

**AKUMULASI TIMBAL (Pb) TERHADAP KARAKTER ANATOMI
MORFOLOGI DAN FISILOGI PADA BINTARO (*Cerbera manghas*) DI
BEBERAPA RUAS JALAN KOTA MALANG**

SKRIPSI

**Oleh:
NABILA NURUL IZZAH
NIM.210602110056**



**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

**AKUMULASI TIMBAL (Pb) TERHADAP KARAKTER ANATOMI
MORFOLOGI DAN FISILOGI PADA BINTARO (*Cerbera manghas*) DI
BEBERAPA RUAS JALAN KOTA MALANG**

SKRIPSI

**Oleh:
NABILA NURUL IZZAH
NIM. 210602110056**

**Diajukan kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025**

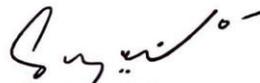
**AKUMULASI TIMBAL (Pb) TERHADAP KARAKTER ANATOMI
MORFOLOGI DAN FISILOGI PADA BINTARO (*Cerbera manghas*) DI
BEBERAPA RUAS JALAN KOTA MALANG**

SKRIPSI

Oleh:
NABILA NURUL IZZAH
NIM. 210602110056

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji
Tanggal: 16 JUNI 2025

Pembimbing I



Suyono, M.P.

NIP. 198705282022032002

Pembimbing II



Dr. Mukhlis Fahrudin, M.S.I

NIDT. 201402011409

Mengetahui,

Ketua Program Studi Biologi



Prof. Dr. Evika Sandi Savitri, M.P
NIP. 19741018 200312 2 002

**AKUMULASI TIMBAL (Pb) TERHADAP KARAKTER ANATOMI
MORFOLOGI DAN FISILOGI PADA BINTARO (*Cerbera manghas*) DI
BEBERAPA RUAS JALAN KOTA MALANG**

SKRIPSI

Oleh:
NABILA NURUL IZZAH
NIM. 210602110056

Telah dipertahankan
di depan Dewan Peguji Skripsi dan dinyatakan diterima sebagai
salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 16 JUNI 2025

Ketua Penguji : Prof.Dr. Evika Sandi Savitri, M.P
NIP. 19741018 200312 2 002
Anggota Penguji I : Ruri Siti Resmisari, M.Si
NIP. 19790123 202321 2 008
Anggota Penguji II : Suyono, M.P
NIP. 19710622 200312 1 002
Anggota Penguji III : Dr. M. Mukhlis Fahrudin, M.S.I
NIDT. 201402011409



Mengesahkan,
Ketua Program Studi Biologi




Prof. Dr. Evika Sandi Savitri, M.P.
NIP. 19741018 200312 2 002

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, dengan rahmat dan ridho Allah SWT skripsi ini dipersembahkan kepada seluruh pihak yang telah mendoakan, memotivasi, dan membantu penulis dalam proses penelitian hingga penyusunannya, khususnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Muhammad Furqon Amien dan Ibu Diah Wijayanti yang selalu mendukung, memotivasi, serta selalu mendoakan, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Seluruh Dosen Ekologi UIN Malang yang telah banyak membantu, berdiskusi, dan memberikan ilmu kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
3. Teman-teman Biologi angkatan 2021 dan khususnya teman ekologi yang telah membantu penulis dalam pengambilan data penelitian dan berdiskusi terkait penyusunan skripsi ini.
4. Teman-teman dekat penulis grup SMVGH Maulana Rizky A., Nuzul Nurul Fathony, S.Si., Dheny Vianto C.M., Meri Puspitasari, Adini Apriliani., Ismairoh Khoirotunnisah yang selalu berdiskusi, memberikan semangat dan dukungan, serta doa kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan baik.

MOTTO

”Sebutlah nama-Nya tetap di jalan-Nya, kelak kau mengingat, kau akan teringat”

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nabila Nurul Izzah
NIM : 210602110056
Program Studi : Biologi
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Akumulasi Timbal (Pb) terhadap Karakter Anatomi
Morfologi dan Fisiologi Pohon Bintaro (*Cerbera manghas*)
di Berbagai Ruas Jalan Kota Malang

menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-banar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi akademik maupun hukum atas perbuatan tersebut.

Malang,
Yang membuat pernyataan,



Nabila Nurul Izzah
NIM. 210602110056

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan namun terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada penulis. Daftar Pustaka di perkenankan untuk dicatat, tetapi pengutipan hanya dapat dilakukan seizin penulis dan harus disertai kebiasaan ilmiah untuk menyebutkannya.

**AKUMULASI TIMBAL (Pb) TERHADAP KARAKTER ANATOMI
MORFOLOGI DAN FISILOGI PADA POHON BINTARO (*Cerbera
manghas*) DI BEBERAPA RUAS JALAN KOTA MALANG**

Nabila Nurul Izzah, Suyono, M. Mukhlis Fahrudin

Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri
Maulana Malik Ibrahim Malang.

ABSTRAK

Logam berat adalah logam dengan massa jenis lebih dari 5 g/cm³ yang berpotensi menjadi racun bagi lingkungan dalam konsentrasi tertentu. Keberadaan logam berat mudah dijumpai terutama pada lingkungan perkotaan. Logam berat terutama timbal (Pb) yang berada di lingkungan didominasi oleh sumber antropogenik. Sumber antropogenik seperti gas buang kendaraan dan aktivitas industri merupakan sumber pencemaran pada lingkungan. Oleh karena itu, perlu dilakukannya penelitian terkait tentang Potensi Pohon Bintaro (*Cerbera manghas*) sebagai Penyerap Logam Berat Timbal (Pb) Pada Wilayah Berbeda di Kota Malang, Jawa Timur. Penelitian ini dilakukan dengan mengambil sampel daun pada tiga lokasi berbeda dengan kategori tinggi (Jl. Mt. Haryono), sedang (Jl. Melati) dan rendah (Jl. Raya Sawojajar). Pengujian sampel dilakukan menggunakan instrumen AAS dan dilakukan analisis luas daun, kerapatan stomata, laju fotosintesis dan akumulasi logam berat timbal (Pb). Selain itu, warna daun dan warna batang dijadikan sebagai pengujian morfologi. Hasil analisis akumulasi logam berat timbal (Pb), laju fotosintesis, luas daun dan kerapatan stomata pada ketiga lokasi, Jl. Mt. Haryono memiliki nilai tertinggi dari seluruh parameter, kemudian disusul oleh Jl. Melati dan terendah Jl. Raya Sawojajar. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat korelasi sangat kuat dan positif antara kepadatan kendaraan dengan akumulasi logam berat timbal (Pb).

Kata Kunci: *Bintaro (Cerbera manghas), AAS, Kepadatan Kendaraan, Timbal (Pb), Kota Malang.*

**LEAD (Pb) ACCUMULATION ON ANATOMICAL, MORPHOLOGICAL
AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERS IN BINTARO (*Cerbera manghas*)
TREES ON SEVERAL ROADS IN MALANG CITY**

Nabila Nurul Izzah, Suyono, M. Mukhlis Fahrudin

Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri
Maulana Malik Ibrahim Malang.

ABSTRACT

Heavy metals are metals with a density greater than 5 g/cm³ that have the potential to be toxic to the environment at certain concentrations. Heavy metals are commonly found, especially in urban environments. Heavy metals in the environment are predominantly anthropogenic in origin. Anthropogenic sources such as vehicle exhaust and industrial activities are sources of pollution in the environment. Therefore, it is necessary to conduct research on the potential of the Bintaro tree (*Cerbera manghas*) as an absorber of heavy metal lead (Pb) in different areas of Malang City, East Java. This study was conducted by collecting leaf samples from three different locations categorised as high (Jl. Mt. Haryono), medium (Jl. Melati), and low (Jl. Raya Sawojajar). Sample testing was performed using an AAS instrument, and analyses were conducted on leaf area, stomatal density, photosynthesis rate, and lead (Pb) heavy metal accumulation. Additionally, leaf colour and stem colour were used as morphological tests. The results of the analysis of lead (Pb) accumulation, photosynthesis rate, leaf area, and stomatal density at the three locations showed that Jl. Mt. Haryono had the highest values for all parameters, followed by Jl. Melati, and the lowest values at Jl. Raya Sawojajar. The results of this study indicate a very strong and positive correlation between vehicle density and lead (Pb) accumulation.

Keywords: *Bintaro (Cerbera manghas), AAS, Vehicle Density, Lead (Pb), Malang City.*

تراكم الرصاص (Pb) على الخصائص التشريحية والمورفولوجية والفسيزيولوجية لأشجار البنتارو (*Cerbera manghas*) في عدة طرق بمدينة مالانغ

نبيلة نور العزة، سويونو، م. مخلص فخر الدين

برنامج دراسة الأحياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانغ

ملخص البحث

المعادن الثقيلة هي معادن تتميز بكثافة تزيد عن 5 جم/سم³، ولها القدرة على أن تكون سامة للبيئة عند تراكيز معينة. تنتشر هذه المعادن بشكل واسع، لا سيما في البيئات الحضرية. وتُعزى معظم المعادن الثقيلة الموجودة في البيئة إلى مصادر بشرية (أنثروبوجينية) مثل عوادم المركبات والأنشطة الصناعية، والتي تُعد من أهم مصادر التلوث البيئي. لذلك، من الضروري إجراء دراسة حول إمكانات شجرة و (*Cerbera manghas*) كمتنصة للرصاص (Pb) في مناطق مختلفة من مدينة مالانغ، جاوة الشرقية. تم جمع عينات الأوراق من ثلاثة مواقع مختلفة تُصنّف حسب كثافة حركة المرور إلى: عالية (شارع مت. هاريونو)، ومتوسطة (شارع ميلاطي)، ومنخفضة (شارع رايا ساووجاجار). تم اختبار العينات باستخدام جهاز الامتصاص الذري (AAS)، كما أُجريت تحليلات على مساحة الورقة، وكثافة الثغور، ومعدل التمثيل الضوئي، وتراكم معدن الرصاص (Pb) بالإضافة إلى ذلك، تم استخدام لون الأوراق والسيقان كاختبارات شكلية. أظهرت نتائج التحليل أن شارع مت. هاريونو سجل أعلى القيم في جميع المعايير، يليه شارع ميلاطي، بينما سجلت القيم الأدنى في شارع رايا ساووجاجار. تشير نتائج هذه الدراسة إلى وجود ارتباط قوي وإيجابي للغاية بين كثافة المركبات وتراكم الرصاص (Pb)، وكذلك بين تراكم الرصاص (Pb) ومعدل التمثيل الضوئي، مما يشير إلى أن كثافة المركبات يمكن أن تؤثر على معدل التمثيل الضوئي.

الكلمات المفتاحية: البنتارو (*Cerbera manghas*)، جهاز الامتصاص الذري (AAS)، كثافة المركبات، الرصاص (Pb)، مدينة مالانغ

KATA PENGANTAR

Assalamua'alaikum Wr. Wb.

Bismillahirrohmanirrohim, segala puji bagi Allah Tuhan semester alam karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini yang berjudul “Akumulasi Timbal (Pb) terhadap Karakter Anatomi, Morfologi, dan Fisiologi Pohon Bintaro (*Cerbera manghas*) di Berbagai Ruas Jalan Kota Malang”. Shalawat dan salam tidak lupa disampaikan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW yang telah menegakkan diinul Islam yang terpatri hingga akhirul zaman. Aamiin.

Berkat bimbingan dan dorongan dari berbagai pihak maka penulis mengucapkan terima kasih yang tak terkira khususnya kepada:

1. Prof. Dr. H.M Zainuddin, M.A selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. Sri Harini, M, Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Prof. Dr. Evika Sandi Savitri, M. P selaku Ketua Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Suyono, M.P selaku pembimbing yang telah membimbing penulis dengan penuh kesabaran dan keikhlasan dalam meluangkan waktu untuk membimbing penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
5. Dr. M. Mukhlis Fahrudin, M.S.I selaku pembimbing keagamaan yang telah membimbing penulis dengan penuh kesabaran dan keikhlasan dalam meluangkan waktu untuk membimbing penulis sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan.
6. Seluruh Bapak/Ibu dosen Biologi yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan pada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi.
7. Kedua orang tua penulis Bapak Moh. Furqon Amien, S.T dan Ibu Diah Wijayanti, S.kom, terima kasih atas dukungan yang diberikan untuk penulis selama studi berlangsung hingga sampai detik ini, yang selalu mendoakan penulis disetiap waktunya, yang tak pernah lelah untuk selalu mengingatkan penulis disetiap waktunya untuk selalu terus berusaha dan untuk tidak menyerah dan terima kasih atas cinta dan kasih sayang yang diberikan kepada penulis.
8. Seluruh teman-teman Biologi 21, yang telah memberikan dukungan serta membantu penulis selama menjalankan masa studi, baik secara materi maupun non-materi.
9. Teman-teman SMVGH, Adini Apriliani, Nuzul Nurul Fathony, S.Si, Maulana Rizki Akbar, Deny Vianto C.M, Meri Puspitasari dan Ismairoh Khoiritunnisah, terima kasih atas waktunya, kebersamaan, dukungan, dan berbagai hal lainnya yang tidak bisa penulis tuliskan. Terima kasih banyak telah menemani penulis sampai akhir masa studi.
10. Viona Adzkie Putri dan Hilda Zaqya Elnaz Putri, S.Mat yang selalu memberikan dukungan kepada penulis serta membantu penulis selama masa studi berlangsung hingga akhir masa studi.

