusia. Dampak buruk tersebut dapat terjadi ketika kualitas kesehatan pohon terganggu atau menurun. Beberapa faktor yang sering menjadi penyebab penurunan kualitas kesehatan pohon adalah penyakit, serangan hama, parasit, dan jamur. Penurunan kualitas kesehatan pohon akan mengakibatkan pohon tumbuh tidak sehat dan mengalami kerusakan di beberapa bagian tubuhnya, seperti pembusukan atau pengerosan pada akar atau batang. Ketika suatu pohon sudah tidak sehat, pohon tersebut akan berpotensi untuk tumbang atau patah di bagian batangnya. Patah atau tumbangnya batang pohon dapat menyebabkan kerugian dengan menimbulkan kerusakan pada benda atau objek di sekitarnya, bahkan berpotensi menimpa manusia.

Pohon dikatakan sehat apabila pohon tersebut dapat melaksanakan fungsi fisiologisnya, mempunyai ketahanan ekologi yang tinggi terhadap gangguan hama serta faktor luar lainnya [1]. Sebaliknya, dikatakan tidak sehat apabila pohon yang secara struktural mengalami kerusakan baik secara keseluruhan maupun sebagian pohon. Kerusakan pohon pada batas tertentu dapat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan pohon dalam hutan yang secara keseluruhan dapat mempengaruhi kesehatan hutannya [2]. Kerusakan pohon penyusun tegakan ini dapat dianalisis dengan menggunakan metode FHM [3]. Penggunaan metode ini akan membantu mengidentifikasi kerusakan pohon berdasarkan lokasi kerusakan, tipe kerusakan dan tingkat keparahan. Informasi yang akan didapatkan

Nomor Dokumen: B100-TA2324.02.004	Nomor Revisi: 04	Tanggal: 25/05/2024	Halaman 8 dari 49
-----------------------------------	------------------	---------------------	-------------------

tersebut dapat dijadikan dasar dalam menyusun strategi pengendalian faktor penyebab kerusakan dan landasan pengambilan keputusan pengelolaan pohon yang lebih baik.

Biomekanik memainkan peran penting dalam memahami kondisi kesehatan pohon beserta potensi risiko tumbangnya. Ilmu biomekanik mempelajari interaksi antara struktur biologis, seperti manusia dan pohon, dengan lingkungannya. Analisis biomekanik pada pohon melibatkan pemahaman tentang bagaimana beban dan tekanan diterapkan pada struktur pohon, terutama batang dan akar. Oleh karena itu, memahami biomekanik pohon dapat membantu dalam mengidentifikasi potensi risiko tumbang atau patah dengan melihat kekuatan struktural pohon.

Dalam kasus kejadian pohon tumbang atau patah, beberapa sampel yang diperoleh dari survei di Keselamatan, Kesehatan Kerja dan Lingkungan (K3L) ITB dan DPKP Kota Bandung menunjukkan bahwa banyaknya kejadian pohon tumbang atau patah yang terjadi di lingkungan ITB dan wilayah Kota Bandung selama tahun 2023 disebabkan oleh kualitas kesehatan pohon yang buruk. Selama tahun 2023, tercatat 6 kejadian pohon tumbang di lingkungan ITB, 156 kejadian pohon tumbang, dan 166 kejadian patah batang di wilayah Kota Bandung. Kejadian pohon tumbang dan patah tersebut terjadi akibat lemahnya kemampuan pohon dalam menopang tubuhnya ketika terjadi angin kencang dan hujan lebat. Pelemahan kemampuan menopang disebabkan karena kerapuhan pada batang atau akar akibat pengerosan atau pembusukan.

Banyaknya kejadian pohon tumbang dan patah di beberapa wilayah kota di Indonesia membuat para peneliti pohon di Indonesia tergerak untuk turut serta dalam upaya mengantisipasi tumbangnya pohon secara tidak terduga dengan cara mengetahui potensi pohon tumbang atau patah berdasarkan kondisi visual luar pohon. Namun, selama ini upaya tersebut dianggap tidak maksimal karena peneliti hanya menggunakan metode pengamatan visual dan FHM. Metode visual dan FHM hanya dapat dilakukan dengan mengamati kondisi pohon dari luar, melalui gejala-gejala penyakit dan bentuk fisik pohon, sedangkan kondisi dalam pohon tidak dapat teramat.

Kondisi internal pohon hanya dapat diamati melalui penggunaan alat monitoring khusus. Saat ini, berbagai jenis alat monitoring kesehatan pohon dengan teknologi yang beragam telah banyak tersedia di pasaran. Namun, sangat disayangkan bahwa peralatan tersebut hanya dapat diperoleh di pasar luar negeri dan memiliki harga yang sangat mahal, sehingga tidak dapat dijangkau oleh kalangan peneliti lokal. Dengan memanfaatkan teknologi yang telah tersedia, diharapkan dapat dilakukan pengembangan peralatan lokal yang mampu memberikan informasi mengenai persentase pelupukan pohon berdasarkan distribusi densitas batang secara akurat dengan biaya yang lebih terjangkau.

2.1.2 Informasi pendukung

ITB merupakan salah satu perguruan tinggi negeri yang menerapkan konsep kampus hijau (*Green Campus*), dengan menyediakan Ruang Terbuka Hijau (RTH) yang optimal. Dengan adanya konsep tersebut, maka semakin banyak pohon tumbuh di area lingkungan kampus. Banyaknya pepohonan yang tumbuh di lingkungan kampus mengharuskan pihak kampus untuk melakukan perawatan dan pemeriksaan rutin terhadap kondisi kesehatan pohon. Dalam rangka pemeliharaan tersebut, ITB melibatkan unit K3L dan dosen

Nomor Dokumen: B100-TA2324.02.004	Nomor Revisi: 04	Tanggal: 25/05/2024	Halaman 9 dari 49
-----------------------------------	------------------	---------------------	-------------------

Rekayasa Kehutanan. Perawatan yang dilakukan berupa pemangkasan rutin yang dilakukan setiap minggu, dan kegiatan pengecekan kondisi kesehatan pohon dilakukan setiap 6 bulan di awal musim penghujan dan musim kemarau. Meskipun upaya perawatan ini dilakukan secara intensif, masih terdapat kejadian kondisi pohon yang tumbang dan patah yang tidak dapat diantisipasi dengan baik.

Berdasarkan wawancara yang dilakukan di K3L pada tanggal 13 Februari 2024, diperoleh data perawatan pohon dan kejadian pohon tumbang di seluruh wilayah lingkungan ITB selama tahun 2022 dan 2023 sebagai berikut :

Tabel 2.1 Data Perawatan pohon dan Kejadian Pohon Tumbang di Lingkungan ITB

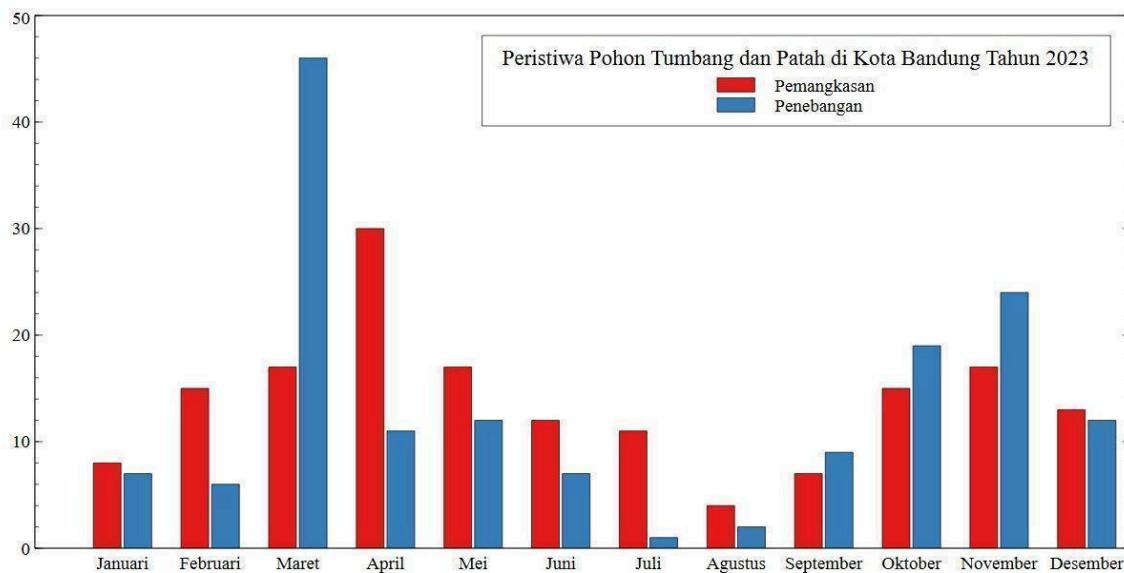
Bulan	Tahun 2022			Tahun 2023		
	Perawatan Pohon		Pohon Tumbang atau Patah	Perawatan Pohon		Pohon Tumbang atau Patah
	Pemangkasan	Penebangan		Pemangkasan	Penebangan	
Januari	4	1	2	4	-	-
Februari	2	2	-	4	1	-
Maret	1	-	-	5	1	-
April	19	1	-	3	4	1
Mei	4	-	-	5	5	-
Juni	9	1	1	5	5	1
Juli	8	-	-	10	4	1
Agustus	4	3	-	12	3	1
September	3	5	-	10	2	-
Oktober	6	2	-	8	-	-
November	10	-	1	9	1	1
Desember	8	1	1	11	2	1
Jumlah	78	16	5	86	28	6

Dari tabel di atas dapat diamati bahwa upaya perawatan dan pemangkasan secara intensif tidak cukup efektif karena kejadian pohon tumbang dan patah masih tetap terjadi dan tidak dapat diantisipasi. Hal ini terjadi karena dalam upaya pengecekan kondisi kesehatan pohon pihak K3L ITB belum memiliki alat khusus yang mampu mengetahui kondisi internal pohon.

Hal yang sama juga dialami oleh pihak Dinas Permukiman dan Pertamanan Kota (DPKP) Bandung. Banyak kejadian pohon tumbang di wilayah Kota Bandung terjadi akibat tidak adanya alat khusus monitoring kesehatan pohon yang dimiliki DPKP. Padahal upaya perawatan intensif dan pengecekan kondisi pohon secara visual dilakukan rutin setiap hari,

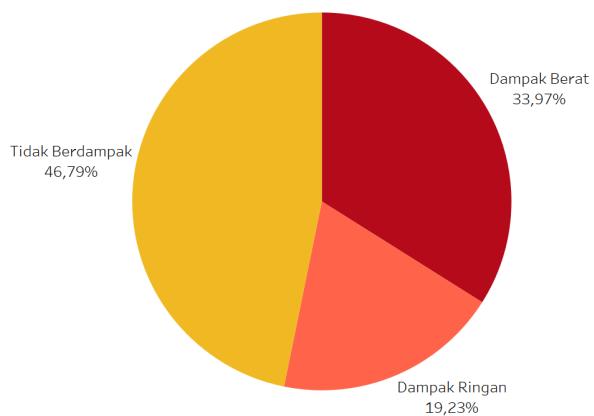
tetapi tidak maksimal karena pengecekan hanya dilakukan dengan mengamati kondisi luar pohon. Sumber Daya Manusia (SDM) yang bertugas sebagai tim pengecekan pohon juga masih minim karena seluruh petugas merupakan lulusan setingkat Sekolah Menengah Atas (SMA) sehingga tidak memiliki dasar ilmiah yang kuat untuk menyatakan kondisi kesehatan pohon.

Berdasarkan hasil wawancara yang dilakukan di DPKP Kota Bandung pada tanggal 20 Februari 2024, diketahui bahwa kejadian pohon tumbang yang terjadi di wilayah Kota Bandung selama tahun 2023 sebanyak 156 kejadian pohon tumbang dan 166 kejadian patah batang. Rincian kejadian tersebut dapat dilihat melalui diagram pada gambar 2.1.1 di bawah ini:

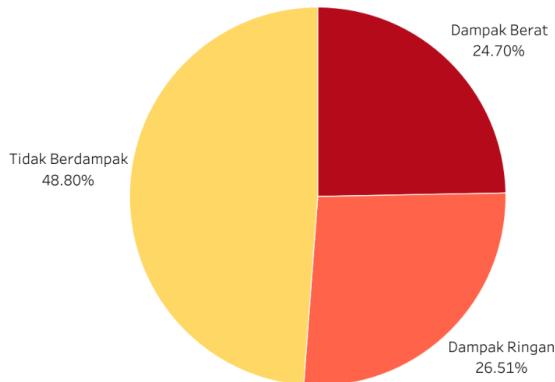


Gambar 2.1.1 Peristiwa Pohon Tumbang dan Patah di Kota Bandung Tahun 2023

Dari kejadian pohon tumbang dan patah tersebut, lebih banyak kejadian yang berdampak daripada tidak berdampak seperti yang terlihat pada kedua gambar diagram 2.1.2 dan 2.1.3 di bawah ini:



Gambar 2.1.2 Dampak Pohon Tumbang di Kota Bandung Tahun 2023



Gambar 2.1.3 Dampak Pohon Patah di Kota bandung Tahun 2023

Berdampak : Menimpa bangunan, rumah, fasilitas umum, kendaraan, menyebabkan kemacetan
 Tidak Berdampak : Tidak menyebabkan kerusakan dan gangguan

Pada kesempatan di dua wawancara yang berbeda yang dilakukan dengan Kepala UPT Penghijauan DPKP Kota Bandung, Bapak Asep Suryana, dan dosen peneliti tanaman Fakultas SITH-R Kehutanan ITB, Dr. Yayat Hidayat, S.Hut., M.Si., keduanya menjelaskan bahwa sebagian besar kejadian pohon tumbang atau patah batang di Kota Bandung dan Lingkungan ITB disebabkan karena pelapukan dan pembusukan akibat penyakit. Adanya penyakit membuat tumbuh kembang pohon dan proses metabolisme zat makanan pada pohon terganggu menyebabkan pohon tumbuh tidak sehat dan berpotensi tumbang atau patah. Metode pengamatan visual tanpa alat monitoring membuat pengecekan kondisi kesehatan pohon tidak maksimal. Oleh karena itu Bapak Yayat selaku peneliti kesehatan pohon mengharapkan bahwa kedepannya dapat diciptakan atau dikembangkan dari teknologi yang sudah ada, sebuah alat monitoring kondisi internal batang pohon produk lokal yang harganya relatif murah dan terjangkau bagi instansi atau komunitas yang bergerak dalam bidang pemeliharaan dan perawatan pohon. Selain murah, produk tersebut tentunya juga diharapkan memiliki kualitas yang bagus dan akurat dalam mendeteksi pelapukan pada pohon.

