

**Pendugaan Keterkaitan antara Kerusakan Pohon
dan Faktor Keamanan Pohon**
(*Assessing Relationship between Tree Damage and Safety Factors of Trees*)

**Safira Nabawiah¹, Erianto Indra Putra^{2*}, Elis Nina Herliyana³ dan/and
Arief Noor Rachmadiyanto⁴**

¹Program Studi Silvikultur Tropika, Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Gedung Sekolah Pascasarjana IPB, Kampus IPB Darmaga Bogor 16680, safiranabawiahsafira@apps.ipb.ac.id

²Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Jl. Ulin Kampus IPB Darmaga Bogor 16680, eriantopu@apps.ipb.ac.id

³Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Jl. Ulin Kampus IPB Darmaga Bogor 16680, elishe@apps.ipb.ac.id

⁴Pusat Riset Botani Terapan, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Kawasan Sains dan Teknologi Ir. Soekarno, Jl. Raya Jakarta-Bogor Km. 46, Cibinong Bogor 16911, arie040@brin.go.

*E-mail : eriantopu@apps.ipb.ac.id

Tanggal diterima: 25 Maret 2025; Tanggal disetujui: 25 April 2025; Tanggal direvisi: 12 Mei 2025

Abstract

Trees play a vital role in maintaining ecosystem balance. Internal and external factors can damage trees, ultimately affecting their structural stability. The Bogor Botanical Garden (BBG), recognized as the oldest botanical garden in Southeast Asia, attracts many visitors daily. Tree damage caused by biotic and abiotic factors may increase the risk of hazards to visitors. Therefore, preventive measures to mitigate the risk of a fallen tree are essential. Therefore, analyzing the correlation between tree damage and safety factors is necessary to predict potential risks. Observations were conducted on trees within four clusters to determine the tree damage index, based on recorded data including location, type, and severity of damage, resulting in four categories of damage. Sixteen selected target trees were further analyzed to assess their safety factor values. The result indicated that the majority of trees were categorized as healthy. The correlation between the damage index and the safety factor was 0.6, suggesting a moderately strong relationship; however, additional influencing factors should be considered. This study recommends further research on crown density for each tree species and improvement of the Forest Health Monitoring (FHM) methodology used to estimate tree damage index values.

Keywords: *Monitoring, tree health, risk, tree stability*

Abstrak

Pohon memiliki peran penting dalam keseimbangan ekosistem. Faktor internal dan faktor eksternal dapat menyebabkan kerusakan pohon yang pada akhirnya akan mengganggu kestabilan pohon. Kebun Raya Bogor (KRB) merupakan kebun raya tertua di Asia Tenggara yang menarik banyak wisatawan setiap harinya. Kerusakan yang terjadi pada pohon akibat faktor biotik maupun abiotik dapat meningkatkan resiko ancaman pada pengunjung. Hal ini menyebabkan perlunya dilakukan tindakan pencegahan tumbang pohon, oleh karena itu perlu dilakukan analisis hubungan antara kerusakan dengan faktor keamanan pohon untuk memprediksi risiko yang dapat ditimbulkan. Pengamatan dilakukan pada pohon-pohon di empat kluster untuk menentukan nilai indeks kerusakan pohon dengan mencatat lokasi, jenis, dan tingkat keparahan kerusakan pohon yang menghasilkan empat kategori kerusakan. Enam belas pohon target digunakan untuk menganalisis nilai faktor keamanan. Hasil penelitian menunjukkan mayoritas pohon berada dalam kategori sehat. Korelasi antara nilai indeks kerusakan dengan *safety factor* menunjukkan nilai 0,6 yang berarti korelasi antara keduanya cukup kuat, namun masih ada faktor lain yang memengaruhi yang harus dipertimbangkan. Penelitian ini menyarankan agar dilakukan pengembangan penelitian kerapatan tajuk pada pohon-pohon yang lebih spesifik dan perbaikan metode *Forest Health Monitoring* yang digunakan untuk mengestimasi nilai indeks kerusakan pohon.

Kata kunci: Pemantauan, kesehatan pohon, risiko, stabilitas pohon

1. Pendahuluan

Pohon merupakan elemen penting dalam keseimbangan ekosistem karena pohon dapat mengendalikan iklim mikro. Sebagai naungan, pohon dapat mengurangi suhu udara sekitar. Hal ini secara tidak langsung juga akan mencegah pemanasan global dan perubahan iklim (Safarudin et al., 2023).

Kebun raya adalah satu dari banyak tempat dengan berbagai jenis pohon di dalamnya. Kebun raya berperan sebagai kawasan konservasi tumbuhan *ex situ* yang ditujukan untuk konservasi, penelitian, pendidikan, wisata, dan jasa lingkungan. Kebun Raya Bogor (KRB) merupakan kebun raya tertua di Asia Tenggara yang dibangun pada tahun 1817, menjadikan KRB berumur 208 tahun pada Tahun 2025.

Pada tahun 2017, pohon tertua di KRB, yaitu *Litchi chinensis* yang ditanam pada tahun 1823 tumbang karena faktor usia serta beberapa kerusakan pada bagian pohon. Kerusakan pohon dapat terjadi seiring dengan bertambahnya usia pohon, yang dapat diakibatkan faktor eksternal seperti serangan hama, penyakit atau makhluk hidup lain dan atau faktor lingkungan sekitar pohon seperti bencana alam, suhu, dan angin (Abimanyu et al., 2019). Pohon yang busuk/lapuk, cabang mati, retakan, dan akar busuk menyebabkan batang atau sebagian batang menjadi berlubang, sehingga mengurangi stabilitas pohon (Kane, 2023).

Penilaian pohon dengan metode *Forest Health Monitoring* (FHM) melihat kesehatan ekosistem hutan sebagai bagian dari keberlanjutan, metode ini mengukur indikator-indikator yang berkaitan dengan ekosistem yang sehat, keragaman struktur tegakan, ketahanan terhadap perubahan yang disebabkan oleh bencana, dan kemampuan untuk pulih kembali. Metode FHM menghasilkan keputusan yang komprehensif karena menggunakan indikator-indikator ekologis yang saling

memengaruhi satu sama lain (Putri et al., 2016). Terdapat empat indikator yang sesuai untuk hutan tropis Indonesia, yaitu produksi, biodiversitas, kualitas tapak, serta vitalitas yang dibagi menjadi dua yaitu kualitas tajuk dan kerusakan pohon (Supriyanto & Iskandar, 2018).

Biomekanika pohon merupakan salah satu pendekatan untuk menghitung faktor keamanan pohon (*safety factor*, *Sf*). Salah satu metode yang digunakan untuk menilai stabilitas pohon adalah menganalisis *Sf*, yang menggambarkan tingkat keamanan pohon dalam menghadapi beban tertentu. Hasil analisis biomekanika pohon, diharapkan dapat memprediksi risiko yang dapat disebabkan oleh sebuah pohon (Rachmadiyanto, 2024). Pada penelitian yang dilakukan Rachmadiyanto (2024), pohon berukuran besar dan tua yang ada di KRB berada pada kategori sehat dengan kerusakan ringan. Analisis biomekanika yang dilakukan menghasilkan kesimpulan bahwa pohon tersebut memiliki stabilitas yang tinggi terhadap faktor eksternal. Oleh karena itu, analisis mengenai hubungan antara tingkat kerusakan pohon dengan “*safety factor*” penting untuk mengidentifikasi lebih lanjut apakah pohon yang memiliki kerusakan juga memiliki stabilitas yang rendah.