Semoga amal baik yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan dari Allah SWT. Penulis menyadari betul bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun sangat

diharapkan oleh penulis untuk laporan kepenulisan yang lebih baik. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Malang, 24 Juni 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
MOTTO.....	vi
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN.....	vii
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI	viii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT.....	x
ملخص البحث	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	7
1.3 Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Manfaat Penelitian.....	8
1.5 Batasan Masalah.....	8
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	10
2.1 Bintaro (<i>Cerbera mangas</i>)	10
2.2 Pencemaran Lingkungan Prespektif Islam.....	12
2.2.1 Pencemaran Udara.....	15
2.3 Logam Berat.....	17
2.3.1 Timbal(Pb).....	17
2.4 Dampak Timbal (Pb) Pada Fisiologi, Anatomi dan Morfologi Pada Tanaman	19
2.5 Mekanisme Penyerapan Logam Pada Tanaman	21
2.6 Stomata	22
2.7 <i>Atomic Absorption Spectometry</i> (AAS)	23
BAB III. METODE PENELITIAN	25
3.1 Jenis Penelitian.....	25
3.2 Waktu dan Tempat.....	25
3.3 Alat Dan Bahan	25
3.3.1 Alat	25
3.3.2 Bahan.....	26
3.4 Prosedur Penelitian.....	26
3.4.1 Penentuan Lokasi Pengambilan Sampel.....	26
3.4.2 Pengambilan Sampel Daun Bintaro (<i>Cerbera manghas</i>) Analisis Timbal.....	26
3.4.3 Penentuan Kepadatan Lalu Lintas	27
3.4.4 Analisis Logam Berat Pada Daun	27
3.5 Pengamatan Morfologi Bintaro (<i>Cerbera manghas</i>)	28
3.5.1 Morfologi Daun Bintaro (<i>Cerbera manghas</i>)	28

3.5.2	Morfologi Batang Bintaro (<i>Cerbera manghas</i>).....	29
3.6	Pengamatan Karakteristik Anatomi	29
3.6.1	Kerapatan Stomata	29
3.6.2	Laju Fotosintesis.....	30
3.7	Analisis Data	30
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		31
4.1	Akumulasi Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) yang Terserap Pada daun Bintaro (<i>Cerbera manghas</i>) di Beberapa Ruas Jalan Kota Malang.....	31
4.2	Karakteristik Anatomi Bintaro (<i>Cerbera manghas</i>) di Beberapa Ruas Jalan Kota Malang.....	34
4.2.1	Tipe Stomata Bintaro (<i>Cerbera manghas</i>)	34
4.2.2	Kerapatan Stomata (<i>Cerbera manghas</i>)	35
4.3	Karakteristik Morfologi Daun Bintaro (<i>Cerbera manghas</i>) di Beberapa Ruas Jalan Kota Malang.....	38
4.3.1	Luas Daun Bintaro (<i>Cerbera manghas</i>)	38
4.3.2	Morfologi Daun Bintaro (<i>Cerbera manghas</i>)	39
4.3.3	Morfologi Batang Bintaro (<i>Cerbera manghas</i>).....	42
4.4	Laju Fotosintesis Daun Bintaro (<i>Cerbera manghas</i>) di Beberapa Ruas Jalan Kota Malang.....	43
4.5	Korelasi Kandungan Timbal (Pb) dengan Jumlah Kendaraan dan Laju Fotosintesis dalam Daun Bintaro	45
4.5.1	Korelasi Kandungan Timbal (Pb) dengan Jumlah Kendaraan Daun Bintaro	45
4.5.2	Korelasi Kandungan Timbal (Pb) Terhadap Nilai Laju Fotosintesis Daun Bintaro	46
4.6	Pembahasan Hasil Penelitian dalam Prespektif Islam.....	48
BAB V. PENUTUP		53
5.1	Kesimpulan.....	53
5.2	Saran.....	54
DAFTAR PUSTAKA.....		55
LAMPIRAN		64

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1 Jumlah kendaraan yang melintas pada beberapa ruas jalan di Kota Malang	23
4.1 Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) yang Terserap Pada Daun Bintaro.....	31
4.2 Kerapatan Stomata Daun Bintaro (<i>Cerbera manghas</i>).....	37
4.3 Luas Daun Bintaro di Beberapa Ruas Jalan Kota Malang.....	39
4.4 Rata-Rata Laju Fotosintesis Tumbuhan <i>Cerbera manghas</i>	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Morfologi Bintaro	10
4.1 Anatomi stomata pada Daun Bintaro (<i>Cerbera manghas</i>) dengan perbesaran 400x	34
4.2 Kerapatan stomata pada Daun Bintaro (<i>Cerbera manghas</i>)	37
4.3 Morfologi Daun Bintaro (<i>Cerbera manghas</i>)	40
4.4 Bercak hitam dan kekuningan pada daun bintaro (<i>Cerbera manghas</i>).....	41
4.5 Batang Bintaro (<i>Cerbera manghas</i>) di beberapa ruas jalan di Kota Malang	42

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
1. Hasil Akumulasi timbal (Pb) daun Bintaro (<i>Cerbera manghas</i>).....	65
2. Hasil Perhitungan Kerapatan Stomata Daun Bintaro (<i>Cerbera manghas</i>).....	66
3. Hasil Perhitungan Luas Daun Bintaro (<i>Cerbera manghas</i>).....	67
4. Hasil Perhitungan Laju Fotosintesis Daun Bintaro (<i>Cerbera manghas</i>).....	68
5. Kode Warna Daun Bintaro (<i>Cerbera manghas</i>) dari Aplikasi Color Grab.....	69
6. Kode Warna Batang Bintaro (<i>Cerbera manghas</i>) dari Aplikasi Color Grab.....	70
7. Dokumentasi Pengamatan.....	71

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Logam adalah unsur kimia yang memiliki sifat khas, seperti dapat ditempa atau dibentuk dalam kondisi panas, berperan sebagai konduktor panas dan listrik, berbentuk padat (kecuali merkuri dan densitas yang tinggi) (Sulaiman, 2021). Logam juga bersifat tidak tembus pandang, buram dan apabila dipoles hingga mengkilap akan menjadi *reflector* atau pemantul cahaya (Budiyanto & Handono, 2020). Logam terbagi menjadi dua jenis utama, yakni logam ringan dan logam berat. Logam ringan merupakan logam dengan massa jenis kurang dari 5 kg/dm^3 , seperti aluminium ($2,70 \text{ kg/dm}^3$), magnesium ($1,74 \text{ kg/dm}^3$), kalsium ($1,55 \text{ kg/dm}^3$), kalium ($0,86 \text{ kg/dm}^3$), natrium ($0,97 \text{ kg/dm}^3$), dan litium ($0,53 \text{ kg/dm}^3$) (Budiyanto & Handono, 2020). Sebaliknya, logam berat adalah logam dengan massa jenis lebih dari 5 g/cm^3 yang berpotensi menjadi racun bagi lingkungan dalam konsentrasi tertentu (Supriyantini & Soenardjo, 2015). Logam berat dapat dikelompokkan menjadi esensial dan non esensial. Logam berat esensial meliputi Fe, Cu, Ni, Mn dan Zn yang diperlukan untuk proses fisiologis dan biokimia dalam siklus hidup tanaman (Yan *et.al.*, 2020). Logam berat non esensial meliputi Pb, Cd, As dan Hg yang merupakan logam beracun dan fungsi yang tidak diketahui dalam tanaman.

Logam berat termasuk Bahan Berbahaya Beracun (B3) yang menjadi sumber pencemar bagi lingkungan dan memiliki sifat berbahaya bagi organisme hidup (Jakfar, 2023). Keberadaan logam berat mudah dijumpai terutama pada lingkungan perkotaan. Sumber logam berat yang berada pada lingkungan dapat dikelompokkan menjadi sumber alami dan antropogenik. Sumber alami logam berat di lingkungan termasuk pelapukan batuan pembawa logam dan letusan gunung berapi (Soegianto,

2023). Sumber antropogenik di lingkungan dari aktivitas manusia seperti proses industri, pertanian, pembuangan limbah, pertambangan, serta emisi dari cerobong asap dan gas buang kendaraan (Rahman, 2022). Logam berat yang berada di lingkungan didominasi oleh sumber antropogenik. Sumber antropogenik seperti gas buang kendaraan dan aktivitas industri merupakan sumber pencemaran udara dan tanah pada lingkungan. Sumber antropogenik yang berasal dari gas buang kendaraan mengandung berbagai polutan berbahaya, salah satunya adalah timbal (Pb) yang dilepaskan ke atmosfer melalui pembakaran bahan bakar kendaraan (Hasbiah dkk., 2016).

Logam berat yang berasal dari sumber antropogenik salah satunya timbal (Pb) dapat menimbulkan dampak berbahaya, khususnya dalam hal pencemaran lingkungan. Allah telah melarang kepada manusia agar tidak berbuat kerusakan di Bumi. Allah berfirman dalam Qur'an Surah Al-A'raf ayat 56:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ مِّنَ الْمُحْسِنِينَ

Artinya: “Janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah diatur dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat dengan orang-orang yang berbuat baik.”

Ayat tersebut berdasarkan Tafsir Kementrian Agama menjelaskan bahwa Allah melarang manusia agar tidak membuat kerusakan di muka bumi. Bumi telah Allah ciptakan dengan segala kelengkapannya, seperti gunung, lembah, sungai, lautan, daratan, hutan dan lain-lain, yang semuanya ditujukan untuk keperluan manusia, agar dapat diolah dan dimanfaatkan dengan sebaik-baiknya untuk kesejahteraan. Larangan membuat kerusakan ini mencakup semua bidang, salah satunya pada kerusakan lingkungan. Kerusakan lingkungan yang terus menerus

berlangsung dapat memberikan dampak bagi kualitas lingkungan sehingga akan berdampak pada kesehatan ataupun ekosistem.

Timbal (Pb) merupakan salah satu jenis logam berat berbahaya yang sering ditemukan di lingkungan, terutama pada udara di wilayah perkotaan dan industri. Keberadaan timbal di atmosfer sebagian besar berasal dari aktivitas antropogenik (Hasbiah dkk., 2016). Sumber timbal (Pb) yang berada pada udara ambien sekitar 80–90%) yang terdapat di udara ambien berasal dari proses pembakaran bensin. Senyawa organik bertimbal seperti Pb-tetraethyl dan Pb-tetramethyl yang digunakan sebagai aditif dalam bensin merupakan kontributor utama emisi timbal (Pb) ke atmosfer. Selain dari kendaraan bermotor, sumber timbal lainnya mencakup aktivitas penambangan dan peleburan logam, produksi pipa air dan cat, industri besi dan baja, peleburan tembaga, pembakaran batu bara, serta proses penyulingan dan pembuatan produk yang mengandung timbal (Cahyono, 2017).

Timbal yang terlepas ke udara dalam bentuk partikel halus dapat terdispersi ke berbagai komponen lingkungan, termasuk tanah, air, dan tumbuhan. Timbal (Pb) di atmosfer umumnya berasal dari hasil pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor yang mengandung aditif seperti *tetraethyl lead* (TEL). Proses pembakaran berlangsung senyawa timbal terurai menjadi partikel-partikel halus yang tersebar di udara dan berpotensi terhirup oleh makhluk hidup atau terserap oleh jaringan tanaman di sekitarnya (Rois & Muryani, 2023). Ambang batas kandungan timbal (Pb) di udara berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021, baku mutu logam Pb sebesar $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ selama 24 jam. Baku mutu ambien menurut *World Health Organization* (WHO) untuk logam Pb $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Konsentrasi timbal (Pb) yang melampaui batas toleransi di lingkungan dapat memberikan dampak serius bagi makhluk hidup dan juga pada lingkungan (Agustina, 2014). Dampak tersebut meliputi gangguan pada sistem saraf, fungsi ginjal, munculnya penyakit kanker, serta masalah pernapasan (Sall dkk., 2020). Selain pada manusia, konsentrasi timbal (Pb) yang tinggi dalam tanaman dapat menimbulkan dampak negatif terhadap struktur anatomi, fisiologis, dan morfologi. Paparan Pb yang tinggi dapat menghambat proses fisiologis seperti pertumbuhan, menurunkan efisiensi fotosintesis, serta mengganggu penyerapan mineral, keseimbangan air, dan regulasi hormon (Carvalho *et.al.*, 2025). Dampak negatif dari paparan timbal yang tinggi juga mempengaruhi pada morfologi daun (Gupta *et.al.*, 2024). Faisal dkk (2024) menyatakan bahwa, konsentrasi timbal (Pb) di udara dapat memicu berbagai bentuk kerusakan pada struktur daun, salah satunya berupa klorosis, yaitu pemudaran warna hijau akibat terganggunya produksi atau stabilitas klorofil (Faisal dkk., 2024). Selain pada fisiologi dan morfologi, timbal (Pb) juga dapat mempengaruhi anatomi daun terutama pada stomata. Respon anatomi pada tanaman terutama pada organ daun dapat ditunjukkan melalui perubahan kerapatan stomata serta mekanisme pembukaan dan penutupan stomata (Rifa'i & Puspitawati, 2022).