2.1.3 Analisis Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan pada sub bab 2.1.1, dapat disimpulkan bahwa permasalahan yang dihadapi adalah kesulitan dalam monitoring kondisi kesehatan internal pohon yang dialami oleh para peneliti pohon di Indonesia saat melakukan kegiatan pengecekan kesehatan pohon secara rutin karena tidak tersedianya peralatan monitoring kesehatan pohon. Meskipun alat tersebut sudah banyak tersedia di pasar internasional, harga yang tinggi membuatnya tidak terjangkau oleh instansi atau komunitas peneliti pohon dalam negeri.

Dengan perkembangan ilmu pengetahuan yang terjadi saat ini, sangat memungkinkan untuk menciptakan sebuah alat atau mengembangkan peralatan yang sudah ada untuk digunakan sebagai alat monitoring potensi pohon tumbang akibat kerusakan batang. Dalam menciptakan atau mengembangkan peralatan tersebut diperlukan analisis yang mendalam dan pertimbangan yang matang terkait beberapa aspek di bawah ini:

Nomor Dokumen: B100-TA2324.02.004	Nomor Revisi: 04	Tanggal: 25/05/2024	Halaman 12 dari 49
-----------------------------------	------------------	---------------------	--------------------

2.1.3.1 Konstrain Ekonomi dan Manufakturabilitas (Economy and Manufacturability)

Pengembangan alat monitoring internal batang pohon terutama di Indonesia menghadapi tantangan dari sisi ekonomi dan manufakturabilitas. Alat-alat ini memiliki biaya produksi yang sangat tinggi, dan perlu dipertimbangkan terlebih lagi agar harganya tetap terjangkau bagi pihak yang berkepentingan, seperti pihak pengelola area hijau perkotaan maupun para peneliti pohon yang memiliki anggaran terbatas. Selain itu, perlu diperhatikan biaya pembuatan alat serta biaya bulanan untuk server penyimpanan data. Seiring dengan berjalannya waktu, alat ini juga harus dapat diakses oleh berbagai pihak, seperti institusi pemerintah, dan masyarakat umum. Oleh karena itu, aspek ekonomi dan manufakturabilitas harus diintegrasikan ke dalam desain dan pengembangan alat tersebut. Alat yang dibuat harus tetap mempertimbangkan ketersediaan komponen yang digunakan di dalam negeri agar mudah diperoleh dengan jumlah dan harga yang dibutuhkan.

2.1.3.2 Konstrain Kesehatan, Keselamatan, dan Lingkungan (Health, Safety, and Environment)

Teknologi yang diterapkan pada produk tidak membahayakan kesehatan pengguna, orang di sekitar, dan pohon yang dievaluasi, baik dalam waktu yang pendek maupun jangka panjang. Pengguna tidak akan ditempatkan dalam posisi dan kondisi yang berbahaya selama proses pengukuran dilakukan. Rangkaian dan komponen elektronika dirancang agar tidak terekspos untuk mencegah pengguna dari risiko tersengat arus listrik. Penggunaan alat juga dirancang agar tidak merusak pohon yang diukur (non-destruktif). Selain itu, produk ini difabrikasi menggunakan bahan-bahan yang tidak berbahaya bagi kesehatan pohon dan manusia.

2.1.3.3 Konstrain Lingkungan dan Keberlanjutan (Environment and Sustainability)

Pengukuran dilakukan di luar ruangan (*outdoor*), sehingga alat harus mampu beroperasi di bawah paparan cahaya matahari dan memiliki komponen yang tahan atau terlindung dari cipratan air. Di area pengukuran, tidak terdapat sumber listrik sehingga alat menggunakan baterai yang mampu menyala selama waktu pengukuran dalam satu hari. Pengukuran dilakukan secara berulang setiap 6 bulan sehingga pembacaan data harus tetap presisi setelah digunakan dalam jangka waktu yang lama. Inspeksi kondisi internal batang pohon dilakukan secara berkala sehingga komponen pada produk tidak boleh rusak dalam jangka waktu yang lama.

2.1.3.4 Legal, Code, and Standards

Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 05/PRT/M/2012 Tentang Pedoman Penanaman Pohon Pada Sistem Jaringan Jalan. Berdasarkan aturan tersebut, titik penanaman antar pohon berjarak sekitar 4 meter sehingga area pengukuran terbatas.

2.1.3.5 Ethics, Social, and Culture

Pengembangan alat ditujukan kepada user yang memiliki background minimal S1 dan memiliki pengetahuan mengenai spesies pohon di Indonesia.

Nomor Dokumen: B100-TA2324.02.004	Nomor Revisi: 04	Tanggal: 25/05/2024	Halaman 13 dari 49
-----------------------------------	------------------	---------------------	--------------------

2.1.4 Kebutuhan yang harus dipenuhi

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, dibutuhkan solusi berupa instrumen yang dapat mengetahui kondisi internal batang pohon berdasarkan distribusi densitas batang pohon sebagai parameter kesehatan secara akurat dengan harga terjangkau. Instrumen tersebut juga ramah lingkungan, tahan lama, dan portable. Instrumen diharapkan juga memiliki fitur visualisasi data dalam grafik atau gambar 2D.

2.1.5 Tujuan proyek

Berdasarkan kebutuhan yang harus dipenuhi pada bagian sebelumnya, diinginkan sebuah alat yang dapat mengetahui kondisi internal batang pohon berdasarkan distribusi densitasnya secara akurat tanpa merusak pohon (non-destructive) dengan harga terjangkau, serta memiliki fitur visualisasi data dalam grafik atau gambar 2D.

2.2 Solusi

2.2.1 Karakteristik Produk

Berikut merupakan karakteristik produk yang akan dirancang. Karakteristik produk diturunkan menjadi fitur utama, fitur dasar, fitur tambahan, dan sifat solusi yang diharapkan.

- 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 pelupukan pada titik yang diukur
- Memberikan visualisasi pelupukan batang pohon kepada user
- Portabel dan *splash resistant*

- Fitur Tambahan:

- Menyediakan penyimpanan data pohon dan 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 [24]
- Waktu pengukuran per pohon tidak memakan waktu yang lama

Nomor Dokumen: B100-TA2324.02.004	Nomor Revisi: 04	Tanggal: 25/05/2024	Halaman 14 dari 49
-----------------------------------	------------------	---------------------	--------------------

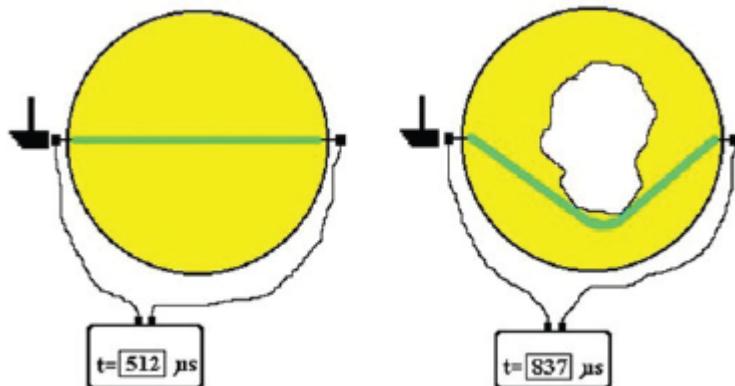
2.2.2 Usulan Solusi

Berdasarkan latar belakang masalah dan beberapa konstrain yang menjadi pertimbangan dalam membuat alat monitoring kondisi internal batang pohon pohon, diberikan 5 usulan solusi dengan karakteristik yang berbeda-beda, yaitu : Acoustic Tomography, Ground Penetrating Radar (GPR), Electrical Resistivity Tomography (ERT), Infrared Tomography (IRT), Resistograph.

2.2.2.1 Acoustic Tomography

Acoustic detection kayu banyak digunakan untuk investigasi batang dan akar pohon, mulai dari deteksi pembusukan (pelapukan), retakan, rongga ataupun lubang [4], hingga karakterisasi untuk evaluasi penilaian kualitas kayu [5]. Kecepatan sinyal akustik di dalam tanah berkisar antara 250 – 400 m/s, tergantung pada jenis tanah dan kadar air, sedangkan kecepatan di dalam kayu sehat berkisar antara 2000 dan 4000 m/s [4].

Device pengukuran acoustic detection terdiri dari transmitter, receiver, dan komponen pengukur waktu. Selama pengecekan dilakukan, transmitter akan mengirim sinyal sangat singkat, yang kemudian dipantulkan dan dibaca oleh receiver.



Gambar 2.2.1 Waktu deteksi bergantung pada kondisi dari material kayu[b]

Acoustic Tomography pada batang didasarkan pada perubahan kecepatan suara di material yang berbeda. Kecepatan dari sinyal suara diukur dan berubah tergantung kondisi pelapukan di material kayu. Gambar 2.2.2.1 menunjukkan perbedaan antara material sehat dengan yang mengalami pelapukan. Suara merambat lebih lambat di udara dibandingkan di kayu, sehingga suara akan sampai ke receiver melalui jalur yang lebih panjang [6].

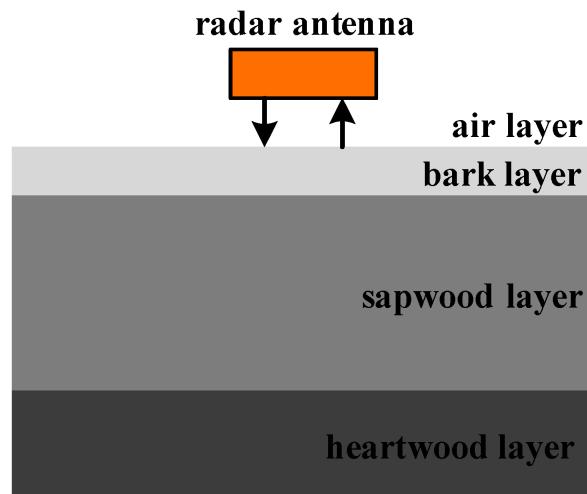
Selama pengukuran 10 transmitter-detectors digunakan di satu titik melintang. Evaluasi proyeksi balik yang difilter digunakan untuk membuat distribusi kecepatan dari penampang lintang batang pohon. Hasil yang terlihat merupakan gambaran 2D kondisi batang pohon secara melintang di ketinggian batang pohon tersebut. Gambaran 3D kemudian dapat divisualisasikan dengan melakukan pengukuran yang sama di setidaknya 3 ketinggian batang pohon yang berbeda [6].

2.2.2.2 Ground Penetrating Radar

Ground Penetrating Radar (GPR) adalah metode pengujian yang dilakukan untuk mendeteksi perubahan sifat fisik dari subsurface dangkal. Metode ini telah digunakan untuk berbagai aplikasi dan dalam beberapa disiplin ilmu, seperti investigasi arkeologis,

Nomor Dokumen: B100-TA2324.02.004	Nomor Revisi: 04	Tanggal: 25/05/2024	Halaman 15 dari 49
-----------------------------------	------------------	---------------------	--------------------

analisis lapisan jembatan dan terowongan, deteksi ranjau darat, aplikasi teknik sipil dan lingkungan, dan eksplorasi planet, selama sekitar empat puluh tahun [4].



Gambar 2.2.2 Sketsa Map deteksi GPR di batang pohon [7]

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, GPR bekerja dengan mengirimkan gelombang elektromagnetik ke medium yang diuji dan menerima kembali sinyal yang dipantulkan. Prinsip operasi GPR didasarkan pada teori medan elektromagnetik yang dijabarkan oleh persamaan Maxwell [8]. Efektivitas metode ini tergantung pada respons material terhadap medan elektromagnetik, yang diatur oleh persamaan konstitutif [7]. Penggabungan teori elektromagnetik dengan karakteristik fisik material sangat dibutuhkan untuk menjelaskan secara kuantitatif sinyal GPR.