2. Metodologi

2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada klaster 2, 3, 5, dan 6 di Kebun Raya Bogor (KRB), Bogor, Jawa Barat. Ke empat klaster dibangun berdasarkan famili pohon yang dominan didalamnya. Klaster 2 didominasi oleh famili *Dilleniaceae*, *Sapotaceae*, *Apocynaceae*, *Magnoliaceae*, dan *Rubiaceae*; klaster 3 didominasi oleh famili *Fabaceae*; klaster 5 terdiri dari berbagai macam famili dan merupakan tempat koleksi liana; dan klaster 6 didominasi oleh famili *Rutaceae*.



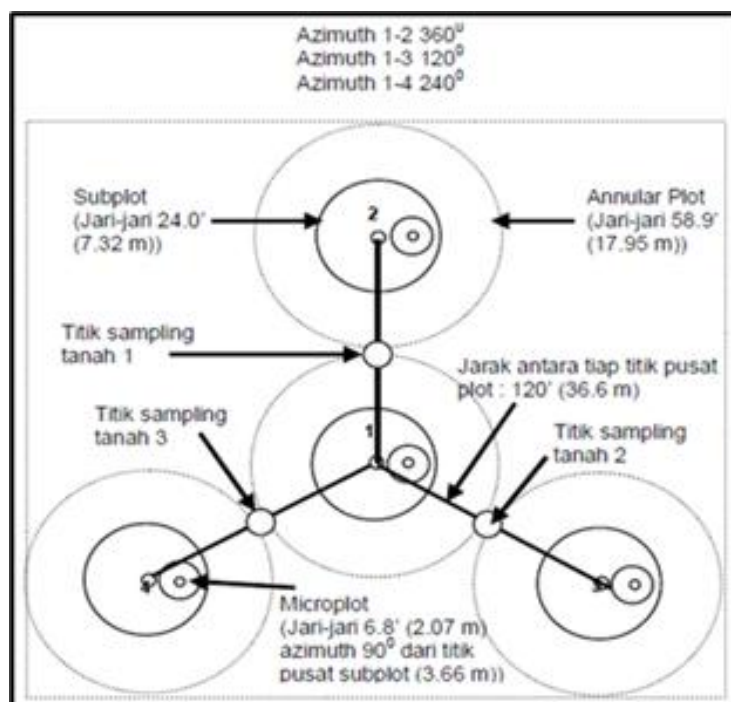
Gambar (Fig.) 1. Peta Kebun Raya Bogor dan letak kluster (*Map of Bogor Botanical Garden and the position of the clusters*)

2.2. Metode

2.2.1. Pengambilan data kerusakan pohon dengan metode Forest Health Monitoring

Kluster plot Forest Health Monitoring (FHM) terdiri dari 4 annular

plot berbentuk lingkaran berjari-jari 17,95 m yang didalamnya terdapat sub plot berjari-jari 7,32 m (Gambar 2). Pada subplot, data yang diambil adalah pada tingkat tiang dan pohon sementara pada annular plot hanya pada tingkat pohon.



Gambar (Fig.) 2. Desain kluster plot FHM (*FHM cluster-plot design*)

Data yang digunakan untuk mengetahui indikator kerusakan pohon

adalah lokasi. Lokasi yaitu menunjukkan bagian dari pohon yang mengalami

kerusakan, jenis kerusakan, dan kelas keparahan. Pengamatan lokasi pohon dilakukan pada seluruh sisi dengan kode 1-9 (Tabel 1). Jenis kerusakan disesuaikan

dengan kode yang berada pada Tabel 2. Kelas keparahan kerusakan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel (Table) 1. Kode lokasi kerusakan yang menunjukkan bagian dari pohon yang mengalami kerusakan (*Damage location code indicating the part of the tree that was damaged*)

Kode (Code)	Deskripsi (Description)
0	Tidak ada kerusakan (<i>No damage</i>)
1	Akar terbuka dan “stump” (12 inch (30 cm) di atas permukaan tanah) (<i>Exposed roots and "stump" (12 inches (30 cm) above ground level)</i>)
2	Kerusakan pada akar dan antara akar dan batang bagian bawah (<i>Damage to roots and the area between the roots and the lower trunk</i>)
3	Kerusakan pada batang bagian bawah (di bawah pertengahan antara “stump” dan dasar tajuk) (<i>Damage to the lower trunk (below the midpoint between the "stump" and the base of the canopy)</i>)
4	Kerusakan pada batang bagian bawah yang terdapat pula pada batang bagian atas (<i>Damage to the lower trunk that also affects the upper trunk</i>)
5	Kerusakan pada batang bagian atas (di atas pertengahan antara “stump” dan dasar tajuk) (<i>Damage to the upper trunk (above the midpoint between the "stump" and the base of the canopy)</i>)
6	Kerusakan pada dahan utama yang terdapat pada bagian tajuk, di atas dasar tajuk (<i>Damage to primary branches located in the canopy, above the canopy base</i>)
7	Kerusakan pada ranting (dahan-dahan kecil dan dahan lain selain dahan utama) (<i>Damage to twigs (small branches and other branches except for primary branches)</i>)
8	Kerusakan pada daun muda dan pucuk daun (<i>Damage to young leaves and leaf tips</i>)
9	Kerusakan pada tajuk (<i>Damage to the canopy</i>)

Sumber (source): Mangold (1997)

Tabel (Table) 2. Kode jenis kerusakan dan nilai ambang keparahan (*Damage type codes and severity threshold*)

Kode (Code)	Definisi (Definition)	Nilai ambang keparahan (<i>Severity threshold value</i>) (10% - 99%)
1	Kanker, gol (<i>Cancer, gall</i>)	$\geq 20\%$ dari titik pengamatan ($\geq 20\%$ from the observation point)
2	Konk, tubuh buah (badan buah), dan indikator lain tentang lapuk lanjut (<i>Conk, fruiting body (fruit body), and other indicators of advanced decay</i>)	Tidak ada, kecuali $\geq 20\%$ pada akar > 3 feet (0.91 m) dari batang (None, unless $\geq 20\%$ on roots > 3 feet (0.91 m) from the trunk)
3	Luka terbuka (<i>Open Wound</i>)	$\geq 20\%$ dari titik pengamatan ($\geq 20\%$ from the observation point)
4	Resinosis/gummosis (<i>Resinosis/gummosis</i>)	$\geq 20\%$ dari titik pengamatan ($\geq 20\%$ from the observation point)
5	Batang pecah, retak, dan terkelupas (<i>Cracked, broken, and peeling bark</i>)	Tidak ada (None)

Tabel (Table) 2. Lanjutan (Continued)