Peningkatan konsentrasi timbal (Pb) di udara, yang umumnya bersumber dari emisi kendaraan bermotor dan aktivitas industri, telah diketahui memberikan dampak negatif terhadap kualitas udara, kesehatan manusia, serta keseimbangan ekosistem tanaman. Salah satu pendekatan alami yang dapat diterapkan untuk mengurangi tingkat pencemaran tersebut adalah melalui pemanfaatan tanaman yang ditanam di sepanjang jalan sebagai penyaring biologis. Salah satu spesies yang

memiliki potensi dalam menyerap timbal dari udara maupun partikel aerosol di lingkungan perkotaan adalah tanaman bintaro (*Cerbera manghas*). Bintaro (*Cerbera manghas*) termasuk jenis pohon yang efektif dalam menyerap timbal (Pb), yang didukung oleh karakteristik morfologinya berupa permukaan daun yang lebar dan tebal. Kandungan timbal yang tinggi pada jaringan daun menunjukkan kemampuan tanaman tersebut dalam mengakumulasi logam berat, sehingga semakin tinggi kadar Pb yang terserap, semakin besar pula potensi tanaman tersebut sebagai penyerap timbal di lingkungan tercemar (Sofyan dkk., 2020).

Penelitian sebelumnya mengenai tanaman penyerap logam berat timbal, diantaranya Hidayat dkk (2019) dalam penelitiannya menyatakan tanaman pinggir jalan atau tanaman peneduh jalan seperti pinus (*Pinus merkusii*), beringin (*Ficus benjamina*), kemuning (*Murraya paniculata*), flamboyan (*Delonix regia*) dan bintaro (*Cerbera manghas*) memiliki kemampuan dalam menyerap logam berat dalam konsentrasi yang tinggi. Berdasarkan hasil penelitian oleh Hindratmo et al. (2019), tanaman Bintaro (*Cerbera manghas*) mampu menyerap timbal (Pb) dengan konsentrasi sebesar 20,06 ppm setelah 45 hari perlakuan, dan meningkat menjadi 24,89 ppm pada hari ke-90. Misya & Prasetya (2024) menyatakan dalam penelitiannya bahwa tanaman yang berada dalam lokasi tercemar memiliki jumlah stomata tertutup dan kotor lebih banyak dibanding pada lokasi yang tidak tercemar. Rifa'i & Puspitawati (2022) dalam penelitiannya, timbal (Pb) yang terakumulasi dalam daun dapat mempengaruhi morfologi daun, dapat dilihat dari nekrosis dan luas daun dari tanaman. Keadaan daun pada penelitian tersebut ditandai dengan nekrosis akibat tingginya konsentrasi gas polutan yang terserap.

Kota Malang merupakan kota kedua terbesar di Jawa Timur setelah Surabaya yang memiliki fungsi sebagai pusat Pendidikan, perdagangan jasa, perkantoran dan pariwisata (Siswanto dkk., 2021). Jumlah penduduk Kota Malang pada tahun 2022 berjumlah 846.126 jiwa dan pada tahun 2023 berjumlah 847.182 jiwa (Badan Pusat Statistik, 2023). Peningkatan jumlah penduduk disetiap tahunnya juga diiringi dengan urbanisasi pada setiap tahunnya. Menurut Barenlitbang (2019) Kota Malang menjadi salah satu tujuan dalam urbanisasi, terutama dalam urbanisasi mahasiswa. Jumlah penduduk yang terus meningkat di Kota Malang setiap tahunnya diiringi meningkatnya kendaraan bermotor yang signifikan. Hal ini menyebabkan peningkatan emisi logam berat, terutama timbal (Pb) dari kendaraan bermotor yang berdampak pada lingkungan perkotaan. Hasil studi menunjukkan kadar timbal yang diserap oleh daun kemungkinan dipengaruhi oleh perbedaan intensitas lalu lintas kendaraan bermotor di sekitar area pengambilan sampel. Semakin tinggi aktivitas kendaraan di lokasi tersebut, maka semakin besar pula jumlah timbal yang terserap oleh daun tanaman (Aini dkk., 2017). Selain itu, akumulasi timbal (Pb) yang terakumulasi dalam jaringan tumbuhan melebihi ambang batas dapat menimbulkan efek toksik bagi tanaman, termasuk keracunan hingga kematian. Selain itu, juga dapat mengganggu proses fotosintesis (Widyawati & Kuntjoro, 2021).

Urbanisasi yang terus meningkat berdampak pada habitat hewan yang rusak dan penurunan keanekaragaman hayati (Kim & Pauleit, 2007). Selain berdampak pada penurunan keanekaragaman hayati dan kerusakan habitat hewan, penambahan jumlah penduduk disuatu kota juga meningkatkan penggunaan energi, sehingga emisi karbon dioksida yang meningkat dan membuat kualitas lingkungan semakin

buruk (Hu & Khan, 2023). Hal ini perlu dilakukannya penelitian terkait tentang Potensi Pohon Bintaro (*Cerbera manghas*) sebagai Penyerapan Logam Berat Pb di Berbagai Wilayah Kota Malang, Jawa Timur.

1.2 Rumusan Masalah

Didasarkan dari penelitian tersebut, rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Berapa akumulasi logam berat timbal (Pb) pada daun *Cerbera manghas* sebagai pohon pelindung jalan di Kota Malang?
2. Bagaimana karakteristik anatomi daun Bintaro (*Cerbera manghas*) sebagai pohon pelindung jalan di beberapa ruas jalan di Kota Malang?
3. Bagaimana karakteristik morfologi daun Bintaro (*Cerbera manghas*) sebagai pohon pelindung jalan di beberapa ruas jalan di Kota Malang?
4. Bagaimana Laju Fotosintesis Daun Bintaro (*Cerbera manghas*) di Beberapa Ruas Jalan di Kota Malang?
5. Bagaimana Korelasi Kandungan Timbal (Pb) dengan Jumlah Kendaraan dan Laju Fotosintensis dalam Daun Bintaro di beberapa ruas jalan di Kota Malang?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian pada studi ini adalah:

1. Mengetahui nilai konsentrasi Pb daun *Cerbera manghas* sebagai pohon pelindung jalan di beberapa ruas jalan di Kota Malang.
2. Mengetahui karakteristik anatomi daun Bintaro (*Cerbera manghas*) sebagai pohon pelindung jalan di beberapa ruas jalan di Kota Malang.
3. Mengetahui korelasi kepadatan kendaraan dengan akumulasi timbal (Pb) pada daun bintaro (*Cerbera manghas*) di beberapa ruas jalan di Kota Malang.

4. Mengetahui korelasi akumulasi timbal pada daun *Cerbera manghas* dengan laju fotosintesis pada daun bintaro (*Cerbera manghas*) di beberapa ruas jalan di Kota Malang.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari studi ini meliputi:

1. Manfaat Teoritis

Hasil studi ini bermanfaat sebagai sumber pengetahuan terkait akumulasi logam berat timbal pada daun *Cerbera manghas* sebagai tanaman pelindung jalan.

2. Manfaat Praktis

Hasil studi ini bermanfaat untuk:

- a. Tambah informasi bagi pihak pengelola taman kota serta masyarakat mengenai manfaat dan fungsi dari pohon *Cerbera manghas* dalam meminimalisir pencemaran logam berat.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari studi ini meliputi:

1. Jenis tanaman pelindung jalan yang digunakan adalah bintaro (*Cerbera manghas*).
2. Kadar Pb pada daun diamati menggunakan metode *Atomic Absorption Spektrophotometer* (AAS) dan kadarnya dinyatakan dalam bentuk ppm.
3. Karakter anatomi tanaman *Cerbera manghas* yang diamati berupa kerapatan stomata.
4. Karakter morfologi tanaman *Cerbera manghas* diamati berdasarkan bentuk, warna dan ukuran.

5. Karakteristik fisiologi tanaman *Cerbera manghas* diamati berdasarkan laju fotosintesis.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bintaro (*Cerbera manghas*)

Bintaro merupakan tanaman yang tersebar luas di Asia, Australia dan berbagai pulau di wilayah Samudra Hinda dan Pasifik bagian barat (Ilmiawati dkk., 2024). Bintaro dapat digunakan sebagai tanaman penghias kota dan berguna sebagai tanaman penghijauan. Bintaro juga merupakan pohon peneduh dan mudah beradaptasi dengan berbagai kondisi lahan (Pujawati dkk., 2017). Klasifikasi dari *Cerbera manghas* menurut Maharana (2021) sebagai berikut:

Kingdom: Plantae

Filum: Tracheophytes

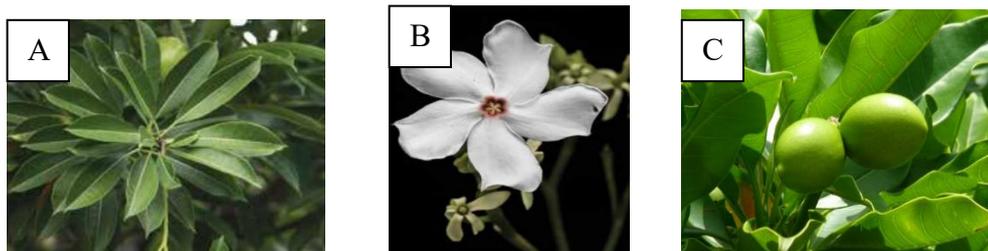
Kelas: Magnoliopsida

Ordo: Gentianales

Famili: Apocynaceae

Genus: *Cerbera*

Spesies: *Cerbera manghas*



Gambar 2.1 Morfologi Bintaro (*Cerbera manghas*), a) daun, b) bunga, c) buah (Sumber: Middleton & Rodda, 2019; Chan *et.al.*, 2016).

Cerbera manghas atau dikenal sebagai pohon pong-pong, mangga laut, bintaro, badak buta, babuto, dan gurita kayu. Bintaro (*Cerbera manghas*) merupakan tumbuhan Angiospermae dikotil yang termasuk ke dalam keluarga apocynaceae yang beracun (Saxena *et.al.*, 2022). Bintaro dapat ditemukan di hutan

lembap sepanjang garis Pantai hingga pada ketinggian 150 m dpl (Sukarya, 2018). Bintaro umumnya dapat ditemukan di hutan hujan, semak-semak Pantai, hutan terbuka dan alang-alang di wilayah terbuka. Bintaro tersebar pada beberapa hutan hujan di dunia seperti, Melanesia, Samoa, Hawaii, Fiji, Australia, Afrika Timur dan Indonesia (Sohail *et.al.*, 2025). Bintaro juga tersebar di sepanjang garis Pantai dan daerah pesisir yang dapat ditemukan di wilayah tepi pantai Asia Tenggara dan Cina Selatan (Selladurai *et.al.*, 2016). Bintaro merupakan tanaman yang menyukai sinar matahari penuh dan tanah yang lembab dan subur (Sohail *et.al.*, 2025). Bintaro dapat tumbuh pada suhu antara 30 dan 60°C (Putri dkk., 2022).

Bintaro merupakan pohon kecil dengan tinggi 20 m dan mempunyai diameter sebesar 70 cm. Batang pohon bintaro terdapat lentisel dan kayu dari pohon bintaro merupakan kayu yang lunak (Maharana, 2021). Permukaan batang yang halus dan berwarna coklat keabu-abuan (Amelya dkk., 2023). Daun dari pohon bintaro merupakan daun Tunggal dengan dua menyebarkan dan berbentuk lonjong. Daun bintaro memiliki tepi rata, bagian pangkal yang lancip, permukaan halus dan bagian permukaan atas daun berwarna hijau tua dan permukaan bawah berwarna hijau muda. Panjang daun 15-20 cm dengan lebar 3-5 cm (Putri dkk., 2022). Bunga dari pohon bintaro memiliki Panjang 25-40 mm dan berwarna putih (Sohail *et.al.*, 2025). Buah dari pohon bintaro memiliki bentuk bulat dengan kulit yang keras dan berwarna hijau atau kuning saat masih muda dan berubah menjadi coklat atau oranye saat matang (Amelya dkk., 2023).

2.2 Pencemaran Lingkungan Prespektif Islam

Allah SWT. Berfirman dalam Surah Ar- Rum ayat 41:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ
 Artinya: “Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar).”

Berdasarkan tafsir dari Kementerian Agama, kerusakan yang terjadi di wilayah daratan maupun lautan, baik di kawasan desa maupun kota, merupakan konsekuensi dari tindakan manusia yang didorong oleh hawa nafsu serta menyimpang dari fitrah kemanusiaannya. Aktivitas-aktivitas seperti eksploitasi sumber daya alam secara tidak terkendali, peperangan, dan percobaan senjata menjadi faktor utama penyebab kerusakan tersebut. Fenomena ini berdampak negatif terhadap keberlangsungan ekosistem serta kualitas kehidupan di bumi secara keseluruhan. Dampak negative tersebut yang ditimbulkan, yaitu pencemaran alam atau bahkan penghancuran alam sehingga tidak dapat dimanfaatkan kembali. Pencemaran alam baik di darat atau di air dapat menimbulkan hancurnya kehidupan flora dan fauna serta rusaknya biota laut.