Amplitudo sinyal pantulan secara umum bergantung pada perbedaan elektrik antar lapisan dielektrik. Sinyal pantulan menjadi semakin kuat seiring meningkatnya perbedaan elektrik. Karakteristik gelombang pantulan terlihat melalui lapisan kayu teras di tengah, lapisan kayu gubal yang aktif, kulit floem yang hidup, dan lapisan gabus yang mati [7].



Gambar 2.2.3 Monitoring Internal Batang Pohon Menggunakan GPR

Monitoring kesehatan batang pohon dilakukan dengan melakukan pemindaian melalui beberapa lingkaran sepanjang arah tangent dari potongan melintang batang. Pantulan radar digunakan untuk menganalisis struktur internal batang. Seperti pengujian yang dilakukan pada gambar 2.2.3, potongan melintang pada setidaknya tiga ketinggian (pada gambar lima ketinggian dari setiap batang pohon dideteksi oleh sistem GPR. Lima ketinggian dan garis awal utara ditandai dengan tali, sebagai lingkar potongan melintang batang diukur. Kemudian, data GPR dikumpulkan searah jarum jam dari awal utara dengan kecepatan konstan. Antena radar harus melekat pada kulit batang. Data direkam oleh pengumpul data setelah satu lingkaran putaran, kemudian deteksi pada ketinggian yang sama diulang sebanyak tiga kali agar akurasi dapat dipastikan. Kumpulan data ini batang digunakan untuk membangun model 3D dari kondisi batang pohon. Kontur luar permukaan batang yang tidak teratur pada tiap ketinggian pengukuran diperoleh sesuai dengan posisi yang ditandai. Akhirnya, rutinitas analisis digunakan untuk menganalisis data, sehingga struktur dan cacat batang diperoleh [7].

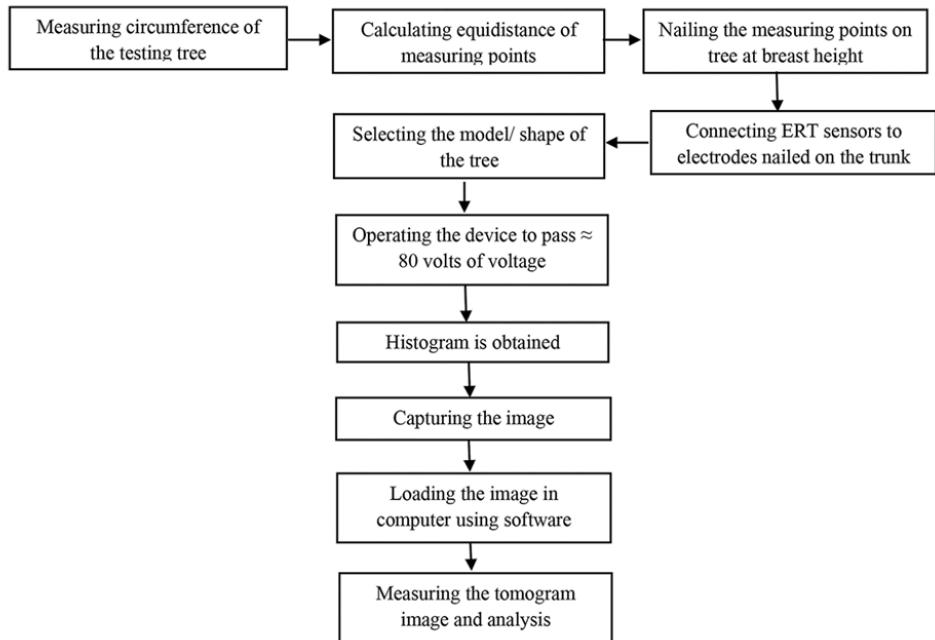
2.2.2.3 Electrical Resistivity Tomography

Electrical Resistivity Tomography (ERT) adalah salah satu metode monitoring kesehatan pohon yang bersifat non-invasif. Cara kerjanya adalah dengan menancapkan pasangan-pasangan elektrode pada batang pohon. Lubang yang diakibatkan penancapan ini berdiameter 5 mm dengan kedalaman 50 mm sehingga dapat dipulihkan oleh jaringan pohon dalam beberapa hari [9].

Jaringan pada batang pohon memiliki larutan ion, sehingga ketika sepasang elektrode diberikan tegangan, maka arus listrik dapat mengalir melalui batang pohon. Tegangan yang dicatu pada elektrode dibatasi sehingga arus pada batang tidak merusak jaringan pohon [10].

Nomor Dokumen: B100-TA2324.02.004	Nomor Revisi: 04	Tanggal: 25/05/2024	Halaman 17 dari 49
-----------------------------------	------------------	---------------------	--------------------

Setelah pembacaan resistansi dilakukan, selanjutnya data pengukuran diolah dan dipetakan sehingga menciptakan visualisasi 2D. Pembusukan dan jamur meningkatkan tingkat kelembapan pada batang, sehingga nilai resistansi batang berkurang [11]. Perbedaan resistansi divisualisasikan dengan penggunaan warna berbeda pada hasil pemetaan. Warna tertentu dapat mengindikasikan lokasi pembusukan, retakan, atau lubang di dalam batang pohon. Pengukuran yang berulang pada ketinggian batang pohon yang berbeda dapat menghasilkan data visual berupa 3D. Penggunaan ERT dapat mendeteksi pembusukan lebih baik dibandingkan pengujian menggunakan stress wave dan resistograph [12].

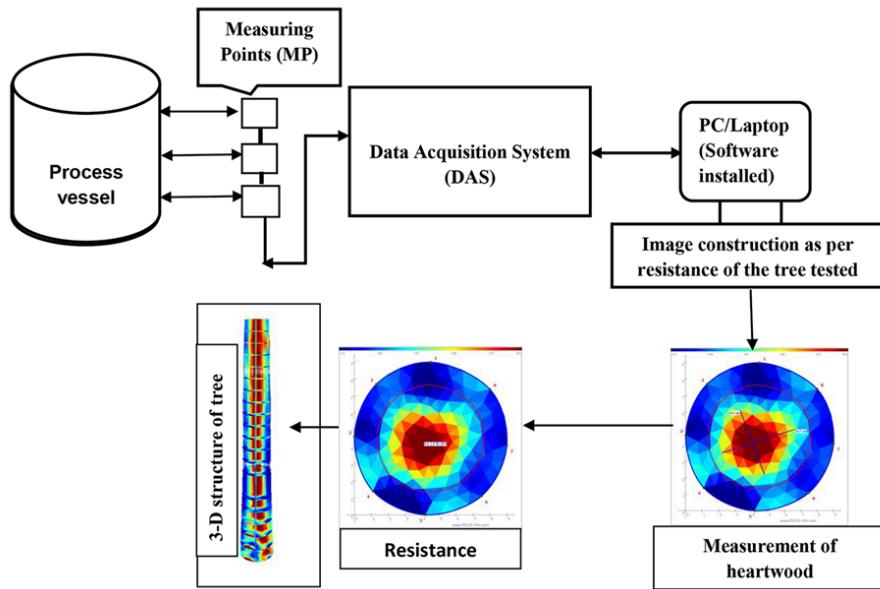


Gambar 2.2.4 Diagram Alir Proses Pengukuran Menggunakan ERT

Pemetaan ERT dilakukan dengan meninjau segitiga-segitiga yang terbentuk di antara elektrode yang melintang. Distribusi resistansi memenuhi persamaan berikut,

$$ER_w = \frac{ER \times A}{A_{mean}}$$

dimana ER_w adalah nilai resistansi terdistribusi (Ω), A adalah luas segitiga antar elektrode (cm^2) dan A_{mean} adalah rata-rata luas segitiga seluruh elektrode.

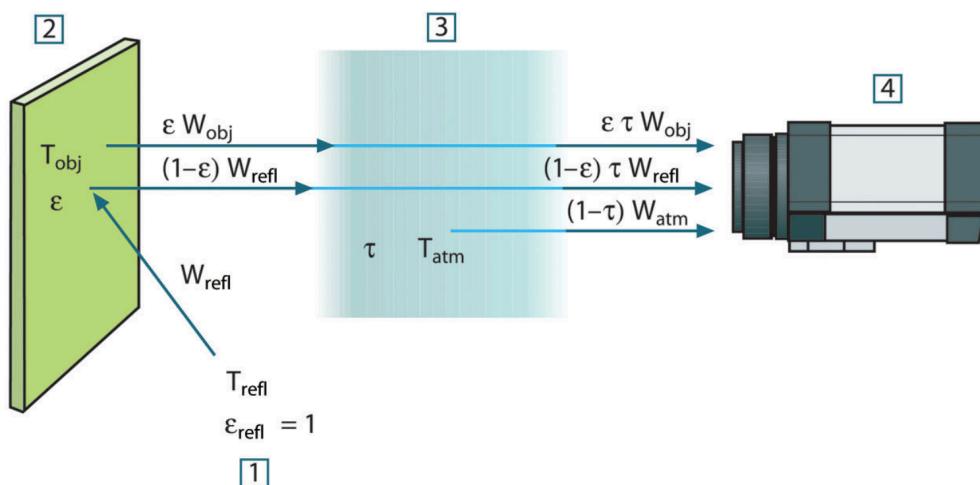


Gambar 2.2.5 Diagram Alir Data Pengukuran Menggunakan ERT

2.2.2.4 Infrared Thermography

Infrared Thermography (IRT) adalah metode non-invasif yang memungkinkan deteksi energi panas yang dipancarkan benda dalam rentang inframerah dari spektrum elektromagnetik (rentang panjang gelombang antara $0,8\text{--}14 \mu\text{m}$) [13]. Radiasi infrared dipancarkan oleh semua benda pada suhu di atas nol mutlak, dan jumlah radiasi berbanding lurus dengan peningkatan temperatur. Konversi energi inframerah menjadi gambar yang terlihat dapat dilakukan melalui instrumen yang menghasilkan false-colour images, seperti kamera inframerah.

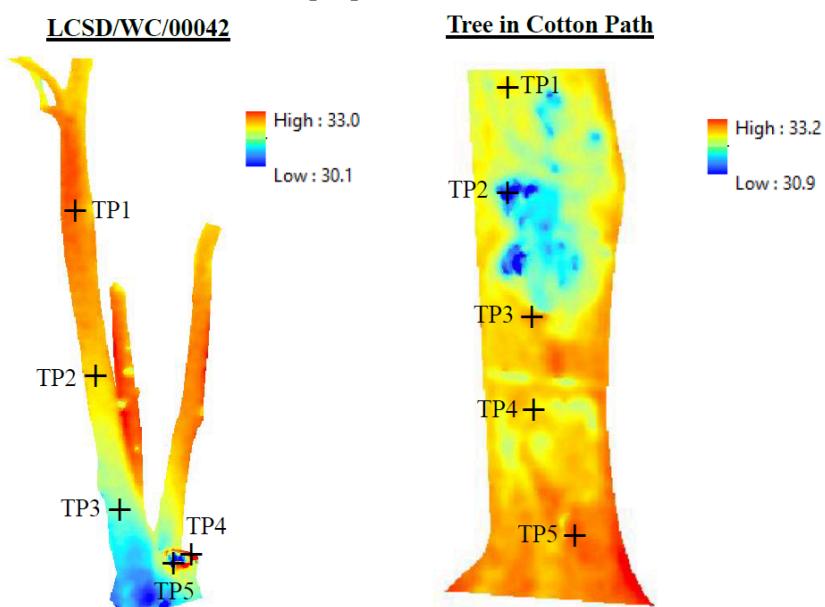
Saat melihat suatu objek, kamera menerima radiasi tidak hanya dari objek itu sendiri, tetapi juga mengumpulkan radiasi yang dipantulkan permukaan objek dari lingkungan sekitar. Kedua radiasi ini sampai batas tertentu dilemahkan oleh atmosfer di jalur pengukuran. Dari sini muncul kontribusi radiasi ketiga dari atmosfer itu sendiri.



Gambar 2.2.6 Representasi skematis dari situasi pengukuran thermographic. 1: Lingkungan sekitar; 2: Objek; 3: Atmosfer; 4: Kamera [14]

Ilustrasi pengukuran gambar diatas sejauh ini merupakan gambaran yang cukup mendekati kondisi lapangan. Beberapa faktor gangguan yang sulit untuk diukur diabaikan, seperti hamburan cahaya matahari di atmosfer atau radiasi menyimpang dari sumber radiasi kuat di luar bidang pandang. Pada sebagian besar kasus, gangguan-gangguan tersebut cukup kecil untuk diabaikan. Jika hal ini tidak dapat diabaikan, situasi pengukuran dapat diubah untuk menghindari gangguan, misalnya dengan mengubah *point of view* kamera, men-cover sumber radiasi yang kuat, dll [14].