Kode (Code)	Definisi (Definition)	Nilai ambang keparahan (Severity threshold value) (10% - 99%)
6	Sarang Rayap (<i>Termite nests</i>)	≥ 20% dari titik pengamatan (≥ 20% from the observation point)
7	Liana pada batang (<i>Liana on trunk</i>)	≥ 20% dari titik pengamatan (≥ 20% from the observation point)
11	Batang atau akar patah kurang dari 3 feet (0.91 m) dari batang (<i>Broken trunk or root less than 3 feet (0.91 m) from the trunk</i>)	Tidak ada (<i>None</i>)
12	Brum pada akar atau batang (<i>Brooming on roots or trunk</i>)	Tidak ada (<i>None</i>)
13	Akar patah atau mati > 3 feet (0.91 m) dari batang (<i>Broken or dead roots > 3 feet (0.91 m) from the trunk</i>)	≥ 20% pada akar (≥ 20% on the roots)
20	Liana pada tajuk (<i>Liana in the canopy</i>)	≥ 20% dari tajuk terpengaruh (≥ 20% of the canopy affected)
21	Hilangnya ujung dominan, mati ujung (<i>Loss of apical dominance, dieback</i>)	≥ 1% pada dahan pada tajuk (≥ 1% on branches in the canopy)
22	Cabang patah atau mati (<i>Broken or dead branches</i>)	≥ 20% pada ranting atau pucuk (≥ 20% on twigs or tips)
23	Percabangan atau brum yang berlebihan (<i>Excessive branching or brooming</i>)	≥ 20% pada ranting atau pucuk (≥ 20% on twigs or tips)
24	Daun, kuncup atau tunas rusak (<i>Damaged leaves, buds, or shoots</i>)	≥ 30% dedaunan penutupan tajuk (≥ 30% of canopy leaf coverage)
25	Daun berubah warna (tidak hijau) (<i>Leaves changing color (non-green)</i>)	≥ 30% dedaunan penutupan tajuk (≥ 30% of canopy leaf coverage)
31	Lain-lain (<i>Other</i>)	-

Sumber (source): Rachmadiyanto (2024)

Tabel (Table) 3. Kode kelas keparahan kerusakan (*Severity class codes*)

Kode (Code)	Kelas keparahan (Severity class) (%)
0	01 – 09
1	10 – 19
2	20 – 29
3	30 – 39
4	40 – 49
5	50 – 59
6	60 – 69
7	70 – 79
8	80 – 89
9	90 – 99

Sumber (source): Mangold (1997)

Nilai indeks kerusakan pohon (NIK) dihitung dengan menggunakan bobot dari setiap kode lokasi (Tabel 1), kode jenis dan nilai ambang keparahan (Tabel 2) kerusakan (Tabel 2), dan kode keparahan (Tabel 3).

Perhitungan NIK menggunakan

rumus berikut:

NIK = lokasi kerusakan x tipe jenis sesuai dengan nilai ambang keparahan x kelas keparahan

Pada setiap individu pohon yang diamati, diambil tiga kerusakan terparah, sehingga diperoleh tiga NIK, yaitu NIK1

(Nilai Indeks Kerusakan pertama), NIK2 (Nilai Indeks Kerusakan kedua), dan NIK3 (Nilai Indeks Kerusakan ketiga).

Ketiga kerusakan tersebut dijumlahkan untuk menghasilkan *Tree Level Index* (TLI) sebagai berikut:

$$TLI \text{ (Tree Level Index)} = NIK1 + NIK2 +$$

NIK3

Kelas kerusakan pohon kemudian dibagi menjadi empat kelas, yaitu kelas sehat (< 5), kelas kerusakan ringan (5-9,99), kelas kerusakan sedang (10-14,99), dan kelas kerusakan berat (≥ 15) (Rachmadiyanto et al., 2021).

Tabel (Table) 4. Nilai pembobotan untuk setiap kode lokasi, kerusakan, dan tingkat keparahan (*Weighting value for location, damage type and severity codes*)

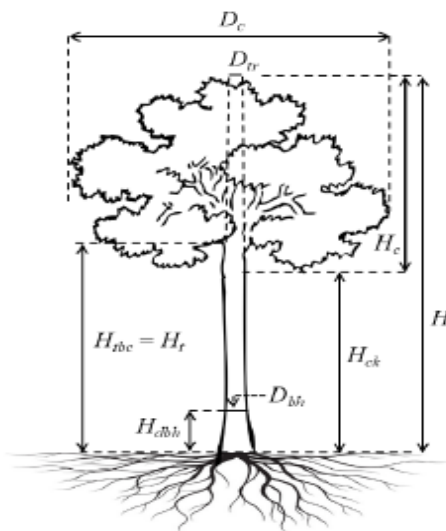
Kode lokasi (Location codes)	Nilai (Value)	Kode kerusakan (Damage type codes)	Nilai (Value)	Kode keparahan (Severity codes)	Nilai (Value)
0	0	11	2,0	1	1,1
1, 2	2,0	1	1,9	2	1,2
3, 4	1,8	2, 6	1,7	3	1,3
5	1,6	12	1,6	4	1,4
6	1,2	3, 4, 5, 13	1,5	5	1,5
7, 8, 9	1,0	7, 20, 21	1,3	6	1,6
-	-	22, 23, 24, 25, 31	1,0	7	1,7
-	-	-	-	8	1,8
-	-	-	-	9	1,9

Sumber (source): Rachmadiyanto et al. (2021)

2.2.2. Faktor keamanan (Safety factor, Sf)

Pohon sasaran dipilih berdasarkan kategori indeks kerusakan pohon dari setiap klaster. Masing-masing kategori diambil sejumlah 1 individu pohon, sehingga dari setiap klaster didapatkan 4 pohon. Total seluruh pohon sasaran adalah 16 pohon.

Visualisasi dari parameter-parameter yang diamati disajikan pada Gambar 3. Dendrometri pohon dianalisis dengan menggunakan diameter setinggi dada (D_{bh}) (m), diameter ujung (D_{tr}) (cm), tinggi total pohon (H) (m), tinggi tajuk terendah (H_{ck}) (m), diameter tajuk terpanjang (d_1) (m), diameter tajuk terpendek (d_2) (m) (Rachmadiyanto, 2024).



Gambar (Fig.) 3. Sketsa morfometri pohon (*Sketch of tree morphometry*)

Kerapatan kayu pada pohon berdiri didapatkan melalui pengujian menggunakan sampel kecil kayu yang diambil menggunakan *hollow punch*. Kerapatan kayu (gram/liter) dihitung menggunakan Persamaan 1.

$$\rho = \frac{Ba}{V} \times 1.000 \quad (1)$$

Sampel ditimbang untuk memperoleh berat awal (Ba). Volume diperoleh dengan mencelupkan sampel ke dalam gelas ukur menggunakan jarum *archimedes*. Volume air sesudah dan sebelum sampel dicelupkan dicatat dan selisihnya disebut dengan volume sampel (V) (Aini et al., 2024).