Dalam perspektif fikih lingkungan, pencemaran lingkungan menjelaskan melalui konsep hubungan integral antara manusia dan alam. Manusia dipandang sebagai bagian yang tidak dapat dipisahkan dari alam semesta, karena asal penciptaannya pun berasal dari unsur-unsur alam itu sendiri. Hal ini menegaskan bahwa eksistensi manusia menyatu dengan lingkungan, sehingga kerusakan terhadap alam berarti juga merusak harmoni ciptaan. (Al-Qadharwi, 2002). Dr. Yusuf Al-Qardhawi dalam karyanya *Ri'ayatul Bi'ah fi Syari'atil Islam* menegaskan bahwa fikih Islam memiliki perhatian yang besar terhadap persoalan lingkungan

hidup. Hal ini tercermin dalam berbagai pembahasan yang ditemukan dalam literatur fikih klasik, seperti topik tentang *thaharah* (kebersihan), *ihya al-mawat* (pengelolaan lahan tidak produktif), *al-musaqat* dan *al-muzara'ah* (kerja sama pemanfaatan lahan), serta hukum terkait kepemilikan dan transaksi atas sumber daya alam seperti air, api, dan garam. Selain itu, juga terdapat pembahasan mengenai hak-hak hewan peliharaan dan aspek lain yang berkaitan dengan lingkungan yang menjadi bagian dari kehidupan manusia. Lingkungan yang sehat merupakan hal yang penting bagi kehidupan seluruh makhluk hidup. Dalam Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup pada Pasal 1 ayat (1) yang berbunyi “Lingkungan hidup adalah kesatuan ruang dengan semua benda, daya, keadaan, dan makhluk hidup, termasuk manusia dan perilakunya, yang mempengaruhi alam itu sendiri, kelangsungan perikehidupan, dan kesejahteraan manusia serta makhluk hidup lain”. Namun, lingkungan yang sehat dan bersih menjadi tantangan bagi manusia. Manusia kerap memberikan dampak buruk kepada lingkungan sehingga menimbulkan permasalahan lingkungan seperti pencemaran lingkungan. Masalah pencemaran lingkungan merupakan masalah semua makhluk hidup di bumi, seiring dengan bertambahnya populasi manusia dan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi dengan diiringi banyaknya industri-industri untuk mencukupi kebutuhan hidup manusia (Sompotan & Sinaga, 2022).

Pencemaran lingkungan adalah masuknya zat atau bahan berbahaya ke dalam lingkungan yang dapat menyebabkan dampak negatif bagi manusia, hewan, tumbuhan, dan ekosistem secara keseluruhan (Tosepu, 2024). Zat atau bahan yang dapat mengakibatkan pencemaran di sebut polutan. Syarat-syarat suatu zat disebut

polutan bila keberadaannya dapat menyebabkan kerugian terhadap makhluk hidup. Seperti karbon dioksida dengan kadar 0,033% di udara memberikan dampak baik bagi tumbuhan, tetapi bila lebih tinggi dari 0,033% dapat memberikan efek merusak (Muslimah, 2015).

Pencemaran lingkungan juga dapat didefinisikan sebagai perubahan lingkungan yang merugikan akibat aktivitas manusia, baik secara langsung maupun tidak langsung (Marazziti dkk., 2021). Selain aktivitas manusia, proses alami juga dapat memengaruhi pencemaran lingkungan. Namun, manusia tetap menjadi faktor utama penyebab kerusakan dan pencemaran lingkungan, seperti pencemaran air dan udara, serta penggundulan hutan oleh perusahaan pengelola hutan (HPH) yang tidak bertanggung jawab (Amnawaty, 2014). Allah SWT. berfirman dalam Surah Al-Baqarah ayat 11-12

وَإِذَا قِيلَ لَهُمْ لَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ قَالُوا إِنَّمَا نَحْنُ مُصْلِحُونَ ﴿١١﴾ أَلَا إِنَّهُمْ الْمُنْفِسُونَ وَلَكِنْ لَا يَشْعُرُونَ ﴿١٢﴾

Artinya: “Dan apabila dikatakan kepada mereka: ”janganlah berbuat kerusakan bumi! Mereka menjawab: “Sesungguhnya Kami justru orang-orang yang Melakukan perbaikan.”Ingatlah, Sesungguhnya mereka Itulah orang-orang yang membuat kerusakan, tetapi mereka tidak sadar.”

Tafsir dari ayat tersebut menurut Kementerian Agama, ketika dikatakan dan dinasihatkan, janganlah berbuat kerusakan di bumi, dengan melanggar nilai-nilai yang ditetapkan agama, menghalangi orang dari jalan Allah, menyebar fitnah, dan memicu konflik, mereka justru mengklaim bahwa diri mereka bersih dari perusakan dan tidak bermaksud melakukan kerusakan. Mereka menjawab, sesungguhnya kami justru orang-orang yang melakukan perbaikan. Itu semua akibat rasa bangga diri mereka yang berlebihan. Begitulah perilaku setiap perusak yang tertipu oleh

dirinya, selalu merasa kerusakan yang dilakukannya sebagai kebaikan. Karena kelakuan mereka yang selalu menampakkan keimanan dan menyembunyikan kekufuran serta menganggap kerusakan mereka sebagai kebaikan, Allah mengingatkan orang-orang mukmin agar tidak tertipu dengan itu semua. Kerusakan yang dibuat mengakibatkan dampak yang berlebih kepada makhluk hidup dan lingkungan. Kerusakan tersebut merupakan akibat dari rusaknya mental atau moralitas manusia. Kerusakan mental menjadi pendorong seseorang dalam melakukan perilaku-perilaku yang destruktif, baik secara langsung seperti *illegal logging*, mendirikan bangunan ditempat-tempat resapan air, membendung saluran sungai sehingga menyempit, sehingga berakibat pada dampak kesehatan makhluk hidup baik tumbuhan, hewan ataupun manusia (Nurhayati dkk., 2018). Pencemaran lingkungan dikategorikan menjadi, pencemaran udara, pencemaran tanah dan pencemaran air (Sompotan & Sinaga, 2022).

2.2.1 Pencemaran Udara

Pencemaran udara atau polusi udara adalah suatu keadaan dimana terdapat substansi fisik, biologi, atau kimia di lapisan udara bumi (atmosfer) yang jumlahnya membahayakan bagi kesehatan tubuh manusia dan makhluk hidup lainnya (Siburian, 2020). Permen RI No. 41 Tahun 1999 menyatakan bahwa pencemaran udara merupakan masuk atau dimasukkannya zat, energi dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga mutu udara ambien menurun pada tingkat tertentu sehingga udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Sumber pencemaran udara menurut Cahyono (2017) digolongkan menjadi dua, yaitu sumber alamiah dan sumber antropogenik. Sumber alamiah merupakan sumber yang berasal dari fenomena alam seperti aktifitas gunung berapi

dan kebakaran hutan. Sedangkan, sumber antropogenik merupakan sumber yang berasal dari kegiatan manusia, seperti industri, Pembangunan atau pengaspalan jalan, pembakaran sampah, pertambangan dan gas buang kendaraan bermotor.

Sumber pencemaran udara terbesar berasal dari aktivitas manusia. Sudarti dkk (2022) dalam penelitiannya menyatakan sumber polusi udara sebanyak 60% berasal dari sektor transportasi, 25% sektor industri, 10% rumah tangga dan sampah 5%. Sumber pencemaran udara umumnya di kota besar 70% berasal dari gas buang kendaraan (Ramadhan & Hartono, 2020). Gas buang kendaraan yang dihasilkan dari kendaraan terutama pada kendaraan bermotor, diantaranya Karbon monoksida (CO), Nitrogen dioksida (NO₂), chlorofluorocarbon (CFC), Sulfur dioksida (SO₂), Hidrokarbon (HC), benda partikulat, Timbal (Pb), dan Carbon dioksida (CO₂) (Dwangga, 2018). Unsur-unsur dari gas buang kendaraan berdampak pada keadaan lingkungan baik pada tumbuhan maupun pada manusia.

Pencemaran udara dapat memberikan dampak bagi kesehatan maupun pada tumbuhan. Dampak kesehatan yang diberikan dari efek pencemaran udara pada paparan jangka pendek, yaitu COPD (*Chronic Obstructive Pulmonary Disease*), batuk, sesak napas, asma dan penyakit pernapasan. Paparan jangka Panjang bagi kesehatan adalah asma kronis, penyakit kardiovaskular, insufisiensi paru, kematian kardiovaskular. Selain itu, pencemaran udara dapat menimbulkan dampak kesehatan yang membahayakan pada awal kehidupan manusia, seperti gangguan pernapasan, kardiovaskular, mental dan perinatal yang dapat menyebabkan kematian pada bayi (Manisalidis dkk., 2020). Selain pada kesehatan manusia, pencemaran udara berdampak pada keadaan tumbuhan.

2.3 Logam Berat

Logam berat merupakan unsur kimia yang memiliki nilai densitas lebih dari 5 g/cm^3 dengan nomor atom 22 hingga 92 dan mampu membentuk ikatan kompleks saat masuk ke dalam tubuh organisme (Robi dkk., 2021). Logam berat umumnya bersifat racun bagi makhluk hidup dan sangat dibutuhkan walaupun dalam jumlah yang kecil. Sumber logam berat dapat melalui dari udara dan juga air yang tercemar oleh logam berat (Parubak dkk., 2023). Dalam bidang biologi, logam berat termasuk unsur logam yang beracun bagi flora dan fauna, meskipun konsentrasinya rendah (Handayanto, dkk., 2017). Logam berat merupakan zat alami yang bersifat tidak dapat terurai, sehingga cenderung mengendap di lingkungan. Akumulasi logam berat dalam jangka waktu yang lama dapat menimbulkan kerusakan ekologi dan berpotensi memperburuk masalah pencemaran lingkungan (Agustina, 2014).

Logam berat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu logam berat esensial dan non esensial (Murwani dkk., 2019). Logam berat esensial merupakan logam yang sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup dalam jumlah tertentu, tetapi dapat menjadi racun apabila melebihi jumlah tertentu. Logam berat seperti Zn, Cu, Fe, Co, Mn, Ni dan lainnya termasuk kedalam jenis logam berat esensial (Triwuri dkk., 2024). Logam berat non esensial adalah logam yang keberadaannya dalam tubuh masih belum diketahui manfaatnya dan bersifat racun (Irhamni dkk., 2017). Logam yang tergolong dalam logam non esensial, yaitu merkuri (Hg), cadmium (Cd), timbal (Pb), zink (Zn), kromium (Cr) dan arsen (As) (Parubak dkk., 2023).

2.3.1 Timbal (Pb)

Timbal atau yang biasa disebut dengan plumbum (Pb) merupakan kelompok logam golongan IV-A pada tabel periodic unsur kima. Timbal (Pb) memiliki nomor

atom (NA) 82 dengan berat 207,2. Timbal adalah logam berat berwarna kelabu kebiruan dengan titik leleh 32,7°C dan titik didih 1.620 °C (Syarifa & Supriyanto, 2022). Timbal bersifat lentur, sangat rapuh dan mengekrut pada pendinginan, sulit larut dalam air dingin, air panas dan air asam. Kadar timbal dalam tanah biasanya berkisar antara 5 – 25 mg/kg, dalam air tanah 1 – 60 ug/l dan di udara kurang dari 1 ug/m³, namun dapat jauh lebih tinggi di tempat kerja tertentu dan di daerah dengan lalu lintas yang padat (Romadhon dkk., 2023).

Sumber timbal dihasilkan oleh aktivitas pembakaran bahan bakar minyak kendaraan bermotor. Timbal yang ditambahkan ke dalam bahan bakar minyak ini merupakan sumber utama pencemaran timbal di udara perkotaan. Sumber timbal yang lain yaitu dari buangan industri, pembakaran batubara yang mengandung timbal. sumber timbal lainnya berasal dari buangan industri, pembakaran batubara yang mengandung timbal. Selain dari hasil pembakaran dan industri, timbal juga bersumber dari alamiah, yaitu penguapan lava, batu-batuan, tanah dan tumbuhan, namun kadar timbal dari sumber alamiah ini sangat rendah dibandingkan dengan timbal yang berasal dari pembuangan gas kendaraan bermotor (Ervianti dkk., 2021).

Akibat dari paparan timbal pada manusia dapat menimbulkan berbagai efek negatif pada kesehatan, yaitu pada saraf pusat dan saraf tepi (menurunkan daya konsentrasi), gangguan tidur dan kecemasan), sistem kardiovaskuler (menyebabkan hipertensi), sistem hematopoetik (anemia), ginjal, pencernaan, sistem reproduksi, dan bersifat karsinogenik (Soelistyoningsih & Mau, 2017). Logam berat, baik esensial maupun non-esensial memiliki efek berbahaya bagi tanaman, seperti akumulasi biomassa yang rendah, klorosis, pertumbuhan dan penghambatan

fotosintesis, perubahan keseimbangan air dan penyerapan unsur hara dan penurunan kualitas (Collin *et.al.*, 2022). Toksisitas Pb di tanah dapat mengurangi keanekaragaman dan fungsi metabolisme mikroba, biomassa, dan aktivitas enzimatik yang penting untuk kesehatan tanah (Gupta *et.al.*, 2024).