Teknik thermography seperti kamera thermal imaging digunakan untuk mengevaluasi kesehatan pohon, seperti mengidentifikasi pembusukan, lubang, maupun infeksi jamur/pathogen, dengan merekam suhu permukaan pohon. Metode ini peka terhadap jumlah aktivitas metabolisme yang terjadi dalam suatu organisme dengan menentukan titik dingin pada gambar infrared batang pohon. Organisme hidup dapat ditandai oleh kemampuan uniknya untuk mengambil energi dari lingkungan, kemudian menggunakan energi ini untuk proses penting seperti bergerak, bertumbuh, dan bereproduksi [15]. Reaksi kimia kumulatif dalam setiap sel memberikan bahan bakar bagi proses vital dan sintesis bahan organik. Akibatnya, pohon yang sehat akan menunjukkan aktivitas metabolisme yang tinggi, tercermin dalam suhu yang lebih tinggi pada gambar thermal infrared [16]. Penggunaan kamera termal meningkatkan kemampuan diagnostik ini dengan mendeteksi suhu permukaan dan menghasilkan gambar thermal yang menggambarkan distribusi panas di sepanjang permukaan pohon. Palet termal yang digunakan dalam gambar-gambar ini membantu membedakan variasi dalam konduktivitas termal, dengan area yang lebih dingin menunjukkan konduktivitas yang berkurang karena beberapa faktor seperti kelembaban jaringan, rongga, atau pembusukan, yang mempengaruhi penyerapan air. Meskipun kamera termal tidak dapat menembus lapisan dalam pohon, alat ini dapat menunjukkan kondisi umum dari jaringan permukaan pohon. Area yang lebih sehat memiliki konduktivitas termal yang lebih tinggi, sehingga tampilan pada gambar menjadi lebih hangat, sementara area yang tidak sehat, seperti memiliki rongga atau mengalami pembusukan, muncul dalam warna yang lebih dingin. Pendekatan komprehensif ini membantu mengidentifikasi pembusukan internal dan deteksi dini jamur atau patogen sebelum luka atau kerusakan terlihat [17].



Gambar 2.2.7 Gambar thermal infrared pohon yang tidak sehat [16]

Nomor Dokumen: B100-TA2324.02.004	Nomor Revisi: 04	Tanggal: 25/05/2024	Halaman 20 dari 49
-----------------------------------	------------------	---------------------	--------------------

Biasanya, temperatur bagian pohon yang tidak sehat akan mengalami perubahan secara tiba-tiba dibandingkan dengan area sekitarnya (perhatikan TP4 di gambar sebelah kiri dan TP 2 di gambar sebelah kanan dibandingkan dengan titik lainnya), yang berarti bagian yang tidak sehat akan memiliki suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan bagian yang sehat dari batang pohon. Perubahan suhu yang tiba-tiba secara kuat menunjukkan adanya kemungkinan kerusakan pada pohon, sedangkan pohon yang sehat tidak akan mengalami perubahan suhu secara tiba-tiba dalam IRT.

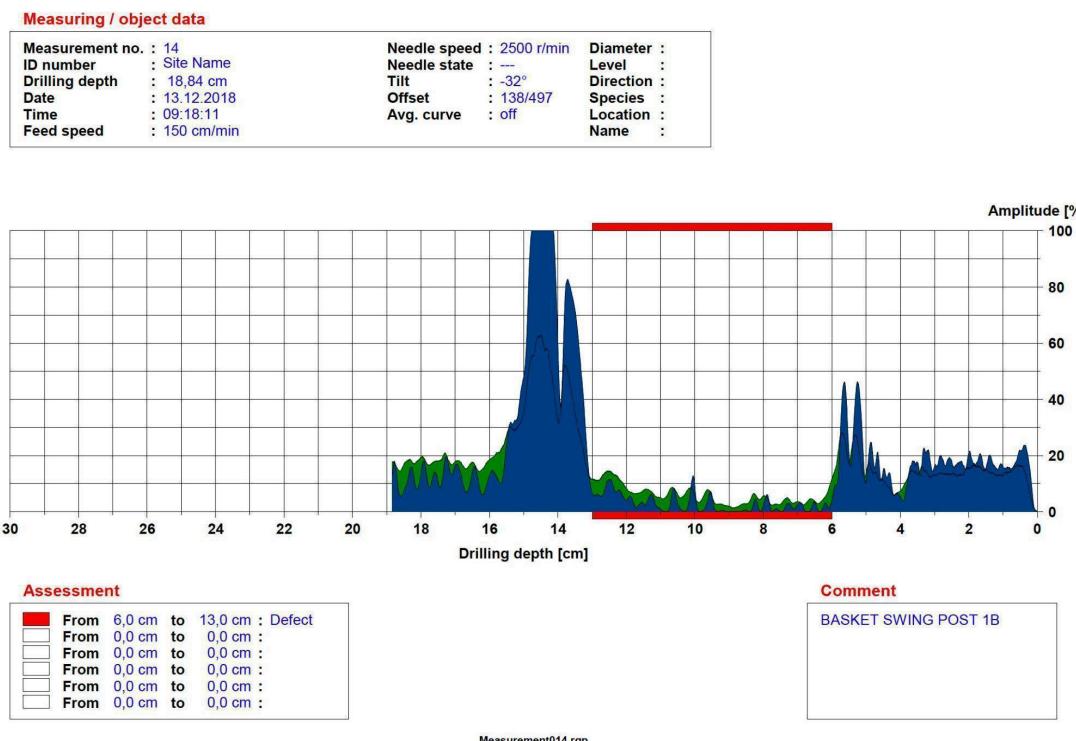
2.2.2.5 Resistografi

Resistograph merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mendeteksi kebusukan dan rongga yang terjadi pada batang dan akar pohon. Dasar penciptaan resistografi ditemukan oleh 2 teknisi Jerman Kamm dan Voss. Alat tersebut bekerja dengan mengebor lubang yang sangat kecil dengan ukuran 3 mm dan mampu menghasilkan grafik berupa perubahan ketahanan kayu terhadap bor [17]. Mata bor bergerak keluar dari ujung alat dan melakukan penetrasi ke dalam batang tubuh pohon seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.2.7 Pengukuran menggunakan Resistografi

Selama proses pengeboran, alat akan mencatat kenaikan besar arus (I) yang terjadi. Dari parameter arus yang berubah tersebut diperoleh besar torka yang berubah juga. Selanjutnya perubahan torka setiap inci saat penetrasi direkam dan ditampilkan dalam bentuk grafik seperti gambar di bawah ini:



Gambar 2.2.8 Test result dari Resistograf [18]

Bagian kayu pohon yang keras akan terekam dengan amplitudo torsi yang besar. Sedangkan bagian kayu pohon yang keropos atau mengalami pembusukan akan terekam dengan amplitudo torka yang kecil.

Dalam menentukan torka, digunakan rumus dasar motor arus searah bertipe *shunt* dengan rumus :

$$T = \frac{P}{\omega}$$

dengan daya (P) diperoleh :

$$P = V \cdot I$$

sehingga Torka (T) :

$$T = \frac{V \cdot I}{\omega}$$

dengan tegangan (V) dan kecepatan putar (ω) motor tipe *shunt* yang selalu konstan maka torka (T) hanya bergantung pada besar arus yang mengalir ke motor arus searah saja yaitu:

$$T = \text{constant} \cdot I$$

2.2.3 Analisis Usulan Solusi

Dari 6 usulan solusi yang telah diberikan, selanjutnya dilakukan seleksi dan penentuan menjadi satu solusi terbaik dengan pertimbangan analisis masalah dan konstrain-konstrain yang terkait. Seleksi awal dibuat dengan membagi solusi dalam kategori kecepatan pemrosesan dan dampak terhadap pohon. Pembagian kategori tersebut dapat dilihat pada tabel 2.2.1 di bawah ini:

Tabel 2.2.1 Klasifikasi alternatif metode monitoring kesehatan pohon (diadaptasi dari Referensi [19] dan [20]).

Nomor Dokumen: B100-TA2324.02.004	Nomor Revisi: 04	Tanggal: 25/05/2024	Halaman 22 dari 49
-----------------------------------	------------------	---------------------	--------------------

Kategori/Tipe	Screening speed: cepat	Evaluation speed: sedang	Diagnostic speed: lambat
Invasif	Resistografi	-	-
Non-invasif	Kecepatan gelombang akustik	Electrical resistance	Tomography gelombang akustik, Tomography elektromagnetik
Non-contact	Infrared Thermography	-	-

Khusus untuk solusi IRT tidak digunakan sebagai usulan solusi utama melainkan sebagai usulan solusi gabungan yang melengkapi solusi lain. Hal ini dikarenakan solusi IRT tidak dapat menyelesaikan masalah utama yaitu mengetahui kondisi internal pohon secara baik. IRT hanya mampu mengetahui suhu umum dari jaringan permukaan pohon. Selain itu pengaruh suhu udara di kawasan tropis juga menjadi pertimbangan untuk menjadikan IRT hanya sebagai solusi gabungan yang mendukung solusi lain.

Dalam menyeleksi dan menentukan satu solusi terbaik digunakan metode Analytic Hierarchy Process (AHP). Metode AHP dilakukan dengan menentukan kriteria-kriteria khusus yang menjadi karakteristik dan konstrain alat dan selanjutnya diurutkan berdasarkan prioritasnya. Dari kriteria yang ditentukan disusun menjadi AHP matriks dan diberikan penilaian berdasarkan level prioritas seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.2.2.

Tabel 2.2.2 Analytic Hierarchy Process

	Biaya	Akurasi	UI	Safety	Kompleks	Mobilitas	Env
Biaya	1	5	8	3	1	9	5
Akurasi	1/5	1	3	3	1/5	6	7
UI	1/8	1/3	1	3	1/5	4	7
Safety	1/3	1/3	1/3	1	1	3	3
Kompleks	1	5	5	1	1	5	3
Mobilitas	1/9	1/6	1/4	1/3	1/5	1	3
Environment	1/5	1/7	1/7	1/3	1/3	1/3	1
%AHP	0.315	0.154	0.117	0.101	0.237	0.041	0.035

Keterangan Prioritas

- Biaya : Harga komponen, harga jual
- Akurasi : Akurasi pengukuran
- UI : Visualisasi akhir data
- Safety : Keamanan penggunaan produk terhadap user
- Kompleks : Kompleksitas pembuatan alat (oleh mahasiswa)
- Mobilitas : Berat, ukuran, lama penggunaan
- Environment : Kompleksitas pemakaian alat oleh user

Dari tabel matriks AHP diperoleh nilai pembobot masing-masing kriteria. Langkah selanjutnya adalah melakukan penilaian dari usulan solusi atau kombinasinya dikaitkan dengan kriteria dan nilai pembobotannya sebagai faktor pengali. Berikut merupakan hasil skor akhir dari pemilihan solusi alat monitoring kesehatan pohon ditampilkan pada tabel 2.2.3 di bawah.

Tabel 2.2.3 Evaluasi alternatif solusi berdasarkan AHP

Alt. Solusi	Biaya	Akurasi	UI	Safety	Complex	Mobilitas	Env	Jumlah
ACT	3	4	4	3	4	3	3	3,508
ERT	3	4	4	2	4	3	3	3,407
RG	4	5	1	2	3	4	4	3,364
GPR	4	4	3	4	2	4	2	3,339
IRT+ACT	1	5	5	4	3	3	4	3,048
IRT+ERT	1	5	5	4	3	3	4	3,048
ACT +ERT	2	4	4	3	3	3	3	2,956
IRT+RG	2	5	4	3	2	4	4	2,949

Pada metode AHP, usulan solusi yang memiliki total skor tertinggi yang menjadi pilihan metode yang akan digunakan. Berdasarkan tabel 2.2.3, usulan solusi yang terpilih adalah ACT dengan skor 3,508. Acoustic Tomography merupakan solusi terpilih karena mampu menyelesaikan permasalahan yang dihadapi.

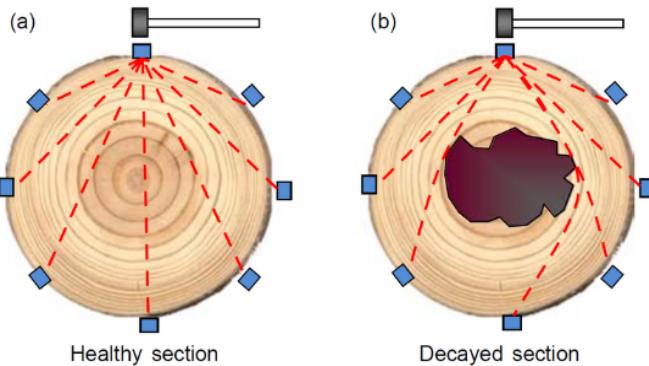
2.2.4 Solusi yang dipilih

Berdasarkan analisis usulan solusi menggunakan metode AHP diperoleh solusi pembuatan dan pengembangan alat monitoring kondisi internal batang pohon menggunakan teknik Acoustic Tomography. Prinsip utama dari teknik Acoustic Tomography adalah mengukur cepat rambat gelombang suara pada media kayu. Gelombang suara merambat melalui media kayu dari pemancar ke penerima. Dalam hal ini densitas kayu mempengaruhi besar atau kecilnya cepat rambat gelombang suara. Semakin padat densitas kayu maka akan semakin besar cepat rambatnya. Sebaliknya jika semakin rapuh densitas kayu maka akan kecil cepat rambatnya.