Untuk mengukur modulus elastisitas (E) dilakukan pengujian non-destruktif berbasis gelombang bunyi menggunakan alat *FAKOPP Microsecond Timer* (Kadir, 2022). Alat ini menggunakan dua *tranduser* yang ditancapkan ke batang kayu. *Tranduser*

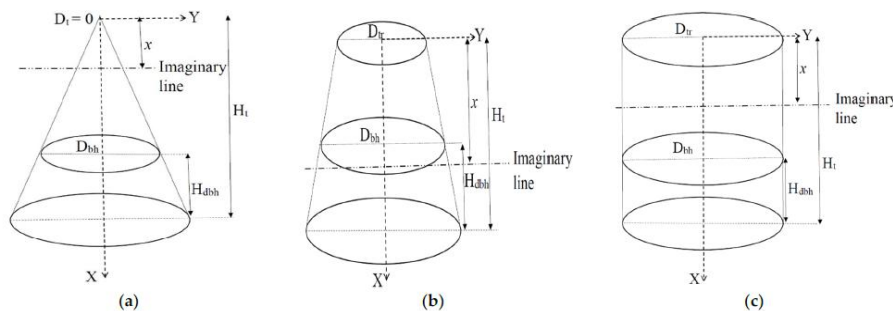
satu berjarak 80 cm di atas permukaan tanah, *tranduser* dua berjarak 1 m (s). Dilakukan 10 kali pengulangan, data yang diperoleh berupa waktu rambatan gelombang bunyi (t) yang kemudian digunakan untuk menghitung kecepatan gelombang bunyi (S_{wvT}) yang dapat dilihat pada Persamaan 2.

$$S_{wvT} = \frac{s}{t} \quad (2)$$

Diperolehnya kecepatan gelombang bunyi (S_{wvT}), dapat dihasilkan static modulus of elasticity (E_s) dengan Persamaan 3.

$$E_s = 0,004S_{wvT} - 6,127 \quad (3)$$

Menurut Kadir (2022), volume batang dapat ditentukan dengan melihat tiga bentuk geometri, yaitu kerucut ($D_{tr} = 0$), kerucut terpancung ($0 < D_{tr} < D_{bh}$), dan silinder ($D_{tr} \geq D_{bh}$) (Gambar 4).

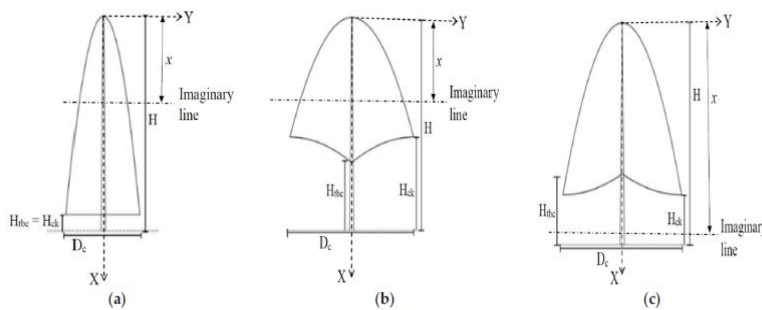


Gambar (Fig.) 4. Bentuk geometri batang pohon: (a) kerucut, (b) kerucut terpancung, (c) silinder (*Geometric shapes of tree trunks: (a) cone, (b) truncated cone, (c) cylinder*)

Penentuan volume tajuk ditentukan berdasarkan bentuk geometri pohon, yaitu model *decurent* dan model *excurrent*. Model *excurrent* adalah ketika $H_{tbc} = H_{ck}$. Bentuk geometri *deccurent* digunakan model paraboloid duo di

mana $H_{tbc} \neq H_{ck}$ (Karlinasari et al., 2023). Model paraboloid duo dibagi menjadi dua yaitu tipe I ($H_{tbc} \leq H_{ck}$) dan tipe II ($H_{tbc} > H_{ck}$) (Gambar 5).

**Pendugaan Keterkaitan antara Kerusakan Pohon dan Faktor Keamanan Pohon
(Assessing Relationship between Tree Damage and Safety Factors of Trees)
Safira Nabawiah, Erianto Indra Putra, Elis Nina Herliyana,
dan/and Arief Noor Rachmadiyanto**



Gambar (Fig.) 5. Bentuk geometri tajuk: (a) paraboloid untuk excurrent, (b) paraboloid duo tipe I, (c) Paraboloid duo tipe II (Crown geometry shape: (a) paraboloid for excurrent, (b) paraboloid duo type I (c) Paraboloid duo type II)

Untuk menentukan keseluruhan berat yang harus ditopang oleh sebuah pohon dapat menggunakan Persamaan 4 untuk berat batang dan Persamaan 5 untuk berat tajuk. Konstanta gravitasi yang digunakan adalah $9,806 \text{ m/detik}^2$.

$$P_{bx} = \rho_b g V_{bx} \quad (4)$$

$$P_{cx} = \rho_c g V_{cx} \quad (5)$$

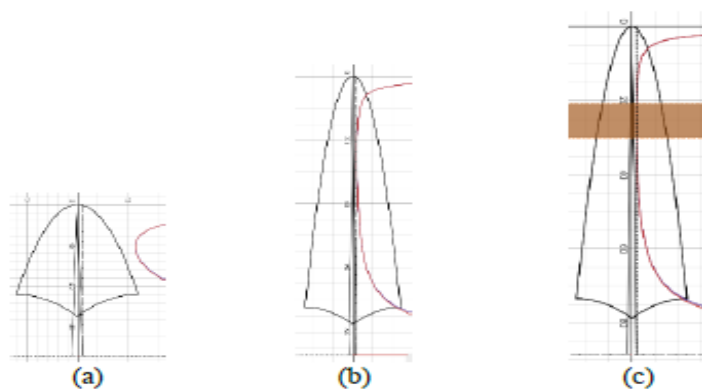
Menurut Burger (1939), untuk penentuan berat tajuk digunakan kerapatan tajuk sebesar $1,9 \text{ kg/m}^3$ yang diperoleh dari nilai rata-rata tajuk pohon cemara. Dalam penelitian ini nilai tersebut digunakan untuk semua pohon sasaran.

Data yang telah di ambil di lapangan maupun melalui perhitungan, dianalisis menggunakan *Desmos Graphic Calculator*

(<https://www.desmos.com/calculator/othn9q0gke>). Analisis tersebut menghasilkan angka tinggi tekuk kritis (H_{cr}) yang ditentukan menggunakan metode tekuk Euler ($K(x)$) dan Ylinen ($M(x)$) dengan dua kurva (Gambar 6). Perbandingan antara tinggi tekuk kritis (H_{cr}) dengan tinggi pohon sesungguhnya (H) menghasilkan faktor keselamatan (S_f) yang dapat dilihat pada persamaan 6.

$$S_f = \frac{H_{cr}}{H} \quad (6)$$

Faktor keamanan kemudian dikategorikan menjadi tidak aman ($S_f < 1,00$), aman ($1,00 < S_f < 1,645$), dan sangat aman ($1,645 < S_f$) (Karlinasari et al., 2023).