2.4 Dampak Timbal (Pb) Pada Fisiologi, Anatomi dan Morfologi Pada Tanaman

Pencemaran logam berat, khususnya timbal (Pb) menjadi isu lingkungan global yang signifikan yang berdampak langsung pada kesehatan tanaman dan produktivitas pertanian. Timbal (Pb) merupakan salah satu kontaminan yang paling sering dijumpai di lingkungan dengan sumber utama berasal dari aktivitas industri, kendaraan bermotor, dan sebagainya (Da Costa *et.al.*, 2023). Konsentrasi timbal (Pb) yang tinggi dalam tanaman dapat menimbulkan dampak negatif terhadap struktur anatomi, fisiologis, dan morfologi. Paparan Pb yang tinggi bisa menghambat pertumbuhan, menyebabkan klorosis, menurunkan efisiensi fotosintesis, serta mengganggu penyerapan mineral, keseimbangan air, dan regulasi hormon (Carvalho *et.al.*, 2025).

Logam berat timbal (Pb) memiliki dampak yang signifikan terhadap tanaman. Timbal (Pb) memberikan dampak negatif yang luas terhadap ekosistem terestrial maupun akuatik. Akumulasi timbal (Pb) dalam jaringan tumbuhan dapat mengganggu aktivitas metabolik serta menghambat proses-proses morfofisiologis yang penting bagi kelangsungan hidup tanaman (Carvalho *et.al.*, 2025). Konsentrasi timbal yang tinggi (100- 1000 mg/kg) dapat mengakibatkan pengaruh buruk terhadap proses fotosintesis sehingga pertumbuhan akan terhambat (Irma & Susanti, 2014). Timbal (Pb) dapat menurunkan proses fotosintesis melalui

penurunan kadar klorofil dan disertai dengan perubahan warna jaringan epidermis menjadi coklat kehitaman (Nababan dkk., 2023). Fotosintesis merupakan proses penting bagi kelangsungan hidup tanaman. Akumulasi timbal (Pb) dalam jaringan tanaman dapat menurunkan laju fotosintesis. Timbal menghambat pembentukan klorofil, mengganggu jalannya siklus Calvin, serta menyebabkan berkurangnya penyerapan CO₂ akibat tertutupnya stomata (Collin *et.al.*, 2022).

Paparan timbal (Pb) yang bersifat toksik dapat memicu terjadinya perubahan morfologis pada berbagai bagian tanaman, salah satunya pada bagian daun (Gupta *et.al.*, 2024). Daun merupakan organ utama dalam proses fotosintesis. Keberadaan polutan di udara (timbal) dapat memicu berbagai bentuk kerusakan pada struktur daun, salah satunya berupa klorosis, yaitu pemudaran warna hijau akibat terganggunya produksi atau stabilitas klorofil (Faisal dkk., 2024). Selain itu, tingginya konsentrasi timbal (Pb) dapat menghambat perluasan daun yang berhubungan dengan fotosintesis (Nababan dkk., 2023).

Timbal (Pb) pada tumbuhan selain dapat mempengaruhi morfologi dan fisiologi tanaman, timbal (Pb) juga dapat mempengaruhi anatomi daun terutama pada stomata. Respon anatomi pada tanaman terutama pada organ daun dapat ditunjukkan melalui perubahan kerapatan stomata serta mekanisme pembukaan dan penutupan stomata (Rifa'I & Puspitawati, 2022). Emisi kendaraan bermotor yang mengandung logam berat seperti timbal (Pb) berpotensi terakumulasi dalam jaringan daun, dan meningkatnya jumlah stomata yang berada dalam kondisi tertutup, serta terganggunya proses pembelahan sel induk stomata, yang mengakibatkan penurunan jumlah stomata secara keseluruhan. Selain itu, partikel timbal berukuran sekitar $\pm 0,2 \mu\text{m}$ yang masuk melalui pori-pori stomata

dapat mengganggu metabolisme sel, sehingga berimplikasi terhadap penurunan proses fotosintesis (Hidayat, 2009).

2.5 Mekanisme Penyerapan Logam Pada Tanaman

Sebagian besar logam berat di tanah berbentuk tidak larut, sehingga tidak dapat diserap oleh tanaman. Namun, tanaman dapat meningkatkan ketersediaan logam tersebut dengan melepaskan cairan dari akarnya. Cairan ini mampu mengubah pH di sekitar akar (rizosfer) dan membuat logam berat lebih mudah larut sehingga dapat diserap oleh tanaman (Yan *et.al.*, 2020). Irhamni dkk, (2017) Penyerapan dan akumulasi logam berat oleh tumbuhan dapat dibagi menjadi tiga proses yaitu penyerapan logam oleh akar, translokasi logam dari akar ke bagian tumbuhan lain, dan lokalisasi logam pada bagian sel tertentu untuk menjaga agar tidak menghambat metabolisme tumbuhan tersebut. Agar tumbuhan dapat menyerap logam maka logam harus dibawa ke dalam larutan di sekitar akar (rizosfer) dengan beberapa cara tergantung pada spesies tumbuhannya. Setelah logam dibawa masuk ke dalam sel akar, selanjutnya logam diangkut melalui jaringan pengangkut xilem dan floem ke bagian tumbuhan lain oleh molekul khelat. Molekul khelat yang berfungsi mengikat logam dihasilkan oleh tumbuhan, misalnya *histidin* yang terikat pada Ni dan fitokhelatin-glutation yang terikat pada Cd.

Mangkoedihardjo dan Samudro (2010) menyatakan Proses penguraian logam terdapat 3 tahap yang berlangsung dalam tumbuhan, yaitu

- a. Fitoekstraksi: proses penyerapan kontaminan dari medium tumbuhnya. Kontaminan terserap tumbuhan selanjutnya terdistribusi ke dalam berbagai organ tumbuhan (translokasi).

- b. Fitodegradasi: penguraian kontaminan yang terserap melalui proses metabolik dalam tumbuhan.
- c. Fitovolatilisasi: proses pelepasan kontaminan ke udara setelah terserap tumbuhan. Polutan yang dilepaskan oleh tanaman ke udara bisa sama seperti bentuk senyawa awal polutan, bisa juga menjadi senyawa yang berbeda dari senyawa awal.

Tanaman yang tumbuh di area terkontaminasi logam berat umumnya dapat menyerap logam tersebut melalui sistem akar. Setelah diserap, logam berat sering berikatan dengan protein khusus yang dikenal sebagai fitokelatin. Logam yang terikat dengan fitokelatin kemudian disimpan di berbagai bagian tanaman dan dipindahkan ke bagian lain seperti batang dan daun. Fitokelatin adalah protein yang dapat mengikat logam, terdiri dari komponen sistin dan glisin (Mufidah, 2024).

2.6 Stomata

Stomata adalah pori-pori kecil yang terdapat di antara sel-sel epidermis pada permukaan daun atau batang yang berperan dalam mengatur penguapan air melalui transpirasi serta penyerapan karbon dioksida (CO_2) selama proses fotosintesis (Sukmawati dkk., 2015). Stomata memiliki fungsi utama sebagai tempat pertukaran gas, seperti karbon dioksida (CO_2) yang dibutuhkan oleh tumbuhan untuk proses fotosintesis. Selain itu, stomata berperan sebagai salah satu pintu masuk polutan, khususnya polutan yang berasal dari udara. Polutan seperti timbal (Pb) yang memiliki ukuran partikel di bawah $2 \mu\text{m}$ berpotensi masuk ke dalam jaringan tumbuhan melalui stomata yang berukuran besar (Ebadi *et.al.*, 2005). Stomata diklasifikasikan menjadi empat kategori, yaitu anomositik, anisositik, parasitik, dan diasitik (Anu *et.al.*, 2017). Struktur stomata terdiri atas sepasang sel penjaga (*guard*

cells) yang mengatur pembukaan dan penutupan pori stomata (Bestari & Irawan, 2024). Selain itu, sel penjaga juga berperan penting dalam membantu menjaga kestabilan suhu internal tanaman (Kostaki *et.al.*, 2024).

Stomata merupakan struktur yang umumnya ditemukan pada organ tumbuhan yang berinteraksi langsung dengan udara, seperti daun, batang, dan rizoma. Sebagian besar tanaman, stomata terletak di permukaan bawah daun, namun pada beberapa spesies, stomata dapat ditemukan di kedua permukaan daun, baik pada permukaan atas maupun permukaan bawah daun (Anu *et.al.*, 2017). Zahroh (2006) dalam penelitiannya menyatakan, umumnya stomata lebih banyak pada permukaan bawah dibandingkan dengan permukaan atas daun. Hal ini adalah bentuk dari adaptasi untuk meminimalisir kehilangan air melalui stomata permukaan atas daun (Campbell *et.al.*, 1999).

2.7 Atomic Absorption Spectrometry (AAS)

Atomic Absorption Spectrometry (AAS) atau dikenal sebagai Spektroskopi Serapan Atom, adalah metode analisis spektroskopi yang memanfaatkan penyerapan radiasi optik (cahaya) oleh atom-atom bebas dalam fase gas untuk menentukan kandungan unsur secara kuantitatif (Maharani dkk., 2024). Instrumen ini digunakan untuk menganalisis unsur logam atau senyawa organik. Prinsip kerja AAS didasarkan pada penyerapan cahaya oleh atom, di mana atom-atom tersebut menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu sesuai dengan sifat unsur masing-masing. Spektroskopi Serapan Atom (SSA/AAS) melibatkan penyerapan cahaya oleh atom-atom logam netral yang masih berada dalam kondisi dasar (*ground state*) (Lolo dkk., 2020). Analisis ini bertujuan untuk menentukan

hubungan antara absorbansi cahaya yang diukur dan konsentrasi zat dalam sampel (Based *et.al.*, 1994).

Metode ini bekerja berdasarkan prinsip absorpsi sinar elektromagnetik oleh atom-atom logam pada panjang gelombang tertentu. Dalam konteks analisis kosmetik, AAS menyediakan kepekaan yang tinggi dan presisi yang baik, memungkinkan identifikasi dan kuantifikasi logam berat dalam sampel dengan tingkat akurasi yang tinggi (Rahmawati dkk., 2024). Cahaya yang diserap oleh atom menghasilkan panjang gelombang spesifik yang ditentukan oleh karakteristik unsur tersebut (Based *et.al.*, 1994). Analisis AAS dapat digunakan untuk menganalisis kadar logam berat, seperti Pb, Cu, Cd dan lainnya. Analisis AAS memiliki sensitivitas tinggi, spesifik terhadap unsur yang dianalisis, dan mampu mendeteksi kadar unsur dengan konsentrasi yang sangat rendah (Lolo dkk., 2020).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Studi ini berjenis penelitian deskriptif kuantitatif. Metode penelitian ini adalah metode eksplorasi. Pengambilan sampel dilakukan dengan cara *random purposive sampling*. Analisis data kuantitatif yang dilakukan Penelitian ini melakukan uji terhadap Pb daun *Cerbera manghas* dengan menggunakan instrumen AAS.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Pelaksanaan studi dilakukan pada bulan Februari tahun 2025, berlokasi di ruas jalan Kota Malang. Sampel daun *Cerbera manghas* kemudian dilakukan analisis karakteristik anatomi dan morfologi di Laboratorium Kultur Jaringan Tumbuhan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim, Malang dan analisis logam berat di Laboratorium Kultur Jaringan dan Laboratorium Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya, Malang.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini, diantaranya kamera, *Sterof foam box*, plastic ziplock, alat tulis, gunting dan galah. Selanjutnya, alat yang dibutuhkan dalam preparasi dan analisis logam berat pada sampel antara lain timbangan analitik, *hot plate*, *microwave*, blender, pipet tetes, labu ukur, kertas saring, *beaker glass*, *Atomic Absorption Spektrophotometer (AAS) AA-6200/Shimadzu*, *color grab*, *photosynthesis meter* TPQK-1000, mikroskop inverted Nikon type eclipse Ti-U.

3.3.2 Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kutek bening, aceton 80%, dan kertas label. Bahan untuk proses preparasi dan analisis logam berat pada sampel penelitian adalah daun bintaro (*Cerbera manghas*), asam nitrat (HNO₃), asam perklorat (HClO₄) 70% dan aquadest.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Penentuan Lokasi Pengambilan Sampel

Penentuan lokasi pengambilan sampel melalui observasi dengan tujuan untuk menentukan lokasi penelitian, keberadaan pohon dan melihat kepadatan serta keadaan jalan sekitar. Lokasi atau jalan penelitian yang digunakan memiliki kriteria dengan kepadatan tinggi, kepadatan sedang dan kepadatan rendah. Penelitian ini menggunakan 3 lokasi atau jalan yang berbeda berdasarkan penelitian ini. Setiap lokasi dilakukan pengambilan 2 sampel pohon bintaro (*Cerbera manghas*) dan dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali ulangan dengan memilih pohon ukuran relatif seragam dengan diameter antara 20-25 cm untuk meminimalkan variasi dalam kapasitas penyerapan polutan.