Cepat rambat gelombang suara juga dipengaruhi oleh arah rambatannya. Terdapat 3 jenis arah cepat rambat gelombang suara dalam kayu yaitu :

1. Radial Wave Velocity : arah rambat membentuk sudut 0 dari sumber, memiliki cepat rambat paling besar.
2. Tangensial Wave Velocity : arah rambatnya membentuk sudut beta, semakin besar sudut semakin berkurang kecepatannya.
3. Rayleigh (curved) Wave Velocity : arah rambatnya melengkung mengikuti permukaan kayu padat. semakin besar lengkungannya akan semakin lama cepat rambatnya.

Ketiga jenis arah rambat tersebut diilustrasikan pada gambar 2.2.9 :



Gambar 2.2.9 Klasifikasi arah rambat kecepatan [20]

Berkaitan dengan frekuensi (f) yang digunakan, gelombang akustik yang digetarkan ke dalam batang dapat berkisar dari rentang suara (< 20 kHz) hingga ultrasonik (> 20 kHz). Frekuensi (f) mempengaruhi panjang gelombang (λ) dari gelombang akustik:

$$V = f \cdot \lambda$$

Kecepatan gelombang akustik (V) dapat dihitung menggunakan jarak antara dua transduser (L) sebagai:

$$V = \frac{L}{t}$$

Nilai dari V bergantung pada modulus Young (E) dan densitas (ρ) dari kayu:

$$V = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Perubahan fisik dari kayu membentuk reactive growth, seperti tekanan atau tarikan pada kayu, juga dapat mempengaruhi kecepatan dari kayu [21]. pembusukan oleh jamur dapat terdeteksi jika pengaruh pembusukan dapat dibedakan dari pengaruh heterogenitas. Banyak produsen alat akustik [22] telah menyediakan panduan yang menunjukkan sejauh mana pembusukan berdasarkan penurunan relatif dalam kecepatan akustik (relative velocity decrease), yang didefinisikan di bawah ini [20]:

$$RVD = \frac{V_{ref} - V}{V_{ref}} \times 100\%$$

Dimana V_{ref} adalah kecepatan referensi yang merupakan kecepatan radial pohon yang sehat, sementara V merupakan kecepatan yang terukur.

Persamaan diatas merupakan keluaran dari metode Acoustic Tomography yang digunakan, yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat keparahan kondisi internal pembusukan batang pohon.

Tabel 2.2.4 Relative Velocity Decrease and Decay Area [23]

Relative velocity decrease [%]	Decayed area estimate [%]
0	0
5	0
10	0
15	1-10
20	10-20

25	20-20
30	20-30
40	20-40
50	30-50
> 50	> 50

Semakin kecil relative velocity decrease pada pohon, maka estimasi area pembusukan pada pohon semakin kecil.

Skema Penggunaan

Jadwal monitoring kondisi internal batang pohon idealnya dilakukan 2 kali setahun saat pendekatan 2 musim, yaitu : awal musim kemarau dan awal musim hujan. Dengan estimasi waktu pengukuran untuk satu pohon sekitar 45-60 menit, menyesuaikan dengan lokasi dan dimensi pohon yang akan diukur. Titik pengukuran dilakukan pada batang bagian bawah atau di titik ketinggian setengah dari panjang cabang pertama pohon. Adapun kriteria pohon yang perlu diukur sebagai berikut :

- Sudah memasuki fase pertumbuhan pohon dewasa dengan minimal diameter 30 cm dan tinggi 10 meter
- Overmature atau sudah melewati usia atau kondisi kedewasaan, kemudian melampaui tahap pertumbuhan atau produktivitas yang diinginkan.
- Jenis pohon yang sering ditanam di perkotaan, pinggir jalan, dan taman kota.

Prinsip operasi [23]

1. Beberapa sensor ditempatkan di sekeliling batang dan dipasang ke pohon dengan menggunakan paku baja.
2. Setiap sensor diketuk dengan palu.
3. Unit akan mengukur waktu tempuh gelombang suara yang dihasilkan oleh ketukan palu antar masing-masing sensor.
4. Jika terdapat lubang, maka gelombang suara harus melewati sekitar lubang, sehingga memerlukan waktu yang lebih lama untuk mencapai sensor yang berada di sisi yang berlawanan.

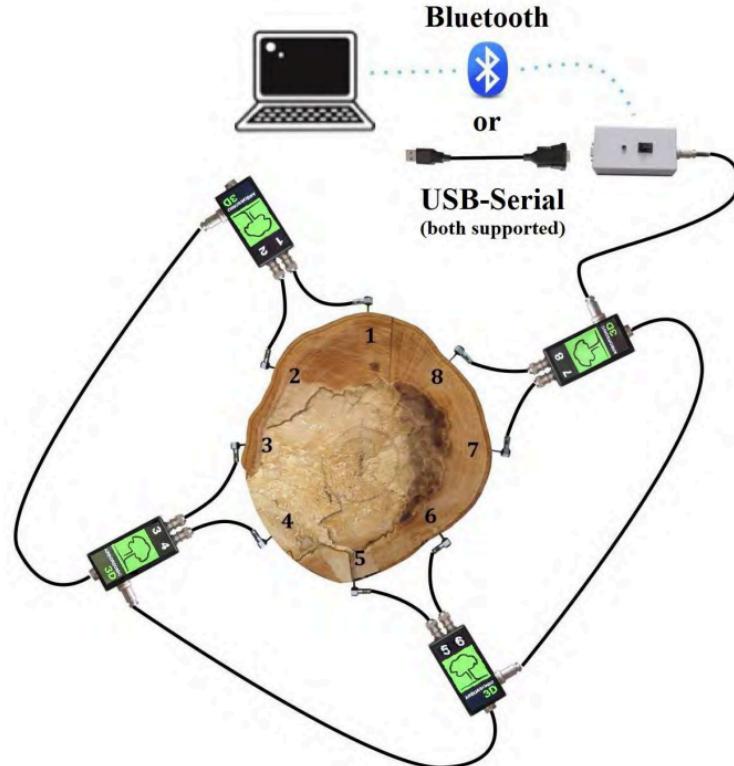


Gambar 2.2.10 Prinsip Pengukuran ACT [23]

Setup Hardware [23]

1. Masukkan Sensor ke dalam batang pohon, tegak lurus dengan arah pertumbuhan secara berlawanan arah jarum jam.
2. Hubungkan Sensor ke kotak Amplifier.

3. Hubungkan Amplifier secara berurutan. Konektor samping dihubungkan ke konektor bawah kotak berikutnya.
4. Hubungkan Kotak Baterai ke Amplifier di salah satu ujung garis.
5. Buat koneksi kabel atau Bluetooth ke PC.



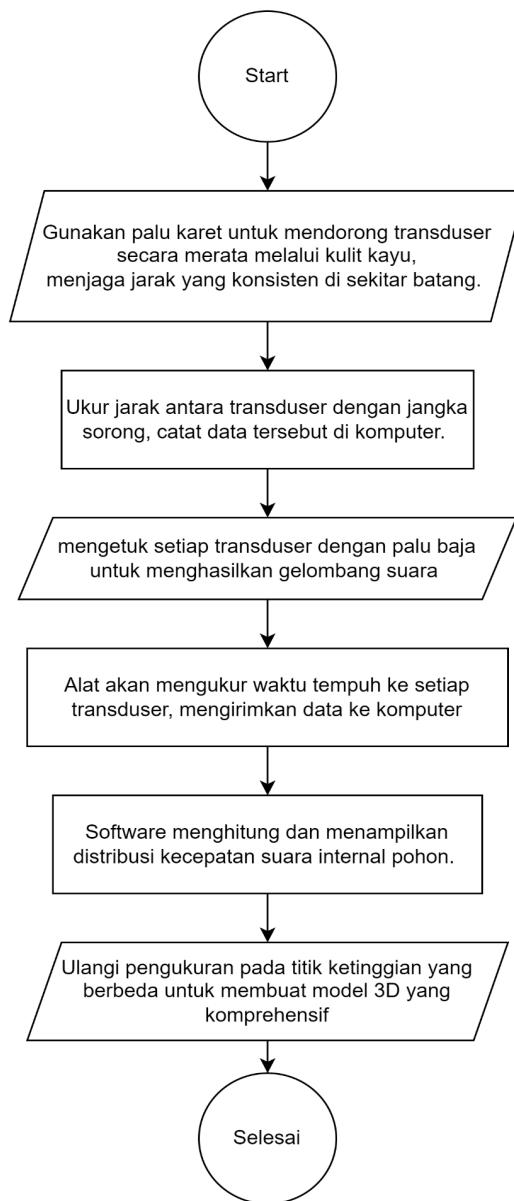
Gambar 2.2.10 Skema Pemasangan Alat [23]

Pengukuran:

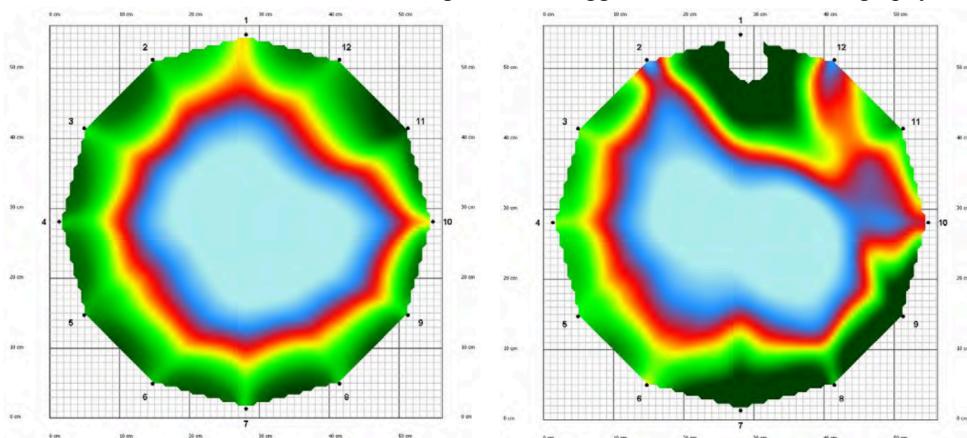
- Gunakan palu baja untuk menghasilkan pembacaan dengan mengetuk kepala sensor.
- Lepaskan penggaris sebelum mengetuk karena dapat menyebabkan korsleting akustik.
- Selalu ketuk di tengah kepala sensor searah dengan paku. Jika secara tidak sengaja mengetuk bagian samping sensor, hapus data dan ketuk lagi.
- Ketuk dengan kekuatan yang seragam. Gunakan lebih banyak tenaga untuk pohon yang lebih besar. Kekuatan ketukan tidak terlalu kritis, tetapi disarankan untuk menggunakan kekuatan yang serupa. Ketuk dengan pergelangan tangan yang longgar.
- Jangan pernah mengetuk bagian sambungan kabel dari sensor.

Berikut merupakan alur proses pengukuran yang ditampilkan melalui diagram alir gambar 2.2.11 di bawah:

Nomor Dokumen: B100-TA2324.02.004	Nomor Revisi: 04	Tanggal: 25/05/2024	Halaman 27 dari 49
-----------------------------------	------------------	---------------------	--------------------



Gambar 2.2.11 Flowchart Proses Pengukuran Menggunakan Acoustic Tomography



Gambar 2.2.12 Visualisasi Internal Batang Pohon Menggunakan Acoustic Tomography [23]

2.3 Perencanaan Pasar

2.3.1 Perkiraan Biaya

Pada bagian ini, perkiraan biaya untuk pengembangan produk dan solusi terhadap masalah yang akan diselesaikan telah dilakukan, termasuk biaya produksi (product cost) dan biaya pengembangan produk (development cost) dirincikan pada tabel 2.3.1 dan tabel 2.3.2.

Tabel 2.3.1 *Product Cost*

No.	Nama Barang	Jumlah	Harga Satuan	Total Harga
1.	SD02 Sensor Piezo	8	Rp 100.000	Rp. 800.000
2.	Kotak Amplifier	4	Rp. 250.000	Rp. 1.000.000
3.	Kotak Baterai dengan Pemancar Bluetooth	4	Rp. 450.000	Rp. 1.800.000
4.	Kabel BNC	13	Rp. 50.000	Rp. 650.000
5.	Pita pengukur pohon	1	Rp. 100.000	Rp. 100.000
6.	Palu Baja dan Karet	1	Rp. 40.000	Rp. 40.000
7.	Baterai 9 V	5	Rp. 80.000	Rp. 400.000
8.	Casing	1	Rp. 800.000	Rp. 800.000
9.	Software Mapping	1	Rp. 900.000	Rp. 900.000
10.	Komponen lain-lain		Rp. 500.000	Rp. 500.000
Total biaya				Rp. 6.990.000

Tabel 2.3.2 *Development Cost*

No.	Nama Barang	Jumlah	Harga Satuan	Total Harga
1.	Gaji Engineer (selama 6 bulan)	4 orang	Rp 6.000.000/bulan	Rp 144.000.000
2.	Biaya pengembangan software dan algoritma	1	Rp 4.000.000	Rp 4.000.000
3.	Biaya penelitian	1	Rp 2.000.000	Rp 2.000.000
Total biaya				Rp 150.000.000

Berdasarkan perhitungan, biaya yang diperlukan untuk product cost adalah sekitar Rp 6.990.000, sementara untuk development cost sebesar Rp 150.000.000. Jadi, total keseluruhan biaya yang dibutuhkan mencapai Rp 156.990.000. Untuk memastikan pembiayaan yang memadai, langkah berikutnya akan menghitung nilai yang diperlukan untuk mencapai titik balik modal atau titik break even point (BEP).