Sumber: Rachmadiyanto (2024)

Gambar (Fig.) 6. Penentuan tinggi tekuk kritis menggunakan *Desmos Graphic Calculator*: (a) ketika pohon memiliki $S_f > 1$, (b) ketika pohon memiliki $S_f = 1$, dan (c) ketika pohon memiliki $S_f < 1$ (Determination of critical buckling height using *Desmos Graphic Calculator*: (a) when the tree has $S_f > 1$, (b) when the tree has $S_f = 1$, and (c) when the tree has $S_f < 1$)

2.2.3. Analisis data

Uji korelasi *Pearson* dilakukan untuk menentukan hubungan antara nilai indeks kerusakan pohon yang dihasilkan

dari metode FHM dan nilai safety factor. Rentang nilai korelasi dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel (Table) 5. Tingkat korelasi (*Correlation level*)

Interval koefisien (<i>Correlation interval</i>)	Korelasi (<i>Correlation</i>)
0,00 – 0,20	Sangat lemah (<i>Very weak</i>)
0,21 – 0,40	Lemah (<i>Weak</i>)
0,41 – 0,70	Sedang (<i>Moderate</i>)
0,71 – 0,90	Kuat (<i>Strong</i>)
0,91 – 0,99	Sangat kuat (<i>Very strong</i>)
1	Sempurna (<i>Perfect</i>)

Sumber (*Source*): Nugroho (2005)

Korelasi *Pearson* dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$r_{xy} = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{\sqrt{(n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2)(n \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2)}}$$

Keterangan:

r_{xy} : Korelasi antara x dan y

n : Banyaknya sampel

x_i : Nilai x ke-i

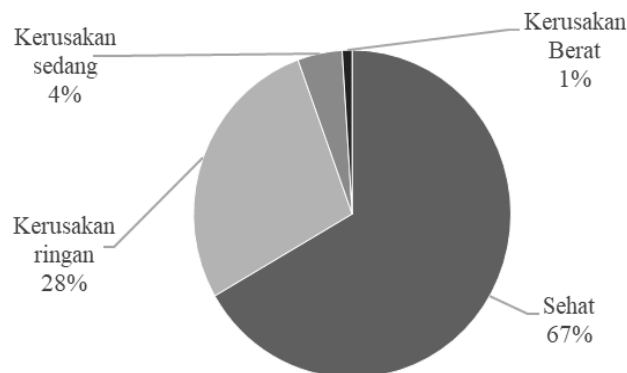
y_i : Nilai y ke-i

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil

Pemantauan kesehatan pohon dilakukan pada empat klaster dengan 198 individu pohon, Gambar 7 menunjukkan

persentase masing-masing kategori kerusakan pohon: kategori sehat sebanyak 132 pohon, rusak ringan (55 pohon), rusak sedang (9 pohon), dan rusak berat (2 pohon).



Gambar (Fig.) 7. Persentase dari kategori nilai indeks kerusakan pohon (*Percentage of tree damage index categories*)

Selanjutnya adalah mengukur dan menghitung *Safety Factor* (*Sf*) dari pohon sasaran, untuk melihat hubungan keduanya. Pohon sasaran yang digunakan tidak semua pohon yang ada di klaster, pemilihan pohon dilakukan dengan *sampling*, sebanyak 1 pohon dari setiap

kategori NIK pada setiap klaster, didapatkan 16 pohon sasaran. Pada kenyataannya, klaster 2 dan 6 tidak memiliki kategori pohon dengan kerusakan berat, sehingga pohon contoh dengan kategori tersebut dicari dari lokasi yang berdekatan dengan lokasi klaster.

**Pendugaan Keterkaitan antara Kerusakan Pohon dan Faktor Keamanan Pohon
(Assessing Relationship between Tree Damage and Safety Factors of Trees)
Safira Nabawiah, Erianto Indra Putra, Elis Nina Herliyana,
dan/and Arief Noor Rachmadiyanto**

Tabel (Table) 6. *Safety factor* pada pohon sasaran (*Safety factor of the target trees*)

No. pohon (Tree number)	Nama pohon (Tree name)	Sf	Kategori (Category)
2.2.22	<i>Dillenia ovata</i>	1,16031	Aman (Safe)
2.3.35	<i>Michelia champaca</i>	2,78302	Sangat aman (Very safe)
2.2.13	<i>Dillenia sp.</i>	1,41176	Aman (Safe)
2.4.45	<i>Magnolia pterocarpa</i>	4,06742	Sangat aman (Very safe)
3.1.6	<i>Dendrolobium umbellatum</i>	0,68639	Tidak aman (Unsafe)
3.1.4	<i>Dalbergia sp.</i>	1,71318	Sangat aman (Very safe)
3.3.22	<i>Bauhinia purpurea</i>	0,4591	Tidak aman (Unsafe)
3.1.1	<i>Samanea saman</i>	4,25269	Sangat aman (Very safe)
5.2.22	<i>Myristica guatteria</i>	7,56034	Sangat aman (Very safe)
5.1.5	<i>Canarium indicum</i>	2,58824	Sangat aman (Very safe)
3.3.33	<i>Canarium indicum</i>	2,33456	Sangat aman (Very safe)
3.3.39	<i>Firmiana malayana</i>	1,79121	Sangat aman (Very safe)
6.1.10	<i>Diospyros sp.</i>	2,25714	Sangat aman (Very safe)
6.1.11	<i>Garcinia xanthochymus</i>	1,74227	Sangat aman (Very safe)
6.1.3	<i>Diospyros macrophylla</i>	1,18431	Aman (Safe)
6.4.57	<i>Intsia sp.</i>	2,75916	Sangat aman (Very safe)

Pada Tabel 6 dapat dilihat hasil perhitungan *Sf* dari pohon sasaran. Terdapat 11 pohon dengan kategori sangat

aman, 3 pohon dengan kategori aman, dan 2 pohon dengan kategori tidak aman.

Tabel (Table) 7. Korelasi antara Indeks Kerusakan Pohon dengan nilai *safety factor*
(*Correltion between Tree Damage Index and safety factor value*)

Nomor pohon (Tree number)	Jenis (Species)	Sf	Kategori (Category)	NIK	Status kesehatan (Health status)
2.2.22	<i>Dillenia ovata</i>	1,16031	Aman (Safe)	7,2840	Ringan (Light)
2.3.35	<i>Michelia champaca</i>	2,78302	Sangat aman (Very safe)	11,670	Sedang (Moderate)
2.2.13	<i>Dillenia sp.</i>	1,41176	Aman (Safe)	2,808	Sehat (Health)
2.4.45	<i>Magnolia pterocarpa</i>	4,06742	Sangat aman (Very safe)	15,900	Berat (Severe)
3.1.6	<i>Dendrolobium umbellatum</i>	0,68639	Tidak aman (Unsafe)	6,8520	Ringan (Light)
3.1.4	<i>Dalbergia sp.</i>	1,71318	Sangat aman (Very safe)	15,000	Berat (Severe)
3.3.22	<i>Bauhinia purpurea</i>	0,45910	Tidak aman (Unsafe)	1,5000	Sehat (Health)
3.1.1	<i>Samanea saman</i>	4,25269	Sangat aman (Very safe)	10,510	Sedang (Moderate)
5.2.22	<i>Myristica guatteria</i>	7,56034	Sangat aman (Very safe)	16,120	Sedang (Moderate)
5.1.5	<i>Canarium indicum</i>	2,58824	Sangat aman (Very safe)	10,088	Berat (Severe)
5.3.33	<i>Canarium indicum</i>	2,33456	Sangat aman (Very safe)	4,9400	Sehat (Health)
5.3.39	<i>Firmiana malayana</i>	1,79121	Sangat aman (Very safe)	6,3440	Ringan (Light)
6.1.10	<i>Diospyros sp.</i>	2,25714	Sangat aman (Very safe)	0,0000	Sehat (Health)
6.1.11	<i>Garcinia xanthochymus</i>	1,74227	Sangat aman (Very safe)	11,860	Sedang (Moderate)
6.1.3	<i>Diospyros macrophylla</i>	1,18431	Aman (Safe)	7,3080	Ringan (Light)
6.4.57	<i>Intsia sp.</i>	2,75916	Sangat aman (Very safe)	15,000	Berat (Severe)