3.4.2 Pengambilan Sampel Daun Bintaro (*Cerbera manghas*) Analisis Timbal

Pengambilan sampel daun dilakukan dengan cara memilih dua individu pohon Bintaro pada masing-masing lokasi pengamatan. Dari setiap pohon, diambil sebanyak 5 hingga 10 helai daun. Daun yang dijadikan sampel merupakan daun pertama dari cabang yang terletak pada tajuk bagian bawah, karena posisi ini dianggap paling dekat dengan sumber emisi kendaraan bermotor. Daun yang dipilih adalah daun yang telah matang secara morfologis, ditandai dengan bentuk sempurna dan warna hijau tua. Seluruh sampel daun kemudian dimasukkan ke

dalam plastik *ziplock* yang telah diberi label sesuai lokasi dan kode sampel. Selanjutnya, sampel disimpan dalam *cool box* untuk menjaga sebelum dilakukan analisis lebih lanjut di laboratorium.

3.4.3 Penentuan Kepadatan Lalu Lintas

Penentuan kepadatan lalu lintas pada masing-masing lokasi dilakukan dengan menghitung jumlah kendaraan yang melintas pada ruas jalan menggunakan alat *hand tally counter*. Pengamatan dilaksanakan pada dua rentang waktu, yaitu pukul 07.00–08.00 WIB pada pagi hari dan pukul 16.00–17.00 WIB pada sore hari. Selanjutnya, Data jumlah kendaraan yang diperoleh dari kedua waktu pengamatan tersebut kemudian dijumlahkan untuk menentukan total kepadatan lalu lintas pada masing-masing titik lokasi. Berdasarkan hasil tersebut, lokasi penelitian diklasifikasikan ke dalam tiga kategori tingkat kepadatan, yaitu tinggi, sedang, dan rendah. Pemilihan lokasi dalam penelitian ini didasarkan pada tingkat kepadatan lalu lintas yang berbeda, dengan tujuan untuk melihat hubungan antara aktivitas kendaraan bermotor dengan akumulasi logam berat timbal (Pb) pada tanaman indikator. Tiga ruas jalan di Kota Malang dipilih sebagai lokasi penelitian, yaitu Jl. MT Haryono, Jl. Melati, dan Jl. Raya Sawojajar.

Tabel 3.1 Jumlah kendaraan yang melintas pada beberapa ruas jalan di Kota Malang

No.	Lokasi	Rata-Rata Volume Kendaraan	Kategori
1.	Jl. Mt. Haryono	5723	Tinggi
2.	Jl. Melati	2519	Sedang
3.	Jl. Raya Sawojajar	1672	Rendah

3.4.4 Analisis Logam Berat Pada Daun

Analisis logam berat dilaksanakan di laboratorium meliputi proses Analisa Pb mengacu pada SNI No. 06-6992.3-2004. Prosedur analisis dilakukan dengan

beberapa tahapan yaitu: sampel pertama-tama dibersihkan, dikeringkan dalam oven, selanjutnya dihaluskan serta dicampur hingga homogen. Kemudian, 3 gram sampel ditempatkan pada erlenmeyer berukuran 250 ml dan 25 ml aquades ditambah ke dalamnya. Kemudian, ditambah 5-10 ml HNO₃ pekat dan dicampur sampai merata. Dilanjutkan dengan penambahan 3-5 batu didih dan menutupnya. Selanjutnya, dilakukan pemanasan sampel bersuhu 1050°C hingga 1200°C sampai volume tersisa 10 ml. Setelah itu, sampel diangkat dan didinginkan.

Proses analisis lanjutan dilakukan dengan menambahkan 5 ml HNO₃ pekat. Sampel dipanaskan kembali dipanaskan kembali sampai muncul asap putih dan larutan sampelnya jernih, kemudian dipanaskan Kembali selama 30 menit, dan didinginkan. Kemudian disaring memakai kertas saring. Sampel diletakan di labu ukur 100 ml dan ditambah aquadest, lalu dilakukan pengukuran kadar Pb menggunakan AAS. Pb diukur dengan panjang gelombang 217,0 nm.

3.5 Pengamatan Morfologi Bintaro (*Cerbera manghas*)

3.5.1 Morfologi Daun Bintaro (*Cerbera manghas*)

Sampel daun yang dipilih untuk dilakukan pengamatan dan analisis daun dari pohon bintaro berdiameter daun yang berwarna hijau tua, tidak terlalu muda dan tidak terlalu tua dibagian ranting paling bawah dekat dengan jalan. Daun yang diambil terletak pada tajuk paling bawah karena daun tersebut dekat dengan sumber emisi. Selanjutnya, daun diambil menggunakan galah atau gunting dengan hati-hati, kemudian dimasukkan kedalam plastik ziplock dan dimasukkan ke dalam *cool box*. Selanjutnya, daun yang telah diambil dilakukan pengamatan morfologi berdasarkan warna, bentuk dan dan luas daun. Pengamatan warna daun dilakukan menggunakan

aplikasi *color grab* versi 3.9.3 dan pengamatan luas daun digunakan menggunakan aplikasi *imageJ*.

3.5.2 Morfologi Batang Bintaro (*Cerbera manghas*)

Pengamatan batang dilakukan berdasarkan warna batang yang diamati secara visual dan dibantu dengan aplikasi *Color Grab* versi 3.9.3 pada perangkat ponsel Android. Aplikasi ini digunakan untuk mengidentifikasi kode warna serta intensitas kecerahan warna batang pohon secara objektif. Pengamatan dilakukan pada bagian batang utama pohon setinggi ± 1 meter dari permukaan tanah dengan pencahayaan alami dan kondisi batang yang bersih dari lumut atau debu agar tidak mengganggu hasil identifikasi warna.

3.6 Pengamatan Karakteristik Anatomi

3.6.1 Kerapatan Stomata

Pengamatan kerapatan stomata daun dilakukan menggunakan mikroskop inverted Nikon type eclipse Ti-U dengan mengamati preparat anatomi dan menghitung kerapatan stomata daun. Pengamatan kerapatan stomata daun dilakukan dengan menggunakan kutek bening kemudian dibiarkan hingga kering. Stomata yang telah diolesi oleh stomata, selanjutnya diambil dari daun kemudian diamati menggunakan mikroskop dengan perbesaran 200x untuk menghitung kerapatan stomata dan perbesaran 400x untuk mengetahui karakteristik stomata. Tingkat kerapatan stomata menurut Marantika dkk (2021) dikategorikan menjadi tiga, yaitu rendah ($<300/\text{mm}^2$), sedang ($300-500/\text{mm}^2$) dan kerapatan tinggi ($>500/\text{mm}^2$). Kerapatan stomata dihitung berdasarkan rumus berikut:

$$\text{Kerapatan stomata} = \frac{\text{Jumlah stomata}}{\text{Luas Bidang Pandang Stomata}}$$

Luas bidang pandang diukur menggunakan rumus (Marantika dkk. 2021):

$$\begin{aligned}\text{Luas Bidang Pandang} &= \text{Panjang} \times \text{lebar} \\ &= 399,995 \mu\text{m} \times 298,755 \mu\text{m} \\ &= 119.500,506 \mu\text{m}^2 \\ &= 0,1195 \text{ mm}^2 \text{ disederhanakan menjadi } 0,12 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

3.6.2 Laju Fotosintesis

Pengukuran laju fotosintesis dilakukan menggunakan alat *photosynthesis meter* TPQK-1000. Langkah pertama, menyalakan alat dan kalibrasi sensor sesuai dengan instruksi petunjuk. Setelah proses kalibrasi selesai, jepit daun pada ruang penjepit (*leaf chamber*) yang telah disesuaikan hingga angka dalam keadaan stabil. Perangkat ini mendeteksi perubahan konsentrasi gas CO₂ dan H₂O dalam ruang pengukuran, sehingga diperoleh data laju fotosintesis yang dinyatakan dalam satuan $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$.

3.7 Analisis Data

Analisis data yang dilakukan untuk mengamati pengaruh Pb terhadap daun tersebut ditinjau dari kepadatan lalu lintas dan laju fotosintesis, maka dilakukan regresi linear menggunakan *microsoft excel* dengan melihat nilai koefisien korelasi antara konsentrasi Pb pada daun dengan kedua parameter lainnya.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Akumulasi Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) yang Terserap Pada daun Bintaro (*Cerbera manghas*) di Beberapa Ruas Jalan Kota Malang

Kandungan timbal yang terserap oleh daun bintaro pada beberapa ruas jalan di Kota Malang menunjukkan variasi dalam penyerapan kadar timbal (Pb). Kandungan logam berat timbal yang terserap pada daun Bintaro berkisar 2,64-4,00 ppm. Hasil analisis rata-rata kandungan timbal (Pb) yang terserap pada daun bintaro ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) yang Terserap Pada Daun Bintaro

No.	Wilayah	Kandungan Logam Berat (Pb) Pada Daun Bintaro (mg/kg)
1.	Jl. Mt. Haryono	3,96
2.	Jl. Melati	2,66
3.	Jl. Raya Sawojajar	2,64

Hasil analisis rata-rata logam berat timbal (Pb) pada daun bintaro (Tabel 4.1) menunjukkan bahwa kandungan logam timbal (Pb) memiliki hasil yang berbeda pada saetiap lokasi. Lokasi tertinggi penyerapan logam berat timbal (Pb) pada daun bintaro berada pada Jl. Mt. Haryono sebesar 3,96 ppm, kemudian disusul oleh Jl. Melati sebesar 2,66 ppm dan terendah berada pada Jl. Raya Sawojajar sebesar 2,64 ppm. Berdasarkan hasil rata-rata akumulasi logam berat timbal (Pb) pada daun bintaro Jl. Melati dan Jl. Raya Sawojajar menunjukkan hasil yang tidak signifikan. Hasil analisis rata-rata berdasarkan Tabel 4.1 menunjukkan bahwa jerapan timbal pada daun bintaro berikisar 2,64-4,00 ppm. Menurut Nurmawan dkk (2019) unsur

timbal dalam suatu tanaman normal berkisar antara 0,5-3,00 ppm. Berdasarkan pada batasan timbal (Pb) dalam suatu tanaman dapat diketahui bahwa daun Bintaro yang berada pada Jl. Raya Sawojajar dan Jl. Melati masih dalam batasan normal. Sedangkan, pada Jl. Mt. Haryono termasuk ke dalam akumulasi yang tinggi.

Perbedaan yang signifikan antara ketiga ruas jalan dipengaruhi oleh berbagai macam faktor, salah satunya oleh padatnya kendaraan pada wilayah tersebut. Berdasarkan pada tabel 4.1 bahwa Jl. Mt. Haryono memiliki kandungan timbal tertinggi. Kandungan timbal (Pb) yang tinggi salah satunya dapat dipengaruhi oleh intensitas kendaraan. Berdasarkan pada Tabel 3.1 bahwa Jl. Mt. Haryono memiliki nilai intensitas kendaraan paling tinggi diantara ketiga lokasi. Indriani dkk (2021) menyatakan bahwa logam berat timbal (Pb) pada permukaan daun dipengaruhi oleh jumlah kendaraan bermotor. Menurut *Environment Project Agency*, timbal (Pb) akan tetap berada pada mesin sekitar 25% dan sisanya 75% lainnya akan mencemari udara (Indriani dkk., 2021).

Senyawa timbal dapat masuk ke tanaman melalui proses absorpsi, dimana gas timbal yang berasal dari emisi kendaraan bermotor hanya menempel pada permukaan daun. Penyerapan polutan (timbal) pada daun terjadi karena timbal di udara jatuh ke permukaan daun dan mengendap pada permukaan daun (Sarwono dkk., 2022). Partikel timbal yang berada dalam lingkungan yang diemisikan oleh kendaraan jatuh ke permukaan daun Dahlan (1989) menyatakan, partikel timbal yang diemisikan oleh kendaraan bermotor memiliki diameter 0,004-4 mikrometer. Partikel yang besar lebih cepat untuk turun, sedangkan, partikel yang lebih kecil akan lebih lama melayang-layang di udara dan kemudian jatuh ke bumi dan

permukaan daun. Dahlan (1989) menyatakan partikel yang menempel pada permukaan daun berasal dari 3 proses, yaitu:

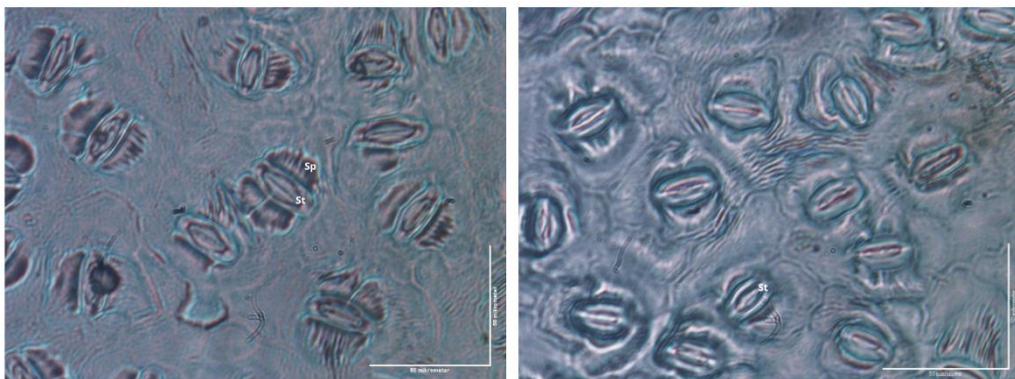
1. Sedimentasi akibat gaya gravitasi yang menyebabkan menumpuknya partikel pada permukaan daun bagian atas.
2. Pengendapan partikel oleh proses tumbuhan dimana semakin banyak benda yang menghalangi jalannya angin maka akan semakin banyak endapan yang ada.
3. Pengendapan yang berhubungan dengan hujan dimana hujan dapat mencuci partikel dari udara dan akan membersihkan debu yang berdiameter lebih kecil lagi.