2.3.2 Analisa Finansial

Dalam upaya memenuhi kebutuhan akan teknologi yang inovatif dalam pemantauan kesehatan pohon, pengembangan alat monitoring kondisi internal batang pohon menggunakan metode acoustic tomography merupakan langkah maju yang menjanjikan. Tujuan utama dari analisis ini adalah untuk menunjukkan bahwa produk ini menguntungkan atau minimal memiliki cost/benefit ratio yang baik.

Metode yang digunakan dalam analisis finansial ini mencakup:

1. Perhitungan Biaya Produksi: Meliputi biaya pembuatan satu unit alat monitoring.
2. Perhitungan Biaya Pengembangan: Meliputi biaya penelitian, pengembangan teknologi, dan pengujian produk.
3. Perhitungan Net Present Value (NPV): Untuk menilai keuntungan bersih dari investasi.
4. Break-even Analysis: Untuk menentukan jumlah produk yang harus dijual agar mencapai titik impas.

Dalam analisis finansial ini dilakukan perhitungan untuk break even point (BEP). BEP menentukan jumlah produk yang harus dijual agar mencapai titik impas dimana laba yang didapatkan bernilai nol (kondisi tidak rugi atau tidak untung). Perlu dilakukan perhitungan untuk menentukan berapa banyak unit alat yang harus dibuat agar BEP tercapai. BEP dihitung dengan cara berikut:

$$(Harga Jual - Product Cost)X \geq (Development Cost)$$

Dengan rumusan tersebut, dapat dicari jumlah X unit yang harus diproduksi untuk mencapai BEP. Parameter pada rumusan tersebut didapatkan dari perkiraan biaya yang sudah dibuat. Diasumsikan harga jual senilai Rp25.000.000

$$\begin{aligned}(Rp\ 25.000.000 - Rp\ 6.990.000)X &\geq (Rp\ 150.000.000) \\(Rp\ 18.010.000)X &\geq (Rp\ 150.000.000) \\X &\geq 8,33\end{aligned}$$

Dilihat dari hasil perhitungan tersebut didapatkan bahwa untuk mencapai BEP perlu memproduksi alat minimal sebanyak 9 Unit. Diasumsikan bahwa alat ini terjual sebanyak 15 unit dalam setahun maka perhitungan untuk Net Present Value (NPV) untuk 3 tahun pertama sebagai berikut:

$$NPV = A_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -150.000.000 + \sum_{t=1}^3 \frac{15 \times 18.010.000}{(1+0.25)^t}$$

Dengan:

Ao = Production Cost

n = tahun

Ft = net cash flow

k = persentase keuntungan bersih (diasumsikan 25%)

Nomor Dokumen: B100-TA2324.02.004	Nomor Revisi: 04	Tanggal: 25/05/2024	Halaman 30 dari 49
-----------------------------------	------------------	---------------------	--------------------

Berikut rincian hasil perhitungan NPV dalam kurun waktu 3 tahun pertama dapat dilihat pada tabel 2.3.3 :

Tabel 2.3.3 Perhitungan NPV dalam kurun waktu 3 tahun pertama

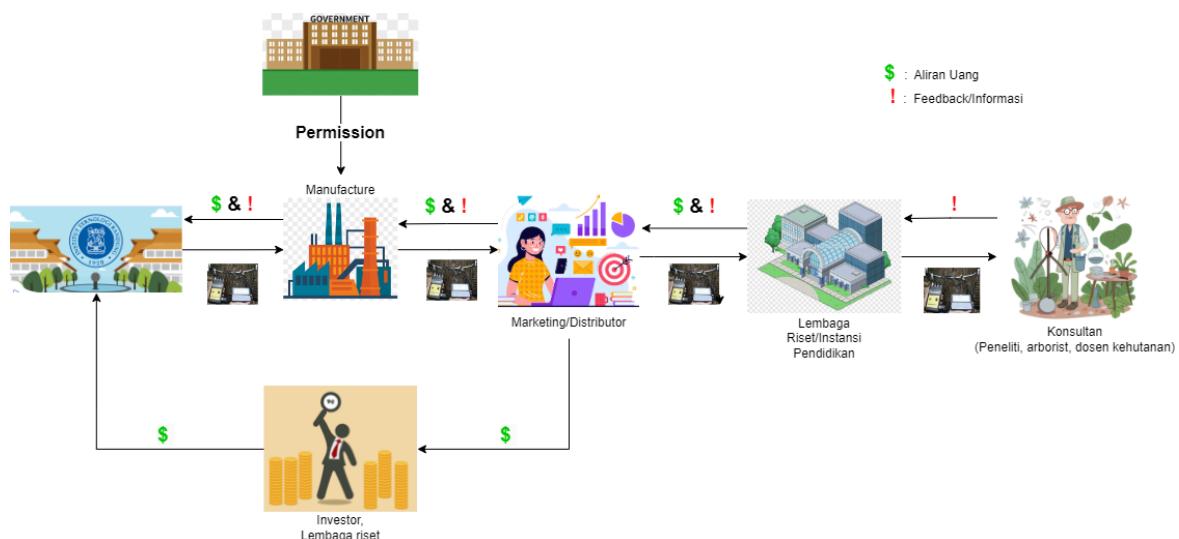
Periode	Net Present Value (NPV)
Masa investasi	- Rp 150.000.000
Tahun ke-1	Rp 66.120.000
Tahun ke-2	Rp 239.016.000
Tahun ke-3	Rp 377.332.800

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh hasil sebagai berikut:

- Biaya Produksi: Rp 6.990.000 per unit.
- Biaya Pengembangan: Rp 150.000.000.
- Harga Penjualan: Rp 25.000.000 per unit.
- NPV: Positif, menunjukkan bahwa proyek ini menghasilkan keuntungan.
- Break-even Point: Jumlah produk yang harus dijual untuk mencapai titik impas adalah sekitar 9 unit.

Analisis finansial ini menunjukkan bahwa pengembangan alat pendekripsi kondisi internal batang pohon dengan metode acoustic tomography memiliki potensi yang sangat baik dalam menghasilkan keuntungan.

2.3.3 Model Bisnis



Gambar 2.3 Skema Value Chain Analysis

Alat monitoring kondisi internal batang pohon ditargetkan kepada para konsultan (peneliti pohon, arborist, dosen kehutanan). Dengan harga jual yang terjangkau, alat ini dapat membantu konsultan untuk melakukan pengecekan pada internal batang pohon dengan cepat dan akurat, tanpa perlu melakukan pemeriksaan fisik yang rumit. Pendanaan pengembangan produk dapat berasal dari sumber-sumber seperti dana riset dari lembaga riset dan universitas, hibah pemerintah untuk proyek-proyek lingkungan, atau investasi dari perusahaan-perusahaan yang tertarik pada teknologi pemantauan lingkungan.

Pengembangan dan produksi lanjutan untuk menciptakan produk yang mudah digunakan, akurat, dan dapat memberikan informasi yang bermanfaat tentang kesehatan pohon. Fitur-fitur tambahan seperti kemampuan penyimpanan data, analisis data secara real-time, dan kemudahan integrasi dengan sistem pemantauan lainnya ditambahkan untuk meningkatkan nilai produk. Produksi alat dapat dilakukan oleh pabrikan elektronik atau perusahaan manufaktur yang memiliki kemampuan untuk menghasilkan komponen dan merakitnya sesuai dengan standar kualitas yang ditetapkan. Perizinan dan sertifikasi produk akan menjadi tanggung jawab pengembang untuk memastikan bahwa alat monitoring kondisi internal batang pohon memenuhi standar keamanan dan lingkungan yang berlaku. Tim pemasaran/marketing mengidentifikasi target pasar potensial dan menyampaikan pesan yang menekankan manfaat alat monitoring bagi pelanggan. Kerjasama dengan lembaga-lembaga riset dan organisasi lingkungan dapat membantu dalam mengidentifikasi peluang pasar dan memperluas jaringan distribusi.

2.4 Kesimpulan dan Ringkasan

Dari pemaparan sebelumnya diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

- Para peneliti pohon di Indonesia masih menggunakan metode visual assessment dan Forest Health Monitoring (FHM) dalam melakukan pengecekan kesehatan pohon. Namun, melalui metode tersebut, kondisi internal batang tidak dapat diamati secara langsung. Instrumen yang sudah ada harganya sangat mahal dan tidak selalu tersedia bagi peneliti pohon yang memiliki anggaran terbatas.
- Dibutuhkan suatu alat yang dapat mengetahui kondisi internal batang pohon secara akurat tanpa merusak pohon (non-destruktif) dengan harga terjangkau.
- Acoustic Tomography merupakan solusi yang terpilih. Acoustic Tomography pada batang didasarkan pada perubahan kecepatan suara di material yang berbeda. Kecepatan dari sinyal suara diukur dan berubah tergantung kondisi pelapukan di material kayu.
- Perkiraan biaya untuk mengembangkan produk ini adalah Rp 150.000.000. Sedangkan perkiraan biaya untuk memproduksi produk adalah Rp.6.990.000. Maka total perkiraan biaya untuk memproduksi produk adalah Rp 156.990.000.
- Alat untuk mengetahui kondisi internal batang pohon ditargetkan kepada para konsultan (peneliti pohon, arborist, dosen kehutanan). Kerjasama dengan lembaga-lembaga riset dan organisasi lingkungan dapat membantu dalam mengidentifikasi peluang pasar dan memperluas jaringan distribusi.

3 Lampiran

Wawancara Dosen SITH-R Kehutanan ITB (Pak Yayat)



Lampiran foto wawancara dengan Dr. Yayat Hidayat, S.Hut., M.Si.

Hari, Tanggal : Kamis, 28 Februari 2024

Narasumber : Dr. Yayat Hidayat, S.Hut., M.Si.

Rekap hasil wawancara bersama Pak Yayat

Di kampus Jatinangor, terdapat pohon Kiacret yang ditanam pada tahun 2018. Diameternya 60 cm. Pohon tersebut roboh karena angin puting beliung. Ketika dilakukan pengecekan terhadap pohon yang tumbang tersebut, main root (akar tunjang) dari pohon ternyata tidak ada. Yang ada hanyalah akar lateral yang baru. Ketika awal ditanam, pohon tersebut sudah berukuran besar dengan ukuran 2 meter dengan diameter 10 cm. Masalah yang terjadi ada dari sisi penanaman yang terlalu dangkal dan tidak benar (menggunakan teknik root ball), sehingga pertumbuhan akar mekanik kurang kuat.

Ketika terjadi pohon tumbang di ITB 2 minggu lalu, penyebab utamanya adalah adanya drainase sehingga perakaran pohon terganggu dan roboh. Ketika dicek dari luar tidak ada masalah, tapi ada kelemahan karena masalah tidak kasat mata karena akar tidak kelihatan. Ada juga gerowong di batang (kopong) sebesar 3 meter. ITB harusnya sudah memiliki SOP monitoring kesehatan pohon. Berdasarkan apa yang pernah didengar oleh Pak Yayat melalui Pak Ginting, salah satu petugas K3L, SDM dari K3L tidak ada yang benar-benar mengerti

mengenai pohon. Sehingga monitoring kesehatan pohon susah dilakukan karena tiap individu akan susah menilai karena penebangan pohon merupakan hal yang sensitif tetapi jika dibiarkan akan berbahaya. Kelemahan metode visual tree assessment adalah tidak bisa mendeteksi bagian dalam dari pohon.

Di pasaran, basis dasar pengukuran alat monitoring kesehatan pohon adalah dengan menggunakan getaran (resistograph), dan bunyi akustik (acoustic detection). Untuk saat ini, penggunaan gelombang (elektromagnetik) tidak banyak, kecuali oleh orang-orang dari prodi perminyakan. Alat yang ada masih sangat mahal, seperti PICUS. Ada 3 yang masuk ke indonesia, sensor akustik 24 mendeteksi akar dan batang. Biayanya mahal sekitar 600 juta sampai 800 juta. Perguruan Tinggi yang memiliki alat tersebut di Indonesia adalah IPB, yaitu Arbotom. Sementara beberapa yang lain menggunakan Fakopp. Produksi alat-alat monitoring kesehatan pohon juga dilakukan oleh mahasiswa dengan skala kecil sehingga tetap mahal.

Di luar negeri, tepatnya di Jerman, ada komunitas Arborist pemerhati domestikasi pohon di kota. Registrasi pohon dilakukan oleh komunitas tersebut. Masyarakat Arborist kultur Indonesia baru ada sejak tahun 2020. Di Bandung, hanya terdapat Pak Yayat saja. Dinas pemeliharaan pohon sempat datang ke pak Yayat untuk meminjam alat tetapi ITB tidak punya. Pak Yayat berharap agar kelompok TA dapat menghasilkan alat yang lebih murah. Chainsaw man tukang potong kayu, tidak semua pohon ditebang, kontraknya per batang yang roboh. Kalo batang yang roboh tidak lapuk, dianulir. Secara prinsip sebenarnya sama.