Keterangan (Note): NIK = Nilai Indeks Kerusakan (*Tree Damage Index*)

Jika melihat pada Tabel 7, dari semua pohon yang memiliki NIK dengan kategori sehat, terdapat nilai *Sf* dengan kategori tidak aman. Pada nilai NIK dengan kategori kerusakan berat, semua pohon justru memiliki nilai *Sf* dengan kategori sangat aman

3.2. Pembahasan

3.2.1. Pemantauan kesehatan pohon

Hutan merupakan ekosistem kompleks dengan komponen-komponen yang saling terkait dan sulit dikelola (Herianto, 2017). Kesehatan ekosistem hutan tercermin dari fungsi dan ketahanan biologisnya. Studi di Kebun Raya Bogor (KRB) pada tahun 2022 menunjukkan bahwa dari 11.656 koleksi tumbuhan hidup, 66% merupakan jenis endemik (Rachmadiyah et al., 2024). Kerusakan pada satu koleksi dapat dengan cepat menyebar ke koleksi lainnya.

Analisis kesehatan pohon pada 198 pohon di empat klaster menunjukkan bahwa sebagian besar pohon dalam kondisi sehat (132 pohon), diikuti oleh rusak ringan (55 pohon), rusak sedang (9 pohon), dan rusak berat (2 pohon). Pohon sehat didefinisikan sebagai pohon yang mampu menyesuaikan diri dengan gangguan, sementara pohon rusak (ringan, sedang, berat) tidak mampu beradaptasi (Nanlohy & Saeni, 2022).

Kesehatan pohon merupakan indikator kesehatan hutan secara keseluruhan. Upaya pengendalian kerusakan penting untuk menjaga fungsi hutan (Safe'i et al., 2020). Kerusakan pohon yang berkelanjutan dapat memengaruhi pertumbuhan dan perkembangan pohon, yang pada akhirnya berdampak pada kesehatan hutan (Indriani et al., 2020).

Faktor biotik dan abiotik dapat memengaruhi kesehatan pohon. Faktor biotik adalah faktor-faktor yang disebabkan oleh makhluk hidup yang memengaruhi kesehatan pohon. Faktor-faktor ini meliputi:

a. Hama. Hama adalah organisme (biasanya serangga) yang memakan atau merusak bagian pohon seperti daun, batang, akar, atau buah. Serangan hama dapat melemahkan pohon, membuatnya rentan terhadap

penyakit, dan mengurangi pertumbuhan. Seperti kumbang penggerek kulit kayu, ulat, kutu daun, dan rayap (Nguyen et al., 2021; Andi & Wijayanto, 2018)

- b. Penyakit. Penyakit pohon disebabkan oleh patogen seperti jamur, bakteri, virus, atau nematoda. Patogen ini dapat menyerang berbagai bagian pohon, menyebabkan gejala seperti bercak daun, busuk akar, kanker batang, atau layu. Penyakit dapat menghambat pertumbuhan pohon, mengurangi produksi buah, dan bahkan menyebabkan kematian pohon. Seperti penyakit karat puru, penyakit busuk akar, dan penyakit layu fusarium (Abimanyu et al., 2019, Pertiwi et al., 2019).
- c. Organisme lain. Selain hama dan penyakit, organisme lain seperti tumbuhan parasit (misalnya benalu) atau hewan pengerat (tikus atau tupai) juga dapat memengaruhi kesehatan pohon (Hasanbahri et al., 2024). Tumbuhan parasit dapat mengambil nutrisi dari pohon inang, sementara hewan pengerat dapat merusak kulit kayu atau akar pohon.

Faktor abiotik adalah faktor-faktor non-hidup yang memengaruhi kesehatan pohon. Faktor-faktor ini meliputi:

- a. Bencana alam. Bencana alam seperti badai, banjir, kekeringan, kebakaran hutan, atau tanah longsor dapat menyebabkan kerusakan fisik pada pohon, seperti patah cabang, tumbang, atau erosi tanah (Stoffel et al., 2010; Purwidiyanti et al., 2023).
- b. Suhu. Suhu tinggi dapat menyebabkan stres panas pada pohon, sementara suhu rendah dapat menyebabkan kerusakan akibat pembekuan (Hasanuzzaman et al., 2013; Purwidiyanti et al., 2023). Perubahan suhu yang drastis juga dapat mempengaruhi kemampuan pohon untuk beradaptasi.
- c. Angin. Angin kencang dapat menyebabkan kerusakan fisik pada pohon, seperti patah cabang atau tumbang (Stoffel et al., 2010; Purwidiyanti et al., 2023). Angin juga dapat menyebabkan dehidrasi pada

- pohon dengan meningkatkan laju transpirasi.
- d. **Kualitas tanah.** Kualitas tanah yang buruk, seperti kekurangan nutrisi, drainase yang buruk, atau pH yang tidak sesuai, dapat mempengaruhi kesehatan pohon (Febriana et al., 2024). Tanah yang kekurangan nutrisi dapat menghambat pertumbuhan pohon, sementara tanah yang terlalu asam atau terlalu basa dapat mempengaruhi ketersediaan nutrisi bagi pohon.
 - e. **Polusi.** Polusi udara dan air dapat mempengaruhi kesehatan pohon (Anand et al., 2022). Polusi udara dapat merusak jaringan daun pohon, sementara polusi air dapat mencemari tanah dan mempengaruhi ketersediaan air bagi pohon.

Interaksi antara faktor biotik dan abiotik dapat memperburuk dampak negatif pada kesehatan pohon. Misalnya, pohon yang melemah akibat kekeringan akan lebih rentan terhadap serangan hama dan penyakit. Oleh karena itu, pengelolaan kesehatan pohon yang efektif harus mempertimbangkan baik faktor biotik maupun abiotik.

3.2.2. Hubungan kesehatan pohon dengan *safety factor*

Biomekanika merupakan ilmu yang mempelajari pohon sebagai obyek biologis dengan teknik mekanik dan fisik dalam upaya mengetahui sifat struktur pohon dan interaksinya dengan lingkungan. Stabilitas pohon dipengaruhi oleh karakteristik fisik pohon (ukuran, bentuk, struktur, warna), sehingga menentukan juga risiko tumbang atau patah (Rachmadiyanto, 2024).

Tinggi tekuk kritis dapat disebut juga tinggi maksimum yang dapat dicapai oleh pohon sebelum bebannya menyebabkan terjadinya tekuk. Menurut (Aini et al., 2024), terdapat beberapa beban yang bekerja pada pohon yaitu beban mati (D) berupa massa tajuk dan batang; beban hidup (L), orang yang memanjat serta segala sesuatu yang menggantung pada pohon; dan beban angin (W).