Penyerapan timbal oleh tanaman tidak selalu dipengaruhi oleh faktor internal, namun faktor lingkungan tempat tumbuh tanaman juga dapat mempengaruhi penyerapan timbal dalam suatu tanaman (Azzahri dkk., 2020). Menurut Wibowo dkk (2024) tanaman dalam mengakumulasi logam berat timbal (Pb) di udara dapat dipengaruhi oleh intensitas kendaraan dan faktor iklim dan lingkungan. Faktor iklim juga mempunyai pengaruh yang tinggi terhadap kemampuan daun dalam penyerapan polutan udara. Musim juga menjadi salah satu pengaruh dalam kemampuan tanaman dalam penyerapan timbal. Partikel timbal akan lebih banyak menempel pada daun ketika musim panas, dibandingkan pada musim hujan (Dewi & Indri, 2012). Menurut Adwiwartika (2020) sumber-sumber ketidakpastian dalam pengukuran dapat mempengaruhi hasil yang akan didapatkan diakhir. Sumber-sumber ketidakpastian diantaranya, Teknik dalam pengambilan sampel, preparasi sampel dan instrument yang digunakan. Faktor tersebut dapat mempengaruhi dalam perhitungan kandungan logam timbal dalam daun bintaro.

4.2 Karakteristik Anatomi Bintaro (*Cerbera manghas*) di Beberapa Ruas Jalan Kota Malang

4.2.1 Tipe Stomata Bintaro (*Cerbera manghas*)

Tanaman memiliki berbagai struktur morfologis dan anatomi yang berperan penting dalam proses adaptasi terhadap lingkungan, termasuk dalam menghadapi tekanan polusi udara. Salah satu struktur utama yang sering diamati adalah stomata. Stomata adalah bagian tumbuhan sebagai salah satu jalur yang digunakan tumbuhan untuk berinteraksi dengan lingkungannya (Sulistiana & Setijorini, 2016). Letak, jumlah, dan tipe stomata sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan sekitar, sehingga dapat menjadi indikator fisiologis dan ekologis suatu tanaman terhadap kualitas udara. Stomata daun bintaro di beberapa ruas jalan Kota Malang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Anatomi stomata pada Daun Bintaro (*Cerbera manghas*) dengan perbesaran 400x, St: stomata, Sp: Sel Penjaga

Berdasarkan hasil pengamatan mikroskopis dengan perbesaran 200x dan 400x tipe stomata yang ditemukan pada daun *Cerbera manghas* menunjukkan tipe stomata anomositik. Hal ini ditunjukkan dengan keberadaan sel penjaga yang dikelilingi oleh sejumlah sel epidermis yang memiliki bentuk dan ukuran serupa dengan sel epidermis lainnya. Selaras dengan pernyataan Sari dkk (2020) tipe

stomata anomositik ditemukan pada tiga jenis tanaman, yaitu Beringin (*Ficus benjamina*), Pucuk Merah (*Syzygium oleina*), dan Bintaro (*Cerbera manghas*). Stomata tipe anomositik dicirikan oleh keberadaan sel penjaga yang dikelilingi oleh sejumlah sel epidermis yang memiliki bentuk dan ukuran serupa dengan sel epidermis lainnya, tanpa adanya diferensiasi khusus.

4.2.2 Kerapatan Stomata (*Cerbera manghas*)

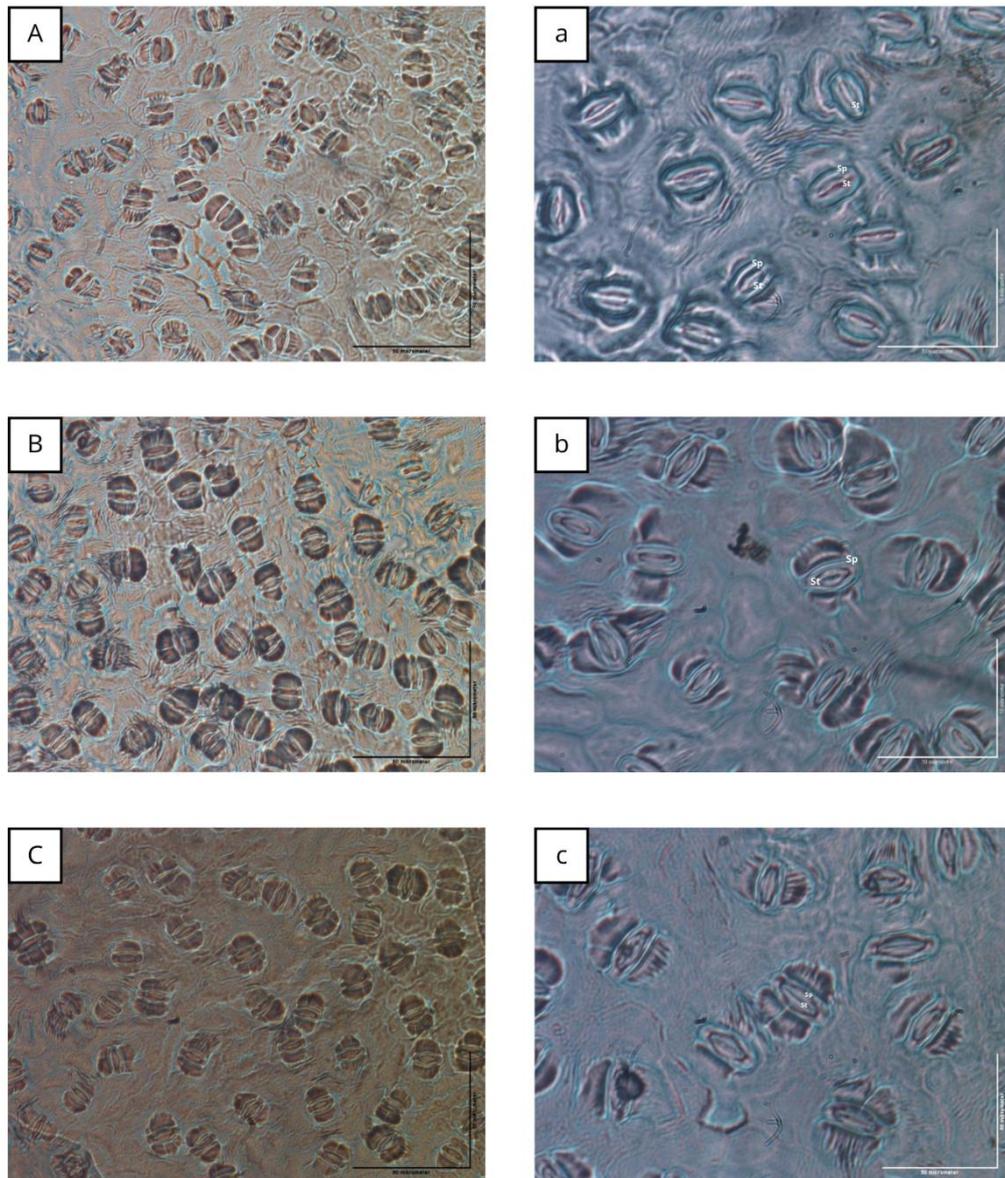
Stomata adalah bagian tumbuhan sebagai salah satu jalur yang digunakan tumbuhan untuk berinteraksi dengan lingkungannya. stomata juga bertindak sebagai salah satu jalur masuknya polutan yang berasal dari udara. Polutan seperti timbal yang memiliki ukuran partikel kurang dari 2 μ dapat masuk melalui stomata yang memiliki ukuran lebih besar (Sulistiana & Setijorini, 2016). Polutan yang berada di udara akibat dari emisi gas buang kendaraan berdampak terhadap kerapatan stomata daun bintaro. Hasil penelitian terhadap kerapatan stomata dari pohon Bintaro dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Kerapatan Stomata Daun Bintaro (*Cerbera manghas*)

Lokasi	Rata-Rata Kerapatan Stomata (per mm ²)	Kriteria (Marantika dkk. 2021)
Jl. Mt. Haryono	1673,64	Tinggi
Jl. Melati	1631,00	Tinggi
Jl. Raya Sawojajar	1322,67	Tinggi

Berdasarkan hasil rata-rata kerapatan stomata pada Tabel 4.2, kerapatan stomata tertinggi berada pada lokasi Jl. Mt. Haryono sebesar 1673,64 mm², kemudian disusul oleh Jl. Melati sebesar 1631,00 mm² dan kerapatan terendah berada pada lokasi Jl. Raya Sawojajar sebesar 1322,67 mm². Hasil dari perhitungan kerapatan stomata dari ketiga lokasi tersebut berdasarkan kriteria Marantika dkk (2021) termasuk pada kerapatan dengan kategori tinggi. Solihin (2014) menyatakan bahwa

emisi kendaraan bermotor dapat mempengaruhi jumlah stomata daun. Semakin tinggi jumlah kendaraan maka jumlah stomata semakin sedikit. Namun, dalam hal ini pernyataan tersebut tidak berkorelasi kuat dengan jumlah kendaraan di ruas Jl. Mt. Haryono yang merupakan dalam kategori tinggi. Kerapatan stomata ditunjukkan pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Kerapatan stomata pada Daun Bintaro (*Cerbera manghas*), A) Jl. Mt. Haryono (perbesaran 200x), B) Jl. Melati (perbesaran 200x), C) Jl. Raya Sawojajar (perbesaran 200x), a) A) Jl. Mt. Haryono (perbesaran 400x), b) Jl. Melati (perbesaran 400x), c) Jl. Raya Sawojajar (perbesaran 400x)

Pengamatan hasil dari kerapatan stomata pada daun bintaro bahwa pada Jl. Mt. Haryono memiliki jumlah kerapatan tertinggi, yaitu $1673,64 \text{ mm}^2$ dan terendah pada wilayah Jl. Raya Sawojajar sebesar $1322,67 \text{ mm}^2$. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.2 terdapat perbedaan kerapatan stomata diantara ketiga lokasi tersebut.

Kerapatan stomata dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah luas daun. Ukuran daun pada tumbuhan memengaruhi tingkat transpirasi. Daun yang lebih lebar cenderung memiliki lebih banyak stomata, yang menyebabkan peningkatan laju transpirasi (Papuangan & Djurumudi, 2014). Berdasarkan pernyataan tersebut daun bintaro pada ruas Jl. Mt. Haryono memiliki luas daun dan laju fotosintesis tertinggi. Hal ini menjadi salah satu indikasi bahwa kerapatan stomata pada Jl. Mt. Haryono memiliki kerapatan tertinggi. Menurut Maylani *et.al* (2020) semakin luas area daun maka semakin besar laju fotosintesis sehingga daun yang lebar cenderung memiliki banyak stomata.

4.3 Karakteristik Morfologi Daun Bintaro (*Cerbera manghas*) di Beberapa Ruas Jalan Kota Malang

4.3.1 Luas Daun Bintaro (*Cerbera manghas*)

Bagian tanaman yang dapat menyerap polutan adalah tajuk tanaman, terutama pada daun. Daun merupakan organ tumbuhan yang dapat dijadikan sebagai bioindikator yang paling peka terhadap kondisi suatu lingkungan dengan melihat secara makroskopis atau mikroskopis. Tanaman yang peka terhadap polutan akan menunjukkan perubahan morfologi, anatomi dan fisiologi (Gusti & Des, 2021). Perubahan morfologi pada daun secara makroskopis dapat dilihat melalui luas daun. Luas daun merupakan salah satu parameter yang berperan dalam mengatur pertukaran energi dan gas antara ekosistem daratan dengan atmosfer. Perbedaan luas daun pada tiap ruas jalan di beberapa Kota Malang ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Luas Daun Bintaro di Beberapa Ruas Jalan Kota Malang

No.	Lokasi	Rata-Rata Luas Daun (Cm ²)
1.	Jl. Mt. Haryono	79,39
2.	Jl. Melati	78,42
3.	Jl. Raya Sawojajar	76,15

Hasil dari analisis menunjukkan ruas Jl. Mt. Haryono memiliki luas daun tertinggi sebesar 79,39 cm², selanjutnya diikuti oleh Jl. Melati sebesar 78,42 cm² dan terakhir Jl. Raya Sawojajar sebesar 76,15 cm². Berdasarkan hasil analisis daun bintaro pada ruas Jl. Mt. Haryono memiliki luas daun tertinggi, Hal ini berkorelasi kuat dengan laju fotosintesis pada ruas Jl. Mt. Haryono dengan laju fotosintesis tertinggi. Luas daun bintaro berdasarkan tabel 4.3 memiliki korelasi kuat dengan laju fotosintesis. Santrum dkk (2024) menjelaskan bahwa indeks luas daun berkaitan dengan laju fotosintesis. Daun yang lebih luas cenderung memiliki kandungan klorofil yang lebih tinggi, sehingga laju fotosintesis semakin tinggi. Laju fotosintesis yang tinggi akan mendorong pertumbuhan tanaman menjadi lebih cepat. Luas daun berkaitan dengan fotosintesis yang dilakukan. Laju fotosintesis akan menurun pada tanaman yang memiliki luas daun yang lebih kecil (Hidayat dkk., 2019).