Pak Yayat mengajar Forest Health Monitoring, ada SOP yang dipelajari dan dikembangkan. Secara garis besar deteksi kesehatan akar batang daun pohon, bisa dilakukan secara langsung dengan visualisasi. Hal yang dilihat adalah symptoms atau gejala, seperti daun yang menguning meskipun sumber dari akar. Itu bisa ditangkap melalui sensor. Daun yang menguning dapat menyebabkan pohon kekurangan Nitrogen, bisa terlihat seperti terbakar di tepi ternyata akarnya terserang ganoderma, jadi bisa dilihat korelasi tapi semuanya berdasarkan deduksi.

Akar, selain memiliki fungsi mekanik juga berguna sebagai penopang yang membagi tekanan di atas sehingga bisa berdiri selama dalam range yg dianggapnya. Nama ilmunya adalah biomekanik. Ada fungsi non-mekanik atau ekofisiologis dimana proses metabolisme bisa menyerap air dari bawah ke atas. Kita, manusia tidak dapat melihat air, tetapi sensor flowmeter dapat mendeteksi aliran air. Jika pola aliran air berbeda dengan normal maka flowmeter akan mendeteksi hal tersebut, sehingga didapatkan bahwa ternyata akar bermasalah.

Acoustic detection memiliki kelemahan. Kalau pohon lurus maka pengecekan mudah dilakukan, tetapi jika pohon bercabang banyak akan sulit karena harus memasang sensor berkali-kali. Operatornya juga akhirnya harus bisa manjat. Arborist lah yang biasanya melakukan pemetaan terhadap hal tersebut. Kalau ada alat yang lebih canggih seperti hanya men-jepret foto bisa lebih enak, seperti roentgen.

Pengukuran resistograph itu dilakukan dengan getaran. Ada jarum bor kecil, ketika dimasukkan ke pohon bisa memberikan hasil deteksi kesehatan pohon. Alat tersebut lebih murah dengan harga sekitar 400 juta, hanya saja visualisasi 3 dimensi tidak dapat dilakukan karena sensor

hanya ada 1. Kelebihan dari alat ini adalah dapat mendeteksi kayu-kayu di dalam bangunan yang melintang. Semuanya tetap ada angka konversi. Di Eropa pohonnya sedikit jadi errornya biasa sudah tahu dari angka.

No.	Pertanyaan	Jawaban
1.	Pengecekan kondisi akar berdasarkan ciri-ciri biologis untuk saat ini seperti apa? Dan minta dijelaskan alat yang sudah ada.	Belum ada, biasanya visual. Biasanya rayap, cenawan, ganoderma. Ada tanda2 di perubahan di daun dan di batang. Kalau alat biologis jarang. Alat seperti flowmeter baru keluar diatas tahun 2018.
2.	Bagian akar yang paling sering rusak atau terserang penyakit, pangkal atau tengah2? Akar tunggang atau akar serabut? Kira2 deteksi kondisi sampai ujung akar itu diperlukan atau tidak?	Untuk menopang pohon/kekuatan akar tunjang dan primary. Yang cepat rusak itu akar tersier yang mengambil air dan hara, tetapi regenerasinya cepat. Akar tunjang tidak mengambil hara. Jadi yang rusak/menyebabkan tumbang biasanya kalau mendekati pangkal tanah. Ketika membeli pohon yang sudah jadi, jika penanaman tidak baik takutnya main root tidak akan tumbuh. Tetapi, jika penanaman yang dilakukan benar mungkin main root malah menjadi trisula karena ada akar main root tumbuh kembali.
3.	Untuk yang kemarin di g-form bapak sempat mengisi jawaban mengenai lama waktu pengecekan, yaitu jam tergantung kondisi pohnnya. Kira-kira kondisi seperti apa yang bapak maksud?	Ukuran diameter karena menggunakan reseptor sensor (acoustic). Setting baterai rata2 1-2 jam.
4.	Dalam pembuatan alat monitoring kesehatan pohon, prioritas apa yang bapak miliki? Mungkin nanti bisa langsung mengisi g-form yang sudah dikirim oleh Mas Bayu.	Oke. Nanti saya isi.

5.	<p>Pohon yang dilakukan pengecekan dengan metode resistograph apakah mampu untuk melakukan regenerasi ulang (pemulihan diri) setelah dibor? Kira-kira apakah ada dampak terhadap fungsi batang/akarnya?</p>	<p>Bor-an paku bisa menutup kembali dan regenerasi yang terjadi cepat. Bolongnya sebesar diameter pulpen.</p>
----	---	---

Wawancara DPKP



Lampiran foto wawancara dengan Bapak Asep Suryana, Ka UPT Penghijauan DPKP

Hari, Tanggal : Selasa, 20 Februari 2024

Narasumber : Bapak Asep Suryana (Ka UPT Penghijauan DPKP)

List pertanyaan wawancara :

No.	Pertanyaan	Jawaban
1.	<p>Apakah petugas DPKP Kota Bandung melakukan pemantauan dan pengecekan pohon (berkayu) cara rutin di</p>	<p>Pengecekan dan pemeliharaan dilakukan setiap hari secara rutin. Contohnya memperhatikan ranting kering yang berbahaya bagi pengguna jalan. Seringnya, kejatuhan bagian ini tidak dapat diprediksi. Terkadang bagian yang masih segar juga suka patah karena hama penggerek batang, sehingga batang menjadi keropos dan mudah patah ketika terkena angin.</p>

	wilayah Kota Bandung?	Identifikasi tentang penyakit atau kondisi pohon pohon harus menggunakan jasa konsultan.
2.	Jenis pohon apa saja yang banyak ditanam dan dilakukan pengawasan?	<p>Mahoni, trembesi, flamboyan, angsana, dan kiacret.</p> <p>Di Kota Bandung, kebanyakan pohon tumbang diakibatkan oleh kondisi akar yang tidak baik. Dalam beberapa scenario, infrastruktur seperti saluran air diperlukan , di sisi lain infrastruktur untuk penghijauan Kota Bandung juga sangat diperlukan. Tidak mau saling menyalahkan tu salahnya dimana. Topoksikitas selaku penghijauan kota bandung untuk membangun infrastruktur jalan. Ketika pembangunan drainase dari pihak dinas harusnya menyarankan pihak untuk koordinasi ke dinas terkait. <i>Pokoknya masalahnya kebanyakan masalah akar pohon karena ketika menghalangi pembangunan, akarnya akan dipotong – sehingga saat pohon tumbuh besar akan mudah untuk tumbang.</i> Karena akar menjadi tumpuan pohon dan jika tidak tidak diatasi (diobati) kena bahan kimia, bakteri, dll bisa jadi busuk dan kekuatan akar tidak ada. Di waktu hujan berat pohon jadi 2x lebih besar, kalo daun jadi lebat dan batang membesar juga jadi gampang tumbang.</p> <p>Selama ini masih belum ada alat pendekripsi akar. Cth kasus: sekitar akhir 2022, puting beliung terjadi di jalan Maulana Yusuf, dari kasat mata pohon terlihat segar dan tidak akan tumbang. Diameter batang 1.5 meter. Pohon tersebut roboh menimpa rumah, pagar, dan mobil. Yang punya mobilnya tidak masalah, tapi yang punya rumah marah. Intinya: masih belum bisa dicek dari luar sehingga menyebabkan musibah. Mau bisa menerawang ke dalam tanah biar bisa prediksi kondisi akar. Kemungkinan ketika menanam pohon trembesi, proporsi pertumbuhan akar dan batang tidak sesuai . Batangnya jauh lebih besar. Si bapak berharap pembuatan alat berhasil.</p> <p>Masalah spt benalu susah untuk diatasi.</p> <p>DPKP hanya memiliki tim yang kira-kira (hanya) berjumlah 8 orang untuk pelayanan masyarakat untuk pemangkas pohon. Untuk penambangan jarang dilakukan, karena pohon penting untuk semuanya.</p>
3.	Jenis pohon apa yang paling sering tumbang dalam waktu 5 tahun ke belakang?	<p>Trembesi, kiacret, flamboyan, mahoni.</p> <p>Saran bapaknya, kalo segi pertumbuhan patah dahan tidak akan menyebabkan pohon patah. Tumbang biasanya dari akar. Saran</p>

		bapaknya deteksi bagaimana kondisi akar. Efeknya paling besar juga. Benalu merusak batang bisa buat tiba2 jatuh.
4.	Apa penyebab pohon tumbang yang paling sering terjadi?	Pembusukan akar.
5.	Metode apa yang digunakan dalam melakukan pemantauan dan pengecekan kondisi pohon?	Masih melakukan metode visual karena belum mempunyai alat dan tenaga ahli. Bapaknya Sarjana Agronomi. Kerja sama dengan konsultan.
6.	Parameter apa saja yang digunakan untuk menentukan pohon itu sehat atau tidak (rawan tumbang)?	Dari kasat mata seperti, ketika pohon terlalu rimbun maka dicek mana yang harus diamankan. Kebanyakan DPKP mengecek berdasarkan permohonan masyarakat. Itu juga tidak bisa semua ditangani, karena UPT melakukan pengecekan untuk seluruh wilayah yuridiksi Bandung. Setiap hari bisa ada 15 surat permohonan. Untuk sekarang masih kekurangan SDM seperti kekurangan ahli biologi dan survey. Tiap tahun selalu ada anggaran meng-hire konsultan untuk melakukan kajian.
7.	Berapa lama waktu yang diperlukan untuk melakukan metode pengamatan visual?	Lihat jenis pohon -> cek yang terlihat membahayakan -> selesai. Jadi cepat tetapi tetap tidak bisa sembarang untuk memangkas karena harus memperhatikan estetika agar tidak terlihat jelek.
8.	Apakah dilakukan oleh petugas dengan keahlian khusus (SDM)?	Paling tinggi SDM (koordinator lapangan/korlap) setingkat SMA. Secara ilmu dalam tumbuhan hanya bisa mengamati secara visual. Karena di lapangan harus menghadapi resiko. Penebangan pohon memerlukan antisipasi untuk keselamatan lingkungan Kota Bandung. Hilang satu seharusnya bisa ditumbuhkan seratus pohon lagi. Biaya bibit pohon untuk di jakarta, paling ada 20 pohon tapi diameter pohnnya lebar. Kalo di bandung diameter 3cm. Untuk mahoni ukuran 15cm - 20cm. Harganya tidak jauh dari 2jt-3jt. Untuk menumbuhkan bibit kecil spt itu resikonya besar. Dibiarkan dulu agar

		agar barunya tumbuh makanya resikonya tinggi. Harga pohon dibuat mahal untuk menekan org yg mau nebang pohon.
9.	Apa yang menjadi kendala atau kekurangan dalam metode pengamatan visual?	<p>Kendala SDM tidak ada secara ilmiah, tidak pasti pengecekan pohonnya karena lulusan SD juga bisa tau. Kendala utama tidak bisa melihat posisi dan kondisi akar. Tapi kalau pohon berada di dekat drainase, itu bisa menjadi pemicu karena akar tidak bisa tumbuh sekeliling tanah.</p> <p>Kalo tidak ada penyebabnya tiba2 tumbang, kemungkinan pohnnya sakit.</p>
10.	Apakah setiap kondisi pohon (baik kondisi sehat atau sudah tumbang) dilakukan pencatatan dan diolah dalam bentuk data?	Ada, boleh minta data juga. Data pohon tumbang, data penghijauan. Tapi datanya privasi, tidak untuk disebarluaskan
11.	Diolah dalam bentuk apa data pencatatan pohon?	Secara manual, diketik. Hari ini ada tumbang, habis itu diketik. Data yang diarsipkan hanya digunakan oleh lingkup DPKP sebagai bentuk laporan ke Walikota. Sebagai evaluasi juga untuk menanam kembali.
12.	Harapan ke depan butuh data dimasukkan ke database tidak?	<p>Boleh kalau dimasukkan kedalam sebuah web. Selama ini masih dalam bentuk sheet atau tabel word.</p> <p>Proses pendataan dari konsultan untuk kajian butuh waktu sekitar 3 bulan. Dulu juga dia lulusan ITB.</p>
13.	Kondisi apa yang diharapkan kedepan dalam membantu memudahkan pemantauan dan pengecekan kondisi pohon?	<p>Alat yang bisa mendeteksi kondisi akar. Kerusakan batang juga belum ada alatnya, sehingga mereka tidak mengetahui apabila batang pohon dalamnya sudah busuk ataupun tidak memiliki kambium lagi. Untuk alat, masalah harga belum ada batasan, dan kalau ada akan dianggarkan dan dilakukan penjualan secara resmi. Yang penting alatnya ada terlebih dahulu, lalu nanti diskusi mengenai harga. Yang penting fungsi. Ini untuk masyarakat juga karena pohon banyak manfaat dalam menghasilkan oksigen.</p> <p>Kalo alat deteksi tinggi pohon sudah ada.</p>

Wawancara K3L ITB

Hari, Tanggal : Selasa, 13 februari 2024

Narasumber : Bapak Taryono (Petugas K3L ITB)

List pertanyaan wawancara :