Hasil bagi dari tinggi tekuk kritis dengan tinggi pohon menghasilkan nilai

dari Sf. Beban mati akan terus bekerja selama pohon masih berdiri tegak dan beban hidup akan bekerja ketika ada orang yang memanjat atau menggantungkan benda di pohon. Tegangan tekan dapat dihasilkan dari kedua beban tersebut dan berpotensi menjadi tekuk (Aini et al., 2024). Pada Tabel 6 dapat dilihat hasil perhitungan Sf dari pohon sasaran. Terdapat 11 pohon dengan kategori sangat aman, 3 pohon dengan kategori aman, dan 2 pohon dengan kategori tidak aman.

Hasil analisis korelasi Pearson mengenai hubungan antara NIK dan Sf adalah 0,5975. Jika melihat pada Tabel 7, dari semua pohon yang memiliki NIK dengan kategori sehat, terdapat nilai Sf dengan kategori tidak aman. Pada nilai NIK dengan kategori kerusakan berat, semua pohon justru memiliki nilai Sf dengan kategori sangat aman. Nilai korelasi yang berada pada keamatan yang sedang menunjukkan bahwa tidak semua pohon yang sehat akan dinilai sangat aman, serta tidak semua pohon yang memiliki kerusakan berat akan dinilai tidak aman atau berbahaya.

Pada perhitungan Sf terdapat banyak faktor yang memengaruhi hasil, dengan faktor utamanya adalah keadaan bagian-bagian pohon seperti akar, batang, dan tajuk. Pada penelitian ini beban hidup dan beban angin tidak diukur karena hanya melihat pengaruh dari beban pohon itu sendiri. Menurut Kane (2023), cacat pada pohon meliputi pembusukan/pelapukan, cabang mati, weak union, retakan serta kerusakan akar. Akibat pembusukan yang disebabkan mikroorganisme mencerna komponen kayu, batang atau sebagian batang menjadi berlubang. Cacat pada pohon tersebut dapat mengurangi kapasitas pohon dalam menahan beban.

Penelitian lain yang menyebutkan bahwa kerusakan dapat mengubah struktur pohon adalah (Erwin et al., 2002), kanker dapat mengakibatkan bentuk batang menjadi tidak silindris, pada ketinggian tertentu tepatnya pada bagian yang terkena kanker diameter pohon akan lebih besar karena pembentukan kallus. Konk atau tubuh buah jamur yang menyerang pohon akan menyebabkan adanya perubahan warna dan pengerasan pada permukaan pohon, lalu terjadi

perubahan struktur dan penampakan pohon (Prabawati, 2017). Kerusakan cabang patah/mati mengakibatkan kondisi tajuk rendah, pertumbuhan menurun, hilangnya biomassa, hingga kematian. Hilangnya ujung dominan dan mati ujung dapat menyebabkan kematian pada bagian pucuk pohon, perubahan warna, dan pada pucuk terjadi kegundulan.

Hasil korelasi Pearson dengan keeratan yang sedang, belum seluruhnya sesuai dengan literatur yang ada. Pada perhitungan *Sf*, morfologi pohon diukur satu persatu dengan teliti, namun pada nilai kerapatan tajuk masih mengacu pada satu literatur yaitu Burger (1939), kerapatan tajuk sebesar 1,9 kg/m³ yang diperoleh dari nilai rata-rata tajuk pohon cemara. Nilai kerapatan tajuk ini dipakai untuk seluruh jenis pohon pada perhitungan, diduga hal ini dapat memengaruhi perhitungan nilai *Sf*, sehingga berpengaruh juga pada hasil korelasi antara kesehatan pohon dengan nilai *Sf*. Jika dilihat dari sisi pemantauan kesehatan pohon dengan metode FHM, nilai korelasi diduga juga dipengaruhi oleh nilai bobot dari lokasi, jenis, dan keparahan kerusakan. Nilai bobot yang selanjutnya digunakan untuk menghitung NIK bisa jadi sudah tidak relevan dan perlu dilakukan pengkajian ulang.

Metode FHM untuk pemantauan kesehatan pohon dan perhitungan nilai *Sf* untuk melihat status keamanan pohon dapat digunakan secara terpisah atau kombinasi dari keduanya, namun untuk hasil yang lebih akurat dapat digunakan nilai kerapatan tajuk yang sesuai dengan jenis pohon atau dilakukan pengukuran langsung pada pohon sasaran. Kedua metode ini penting dilakukan khususnya di dalam KRB untuk menilai keadaan koleksi. KRB yang setiap hari dipenuhi dengan wisatawan, menjadikan pengelola berkewajiban menjamin keselamatan orang-orang dari bahaya yang dapat diakibatkan oleh pohon.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Pemantauan kesehatan pohon pada empat klaster di Kebun Raya Bogor menunjukkan bahwa mayoritas pohon berada dalam kondisi sehat (67%),

sedangkan hanya sebagian kecil pohon berada dalam kondisi rusak berat (2%). Perhitungan nilai *Safety Factor* pada 16 pohon sasaran menunjukkan bahwa sebelas pohon termasuk dalam kategori sangat aman, tiga pohon termasuk dalam kategori aman, dan dua pohon termasuk dalam kategori tidak aman. Hasil analisis korelasi antara nilai indeks kerusakan dengan faktor keamanan menunjukkan nilai 0,6 yang berarti keduanya berkorelasi positif dengan tingkat keeratan sedang yang berarti korelasinya cukup kuat, namun masih ada faktor lain yang memengaruhi yang harus diperhatikan. Faktor tersebut diduga adalah kerapatan tajuk yang masih menggunakan angka yang sama untuk setiap pohon dan nilai skor dalam menghitung nilai indeks kerusakan pada metode *Forest Health Monitoring* yang sudah tidak relevan dan karenanya memerlukan revisi.

4.2. Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah penentuan nilai aktual kerapatan tajuk pada setiap individu pohon melalui pengukuran secara langsung sehingga dapat diperoleh nilai *Safety Factor* yang lebih akurat untuk individu tertentu. Saran untuk pengelola Kebun Raya Bogor adalah menggunakan perpaduan antara penilaian kesehatan pohon dengan metode FHM dan penilaian *Safety factor* agar dapat diperoleh penilaian tingkat resiko pohon sehingga dapat dilakukan tindakan yang diperlukan bagi pohon yang telah mengalami kerusakan dan atau beresiko tumbang.

Daftar Pustaka

- Abimanyu, B., Safe'i, R., & Hidayat, W. (2019). Analisis kerusakan pohon di Hutan Kota Stadion Kota Metro Provinsi Lampung. *Jurnal Hutan Pulau-Pulau Kecil*, 3(1), 1-12. doi.org/10.30598?jhppk.2019.3.1.1
- Aini, S.C., Adzkiya, U., Bahtiar, E.T., Rahman, M.M., Buono, A., & Karlinasari, L. (2024). Structural stability analysis of rain trees (Samanea saman) subjected to dead, live, and wind loads combination. *Biodiversitas*, 25(10), 3899-3908. doi.org/10.13057/biodiv/d251050