No.	Pertanyaan	Jawaban
1.	Bagaimana prosedur dan metode pengecekan dari K3L berkaitan dengan monitoring kesehatan pohon di ITB?	Pada masa rektor sebelum sekarang, pimpinan ITB menunjuk tim ahli dari fakultas SITH (Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati) melalui surat tugas untuk membantu K3L dalam memonitoring Kesehatan pohon di lingkungan ITB. Lingkungan tersebut meliputi seluruh wilayah yang berada di bawah pengurusan ITB termasuk yang di area Boscha. Pada saat ini, surat tersebut tidak diperpanjang lagi. Namun pada pelaksanaannya K3L masih tetap berkoordinasi dengan tim tersebut dalam memonitoring kondisi pohon. Beberapa bangunan/pohon ITB berkaitan dengan sejarah, jadi harus hati2
2.	Jenis pohon apa yang paling banyak di monitoring?	Dari petugas K3L paling sering melakukan Inspeksi dan indikasi pohon damar di ITB. Hal ini dikarenakan pohon damar yang berada di ITB sudah banyak yang tinggi dan juga pada kejadian terakhir terjadi pohon damar yang tumbang yang tingginya diprediksi mencapai 32 meter. Dari hasil investigasi tim dan ahli, penyebab tumbang pohon tersebut karena keropos dan kemudian terkena sambaran petir sehingga pohon terbakar dan tumbang secara perlahan. Saat itu di jalan II, ada puluhan pohon damar yang tinggi dan beberapa dari pohon tersebut ada yang direkomendasikan untuk eksekusi. Namun dari pengamatan tim K3L jika pohon damar dipotong atau dipangkas, maka pohon tersebut akan kering dan akhirnya mati.
3.	Bagaimana Kondisi pohon di ITB saat ini?	Kondisi pohon di ITB sudah banyak berusia tua yang kemungkinan rata-rata di atas 30 tahun. Padahal menurut para ahli menyampaikan bahwa setiap pohon ada batas usianya. Jika pohon telah mencapai usianya yang tua maka pohon tersebut memiliki resiko untuk busuk, rapuh dan tumbang. K3L sudah memiliki catatan dan sudah disampaikan ke pimpinan. Namun karena pertimbangan sejarah dari pohon tersebut maka pohon tidak di tebang.
4.	Apakah ada peralatan khusus dalam	Untuk peralatan tim K3L tidak punya sama sekali. Dari tim ahli pun juga belum ada metode atau analisis khusus untuk menentukan pohon itu keropos atau tidak. Sementara ini tim hanya menentukan

	memonitoring Kesehatan pohon?	berdasarkan pengamatan visual. Pengamatan tersebut dilihat dari kondisi akar dan posisi pohon yang miring atau masih tegak. Dalam menentukan penebangan pohon, selain dari sisi histori juga dari sisi jumlah total tersedianya pohon tersebut di ITB jika kondisinya langka maka tidak akan ditebang. Namun jika secara kondisi sudah mengancam keselamatan para civitas ITB, maka pohon akan langsung ditebang.
5.	Apakah ada jadwal rutin untuk monitoring dan inspeksi pohon?	Monitoring dan inspeksi kondisi pohon selalu dilakukan pada saat hari libur mahasiswa (setiap libur semester) agar tidak mengganggu kegiatan perkuliahan karena suara bising. Namun terkadang tiap sabtu minggu ada kegiatan pemangkasan ringan.
6.	Apakah monitoring pohon dilakukan secara keseluruhan atau hanya sebagian?	Untuk monitoring tidak secara detail seluruh pohon di cek satu per satu melainkan hanya pohon yang berada pada ruang publik dan banyak diakses oleh civitas seperti pada jalan dan bangunan vital. Untuk pohon yang berada di tengah lapang tidak di inspeksi secara detail jika secara visual tidak membahayakan.
7.	Dari data pohon tumbang yang tercatat, bagian pohon manakah yang sering menyebabkan tumbang? batang keropos atau akar keropos?	Dari data yang tercatat tidak ada pohon tumbang yang disebabkan karena akar.
8.	Jika batang pohon terlihat bagus, apakah mungkin pada bagian akar keropos?	Sangat mungkin hal ini seperti yang terjadi di wilayah fakultas fisika, batang bagus tapi akar terlihat keropos dan kondisi sudah miring ke gedung. Akhirnya pohon itu ditebang walaupun ada latar belakang sejarah. Namun ke depannya K3L membutuhkan tim ahli yang kompeten yang mampu merekomendasi bahwa pohon itu layak di tebang atau tidak.
9.	Berapa lama durasi waktu	Untuk memutuskan tebang atau tidaknya secara pribadi dapat dilakukan secara cepat melalui pengamatan visual. Namun harus tetap

	dalam menentukan Kesehatan pohon layak di tebang atau tidak?	di koordinasikan dengan atasan karena berkaitan dengan sejarah pohon dan jenis tanaman langka.
10.	Apakah saat ini kendalanya adalah membutuhkan alasan yang kuat untuk mendapat izin eksekusinya?	Untuk beberapa pohon tertentu memang membutuhkan alasan yang kuat agar dapat dilakukan eksekusi karena memiliki faktor sejarah seperti pohon damar. Selain itu juga proses yang dilalui untuk mendapat izin memangkas pohon terlalu lama.
11.	Apa kondisi ideal yang diharapkan tim K3L ke depan dalam melakukan monitoring Kesehatan pohon di ITB?	Diharapkan ke depan ada peralatan khusus yang membantu untuk mendeteksi kondisi pohon baik dalam maupun luar seperti kekeroposan di dalam batang. Peralatan tersebut dapat seperti detector logam pada bangunan yang mampu mendeteksi ada atau tidaknya logam dalam sebuah bangunan beton. Kemudian K3L sebagai eksekutor terkendala dari regulasi yang ada seperti kebijakan-kebijakan khusus yang memperlambat eksekusi. Diharapkan ada aturan seperti UGM bahwa ada aturan batas ketinggian maksimal dari pohon yang ditanam.

Link rekaman saat wawancara : [Rekaman Wawancara K3L ITB](#)

DATA PERAWATAN POHON K3L

No	Bulan	Data Perawatan Pohon 2022		Pohon Tumbang atau Patah	
		Perawatan Pohon			
		Pemangkasan	Penebangan		
1	Januari	4	1	2	
2	Februari	2	2	—	
3	Maret	1	—	—	
4	April	19	1	—	
5	Mei	4	—	—	
6	Juni	9	1	1	
7	Juli	8	—	—	
8	Agustus	4	3	—	
9	September	3	5	—	
10	Oktober	6	2	—	
11	November	10	—	1	
12	Desember	8	1	1	
	Jumlah	78	16	5	

No	Bulan	Data Perawatan Pohon 2023		Pohon Tumbang atau Patah
		Pemangkasan	Penebangan	
1	Januari	4	—	—
2	Februari	4	1	—
3	Maret	5	1	—
4	April	3	4	1
5	Mei	5	5	—
6	Juni	5	5	1
7	Juli	10	4	1
8	Agustus	12	3	1
9	September	10	2	—
10	Oktober	8	—	—
11	November	9	1	1
12	Desember	11	2	1
	Jumlah	86	28	6

CV 1

Personal Information

Full Name : Tifany Saulina Nababan
Gender : Female
Birth Place and Date: Medan, 18 July 2001
Nationality : Indonesian
Religion : Christian
Phone Number : 081264131888
Email : tifany.nababan@gmail.com



Academic Status

University: Bandung Institute of Technology
Major : Electrical Engineering
Semester : 12

Education

Institutions	City and Province	Year
SMAN 61 Jakarta	East Jakarta, DKI	July 2005 – June 2018
Institut Teknologi Bandung	Bandung, West Java	August 2018 - present

Personal Achievements

Awards	Year	Description
Regional Elementary School Mathematics Competition	2010	1st Place
Regional Cerdas Cermat Competition	2010	1st Place

Organizational Experience

Organizations	Title	Period	Descriptions
Parade Wisuda Juli 2021	Head Staff of Content Creation	2021	Organizing social media posts and graduation template
Parade Wisuda April 2021	Staff of Content Creator	2021	Creative staff, making graduation prop
Parade Wisuda Oktober 2020	Staff	2020	

Nomor Dokumen: B100-TA2324.02.004	Nomor Revisi: 04	Tanggal: 25/05/2024	Halaman 44 dari 49
-----------------------------------	------------------	---------------------	--------------------

Techno Entrepreneur ITB	New Staff	2019	Participating in internal schedule
-------------------------	-----------	------	------------------------------------

Skills and Hobbies

- Language Skills** : Indonesian, English (Advanced), Japanese (beginner)
Computer Skills : C, Adobe Premiere Pro
Hobbies and interests : Novel reading, Music
Others : Interested in doing field projects or research.

Nomor Dokumen: B100-TA2324.02.004	Nomor Revisi: 04	Tanggal: 25/05/2024	Halaman 45 dari 49
-----------------------------------	------------------	---------------------	--------------------

CV 2

Personal Information

Full Name : Faris Jabar Nugrahadi
Gender : Male
Birth Place and Date: Cimahi, 3 March 2001
Nationality : Indonesia
Religion : Islam
Phone Number : 082127027541
Email : nugrahadifaris@gmail.com



Academic Status

University: Institut Teknologi Bandung
Major : Teknik Elektro
Semester : 10

Education

Institutions	City and Province	Year
SMAN 2 Cimahi	Cimahi, West Java	July 2016 – June 2019
Institut Teknologi Bandung	Bandung, West Java	August 2019 - present

Organizational Experience

Organizations	Title	Period	Descriptions
URO ITB (Dago Hoogeschool)	Mechanic	2020	Doing component 3d model in Autodesk Inventor and help for calibrating.

Skills and Hobbies

Language Skills : Indonesian (Native), English (Advanced)
Computer Skills : C, Microsoft Office, AutoCAD, Autodesk Inventor
Hobbies and interests : Game, Digital art, Plastic modeling
Others : Interested in programming.

CV 3

Personal Information

Full Name : Rani Isramiharti
Gender : Female
Birth Place and Date: Padang, June 5th 2001
Nationality : Indonesian
Religion : Islam
Phone Number : 082388543476
Email : Ranisramiharti1701@gmail.com



Academic Status

University: Bandung Institute of Technology
Major : Electrical Engineering
Semester : 8

Education

Institutions	City and Province	Year
Bandung Institute of Technology	Bandung, West Java	August 2020 - present
Bangkit Academy led by Google, Tokopedia, Gojek, & Traveloka	Indonesian-Online	August 2023 - Jan 2024

Personal Achievements

Awards	Year	Description
GAMAIS ITB Scholarship Awardee	2021 - 2022	Scholarship by GAMAIS ITB Alumni. Selected as one of the recipients from 60+ applicants Receive Living Allowance, Character Development, and Religious Mentoring
Smart Scholarship Awardee	2020-2021	Scholarship by Yayasan Baitul Mal Brilliaan BRI

Organizational Experience

Organizations	Title	Period	Descriptions
Unit Kesenian Minangkabau (UKM-ITB)	Head of the BRT division	2022 - 2023	Organized club monetary

Zoom In ITB - UKM ITB	Head of Fundraising & Sponsorship Division	2021 - 2022	Organized training sessions and competitions
Unit Robotika Institut Teknologi Bandung (URO ITB)	KRTMI Electrical Team	2021 - 2023	
Himpunan Mahasiswa Elektro ITB (HME ITB)	Head of Fundraising Division WISOKTO HME	2022	
Himpunan Mahasiswa Elektro ITB (HME ITB)	Head of Fundraising Division MBC HME	2022	

Work Experience

Work	Year	Description
Internship at PT PLN (Persero) UP2B DKI Jakarta & Banten	2023	Doing several works related to load equalization in the Bekasi13, Cibinong3 SubSystem using simulations on the Digsilent Application.
Lab Assistant in Laboratorium Dasar Teknik Elektro	2023-2024	Assistant of Electronic 1&2 Lab Work and Control System Lab Work.

Skills and Hobbies

- Language Skills** : Indonesian (Native), English (Advanced)
Computer Skills : C++, Python, PCB design, Microsoft Office
Hobbies and interests : Business, Marketing, Learning about language, leadership
Others : Interested in doing field projects or research.

Nomor Dokumen: B100-TA2324.02.004	Nomor Revisi: 04	Tanggal: 25/05/2024	Halaman 48 dari 49
-----------------------------------	------------------	---------------------	--------------------

CV 4

Personal Information

Full Name : Bayu Aji Nugroho
Gender : Male
Birth Place and Date: Magetan, 13 September 1990
Nationality : Indonesia
Religion : Islam
Phone Number : 081316251117
Email : bayunugroho.itb2021@gmail.com



Academic Status

University: Bandung Institut of Technology
Major : Electrical Engineering
Semester : 8th

Education

Institutions	City and Province	Year
SMAN 1 Maospati	Magetan, East Java	2006 – 2009
Institut Teknologi Bandung	Bandung, West Java	August 2010 - present

Organizational Experience

Organizations	Title	Period	Descriptions
SMAN 1 Maospati Student Council	Student Council Vice President	2007-2008	Student Council
SMAN 1 Maospati FORMASI	member	2006-2009	Muslim Organization

Skills and Hobbies

Language Skills : Indonesian (Native), English (Pre Intermediat)
Computer Skills : C++, PCB design, Microsoft Office
Hobbies and interests : Sports and football
Others : Interested in doing field project.