- Andi, S., & Wijayanto, B. (2018). Pengaruh serangan hama pada pohon karet (*Hevea brasiliensis*) dan akasia (*Acacia mangium*) di Hutan Lindung Tahura Sultan Adam. *Jurnal Perlindungan Tanaman Indonesia*, 22(1), 45-52.
- Anand, P., Mina, U., Khare, M., Kumar, P., & Kota, S.H. (2022). Air pollution and plant health response-current status and future directions. *Elsevier*, 13(8), 101508.
- Burger, H. (1939). Der Kronenaufbau gleichaltriger Nadelholzbestände. *Mitteilungen Der Schweizerischen Anstalt Für Das Forstliche Versuchswesen*, 21(1), 5-57.
- Erwin, Budi, A.S., & Mardji, D. (2002). Dampak serangan patogen kanker batang terhadap struktur anatomi kayu dari pohon karet (*Hevea brasiliensis* Muell. Arg.) bekas terbakar di PT Inhutani I Batuampar. *Equator*, 1(2), 53-74.
- Febriana, A., Trigunasih, N.M., Sumarniasih, M.S. (2024) Analisis kualitas tanah dan arahan pengelolaan pada lahan di DAS UNDA Provinsi Bali, Indonesia. *Agro Bali: Agricultural Journal*, 7(1), 227-245. doi.org/10.37637/ab.v7i1.1309. 227.
- Hasanbahri, S., Marsono, D., Hardiwinoto, S., & Sadono, R. (2024). Serangan benalu pada beberapa kelas umur tanaman jati di wilayah hutan BKPH Begal, KPH Ngawi, Jawa Timur. *Jurnal Manusia dan Lingkungan*, 21(2), 195-201.
- Herianto. (2017). Keanekaragaman jenis dan struktur tegakan di areal tegakan tinggal. *Jurnal Ilmiah Pertanian dan Kehutanan*, 4(1), 38-46. doi.org/10.33084/daun.v4i1.104.
- Hasanuzzaman, M., Nahar, K., & Fujita, M. (2013). Extreme temperature responses, oxidative stress and antioxidant defense in plants. In *abiotic stress - plant responses and applications in agriculture*. K. Vahdati, K., & Leslie, C. (Eds), 169-205
- Indriani, Y., Safe'i, R., Kaskoyo, H., & Darmawan, A. (2020). Vitalitas sebagai salah satu indikator kesehatan hutan konservasi. *Perennial*, 16(2), 40-46. doi.org/10.24259/perennial.v16i2.9244
- Kadir, A.S.A. (2022). Analisis Tinggi Tekuk Kritis Pohon Akibat Beban Sendiri. Bogor Agricultural University.
- Kane, B. (2023). How Defects Increase Likelihood of Tree Failure. Retrieved from <https://tcimag.tcia.org/training/how-defects-increase-likelihood-of-tree-failure/>
- Karlinasari, L., Bahtiar, E.T., Kadir, A.S.A., Adzkie, U., Nugroho, N., & Siregar, I.Z. (2023). Structural analysis of self-weight loading standing trees to determine its critical buckling height. *Sustainability (Switzerland)*, 15, 6075. doi.org/10.3390/su15076075
- Mangold, R. (1997). *Forest Health Monitoring Field Methods Guide (International-Indonesia 1997)*. Washington: United States Departement of Agriculture.
- Nanlohy, L.H., & Saeni, F. (2022). Penilaian kualitas kesehatan pohon di kawasan Green line Median. *Median*, 14(2), 47-57.
- Nugroho, A. (2005). *Strategi Jitu Memilih Metode Statistic Penelitian dengan SPSS*. Yogyakarta.
- Nguyen, M.C., Hung, T.X., Binh, L.V., & Dell, B. (2021). New and emerging insect pest and disease threats to forest plantations in Vietnam. *Forests*, 12(10), 1301. MDPI Forests.
- Pertiwi, D., Safe'i, R., Kaskoyo, H., & Indriyanto. (2019). Identifikasi kondisi kerusakan pohon menggunakan metode forest health monitoring di Tahura Wan Abdul Rachman Provinsi Lampung. *Jurnal Perennial*. 15(1), 1-7.
- Prabawati, U. (2017). *Serangan Konk pada Pohon di Jalur Wisata Kebun Raya Bogor, Jawa Barat*. Bogor Agricultural University.
- Purwidiyanti, Latifah, S., & Hidayati, E. (2023). Analisis kesehatan pohon di Taman Ria Taman Kota di Kota Bima. *Jurnal Rimba Lestari*, 2(2), 52-62. doi.org/10.29303/rimbalestari.v2i2.1284

- Putri, K.P., Supriyanto, & Syaufina, L. (2016). Penilaian kesehatan sumber benih *Shorea spp.* di KHDTK Haurbentes dengan metode forest health monitoring. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 13(1), 37-48.
- Rachmadiyanto, A.N. (2024). Kesehatan, Biomekanika, dan Arsitektur Akar Pohon Dipterokarpa Berukuran Besar dan Tua Pada Lanskap Perkotaan di Kebun Raya Bogor. Bogor Agricultural University.
- Rachmadiyanto, A.N., Hariri, M.R., Primananda, E., Suhatman, A., & Kuswara, U. (2021). Penilaian kesehatan 12 pohon ikonis dan bernilai sejarah di Kebun Raya Bogor. *Buletin Kebun Raya*, 24(3), 104-116. <https://doi.org/10.14203/bkr.v24i3.745>
- Rachmadiyanto, A.N., Karlinasari, L., Nandika, D., Witono, J.R., & Siregar, I.Z. (2024). Comparing reliability of fhm and isa methods in assessing old and large dipterocarp trees health. *Floresta e Ambiente*, 31(1), e20230013. doi.org/10.1590/2179-8087-FLORAM-2023-0013
- Safarudin, Sari, A.N., Khaerani, B.A., Rifkiyah, K., Solihah, A.M., Husnaa, M.A., ..., & Sukron, M. (2023). Pengaruh penanaman pohon dalam meningkatkan kesadaran masyarakat sebagai upaya pencegahan kekeringan lingkungan di Desa Citepus. Dalam: Widyaningsih, R., Budikafa, M.J., Alfian, R.L., Pujiyono, E., & Rofi, M.R.N.A. (Eds.), *Prosiding Kampelmas (2)*, 1083-1095). Purwokerto: LPPM UIN SAIFUDDIN ZUHRI. Retrieved from <https://proceedings.uinsaizu.ac.id/index.php/kampelmas/issue/view/19>
- Safe'i, R., Kaskoyo, H., & Darmawan, A. (2020). Analisis kesehatan pohon dengan menggunakan metode forest health monitoring (studi kasus pada tiga fungsi hutan di Provinsi Lampung). Dalam: Igepas, H.F.S., MR, H., & AQ, M. (Eds.), *Virtual Seminar dan Konferensi Nasional Manajemen Strategis pada Sektor Publik: Capacity Building dalam Meningkatkan Kesiapsiagaan Aparatur Menghadapi Governance Crisis akibat Pandemi COVID-19* (pp. 42–53). Fakultas Ilmu Administrasi Universitas Brawijaya. Malang.
- Stoffel, M., Bollschweiler, M., Butler, D.R., & Luckman, B.H. (2010). Tree rings and natural hazards: An introduction. *Advances in Global Change Research*, 41, 3-23. DOI 10.1007/978-90-481-8736-2_1, Springer Science+Business Media B.V.
- Supriyanto, & Iskandar, T. (2018). Penilaian kesehatan kebun benih semai Pinus merkusii dengan metode FHM (Forest Health Monitoring) di KPH Sumedang. *Journal of Tropical Silviculture*, 9(2), 99-108. doi.org/10.29244/j-siltrop.9.2.99-108.