4.3.2 Morfologi Daun Bintaro (*Cerbera manghas*)

Daun *Cerbera manghas* berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan pada beberapa ruas jalan di Kota Malang memiliki morfologi yang berbeda. Pengamatan mencakup luas, warna dan bentuk daun yang diamati secara makroskopis. Morfologi daun Bintaro menjadi parameter penting dalam penelitian ini sebab daun Bintaro pada setiap lokasi mencerminkan keadaan lingkungan setempat. Hasil dari pengamatan yang dilakukan terhadap morfologi daun Bintaro ditunjukkan pada Gambar 4.3.

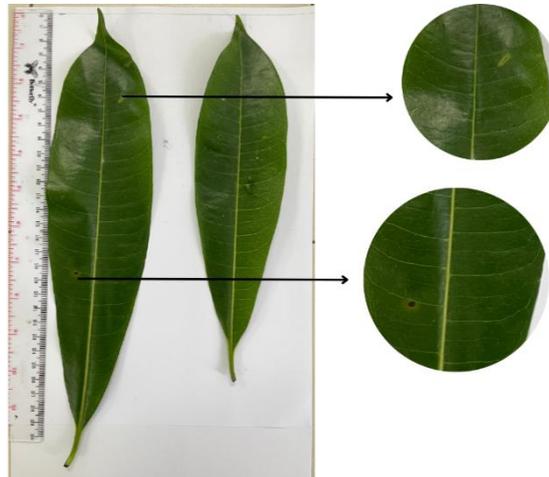


Gambar 4.3 Morfologi Daun Bintaro (*Cerbera manghas*) A) Jl. Mt. Haryono, B) Jl. Melati, C) Jl. Raya Sawojajar.

Daun Bintaro berdasarkan pengamatan morfologi memiliki bentuk daun lonjong dengan ujung daun yang meruncing, daun tunggal, permukaan atas daun yang mengkilap dan licin dan bertulang daun menyirip. Hal ini selaras dengan Prayuda (2014), pohon bintaro memiliki karakteristik daun berbentuk lonjong dengan ujung daun meruncing, tepi daun rata dan tulang daun menyirip. Putri dkk (2022) menyatakan, daun pohon bintaro memiliki permukaan daun yang halus dan warna permukaan atas daun dan bawah daun yang berbeda.

Daun Bintaro pada tiga lokasi yang berbeda menunjukkan terdapat perbedaan warna hijau. Berdasarkan Gambar 4.1 daun Bintaro di ruas Jl. Mt. Haryono memiliki warna hijau yang lebih tua (HEX:244B28/*dark green*) dibandingkan dengan daun pada ruas Jl. Melati dan Jl. Raya Sawojajar. Warna daun yang semakin hijau menandakan memiliki kandungan klorofil yang lebih tinggi (Rasyidi dkk., 2024). Zega dkk (2024) dalam penelitiannya, tanaman yang memiliki nilai laju fotosintesis yang tinggi ditunjukkan dengan warna hijau yang segar karena pembentukan klorofil yang optimal. Hal ini selaras dengan tingkat laju fotosintesis di ruas Jl. Mt. Haryono yang memiliki nilai laju fotosintesis tertinggi.

Daun bintaro pada ruas Jl. Mt. Haryono terdapat bercak hitam kekuningan pada beberapa daunnya dan pada ujung dan tepi daun terdapat perubahan warna menjadi hijau kekuningan. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.4



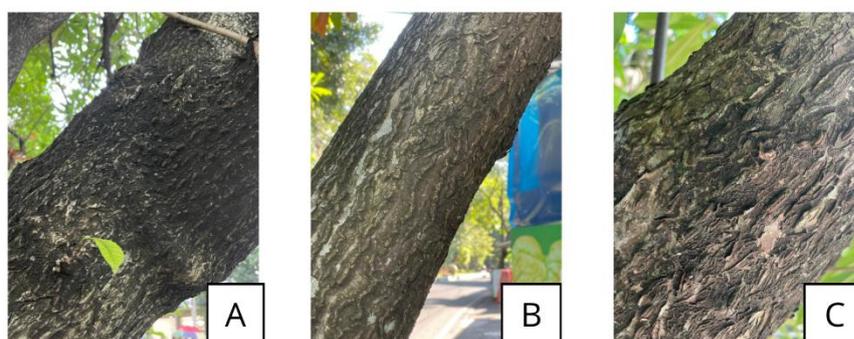
Gambar 4.4 Bercak hitam dan kekuningan pada daun bintaro (*Cerbera manghas*)

Bercak hitam pada daun bintaro kemungkinan disebabkan oleh tingginya polusi di udara pada jalan tersebut. Menurut Hardiyanti (2017), tanaman yang tumbuh pada wilayah dengan pencemaran yang tinggi mengalami berbagai gangguan pertumbuhan dan rawan berbagai penyakit, seperti klorosis, nekrosis dan bitnik hitam. Selain bercak hitam pada daun bintaro, salah satu tepi dan ujung daun dari daun bintaro mengalami perubahan warna menjadi lebih terang. Uzu dkk (2010) dalam penelitiannya menyatakan, kekuningan pada tepi dan ujung daun merupakan gejala nekrosis atau kerusakan jaringan akibat toksisitas logam. Daun yang mengalami nekrosis dan mengandung banyak logam menunjukkan logam-logam tersebut (seperti Pb, Zn, Fe, Cu, dan Mn) bersifat racun. Kemungkinan besar, sebagian logam masuk ke dalam sel tanaman dan mengganggu proses metabolisme di dalamnya. Keadaan bercak hitam serta menguningnya ujung dan tepi daun tidak selalu disebabkan karena timbal, berbagai faktor seperti, kekurangan unsur hara,

stress air atau kekeringan dan intensitas cahaya menjadi faktor keadaan bercak hitam serta menguningnya ujung dan tepi daun.

4.3.3 Morfologi Batang Bintaro (*Cerbera manghas*)

Batang tanaman berperan sebagai sebagai agen penyerap polutan dari udara. Permukaan batang dapat menangkap dan menahan partikel-partikel polutan, seperti debu dan logam berat yang terbawa oleh angin. Perubahan warna batang dapat dijadikan sebagai salah satu indikator akibat logam berat. Batang pohon bintaro berdasarkan hasil pengamatan pada beberapa ruas jalan di Kota Malang menunjukkan variasi warna yang berbeda. Hasil pengamatan morfologi pada batang pohon bintaro ditunjukkan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Batang Bintaro (*Cerbera manghas*) di beberapa ruas jalan di Kota Malang, A) Jl. Mt. Haryono, B) Jl. Melatai, C) Jl. Raya Sawojajar

Hasil analisis menunjukkan bahwa pohon Bintaro di Jl. Mt. Haryono memiliki warna batang coklat keabu-abu (HEX:87847D) atau paling gelap dibandingkan dengan pohon Bintaro di lokasi lainnya. Amelya dkk (2023) menyatakan bahwa, pohon bintaro memiliki permukaan batang yang halus dan berwarna coklat keabu-abuan. Warna batang yang gelap mengindikasikan adanya perbedaan kondisi lingkungan, tingkat pencahayaan, kelembaban, dan kualitas tanah yang dapat memengaruhi karakteristik fisik batang, termasuk warna dan teksturnya. Penelitian oleh Suci & Heddy (2017) menyatakan bahwa terdapat

pengaruh intensitas cahaya dengan morfologi meliputi, batang, lebar tajuk dan tampilan fisik daun. Selain pengaruh intensitas cahaya, kondisi lingkungan juga dapat mempengaruhi keadaan fisik batang pohon. Rafjur (2019) dalam penelitiannya menyatakan, pohon yang tumbuh di area yang tercemar lebih cenderung menampilkan batang yang lebih gelap dibandingkan dengan pohon di lingkungan yang bersih sebagai indikator pencemaran dari atmosfer.

Lokasi Jl. Mt. Haryono yang merupakan kawasan perkotaan padat dengan lalu lintas tinggi diduga menyebabkan stres lingkungan yang lebih besar pada pohon-pohon di sekitarnya, termasuk pohon Bintaro. Stres lingkungan dapat memicu peningkatan senyawa fenolik, yang menyebabkan warna batang menjadi lebih gelap (Chaves *et al.*, 2008). Perbedaan warna batang pohon Bintaro di berbagai ruas jalan dapat menjadi indikator adaptasi tanaman terhadap kondisi suatu lingkungan.

4.4 Laju Fotosintesis Daun Bintaro (*Cerbera manghas*) di Beberapa Ruas Jalan di Kota Malang

Hasil dari pengukuran laju fotosintesis dari tumbuhan *Cerbera manghas* pada tiga ruas jalan yang berbeda di Kota Malang, yaitu Jl. Mt. Haryono, Jl. Melati dan Jl. Raya Sawojajar memiliki hasil yang berbeda antar wilayah. Hasil selengkapnya dari pengukuran laju fotosintesis tumbuhan *Cerbera manghas* terdapat pada lampiran 1. Rata-rata laju fotosintesis dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Rata-Rata Laju Fotosintesis tumbuhan *Cerbera manghas*

No.	Lokasi	Rata-Rata ($\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$)
1.	Jl. Mt. Haryono	21,13
2.	Jl. Melati	12,41
3.	Jl. Raya Sawojajar	5,40

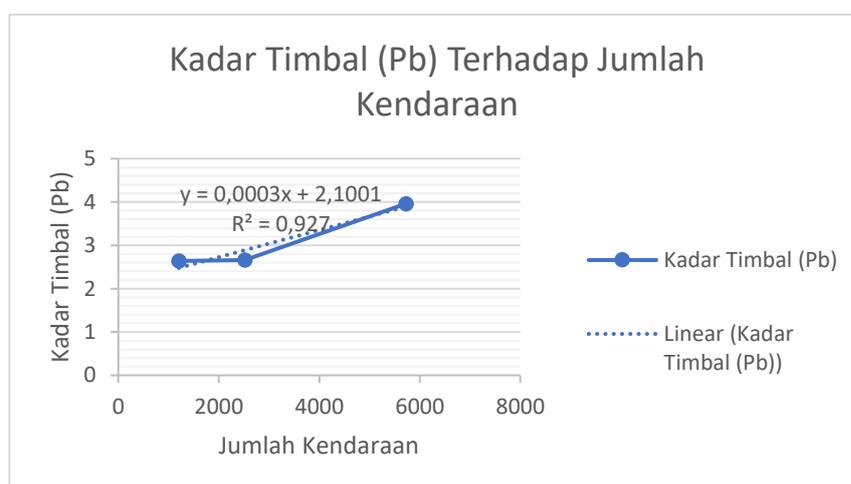
Hasil dari pengukuran laju fotosintesis berdasarkan Tabel 4.4 dari ketiga ruas jalan bahwa wilayah dengan laju fotosintesis tertinggi berada pada Jl. Mt. Haryono dengan nilai $21,13 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$, disusul oleh Jl. Melati sebesar $12,41 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ dan laju fotosintesis terendah berada pada Jl. Raya Sawojajar dengan nilai $5,40 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$. Rata-rata nilai laju fotosintesis Jl. Mt. Haryono secara umum lebih tinggi dibandingkan wilayah lainnya. Hal ini disebabkan karena pada wilayah tersebut memiliki intensitas cahaya yang baik meskipun dalam lokasi dengan kepadatan kendaraan yang tinggi.

Perbedaan laju fotosintesis antar wilayah kemungkinan disebabkan oleh berbagai faktor salah satunya adalah intensitas cahaya. Ruas Jl. Mt. Haryono memiliki laju fotosintesis yang tinggi, karena tumbuhan *Cerbera manghas* pada ruas jalan tersebut mendapatkan intensitas cahaya yang cukup baik. Saputri dkk (2025) menjelaskan dalam penelitiannya bahwa salah satu faktor yang mempengaruhi laju fotosintesis adalah intensitas cahaya. Cahaya matahari yang cukup menunjukkan pertumbuhan yang optimal dibandingkan pada tanaman ditempat teduh. Zannah dkk (2023) menjelaskan bahwa tingkat intensitas cahaya mempunyai peran penting dalam menentukan kecepatan dalam proses fotosintesis. Sedangkan, pada ruas Jl. Raya Sawojajar memiliki nilai laju fotosintesis yang rendah senilai $5,40 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$. Hal ini disebabkan tempat tumbuhnya tumbuhan *Cerbera manghas* berada pada kawasan wilayah yang kurang terpapar oleh cahaya (teduh). Wang *et.al* (2024) menunjukkan dalam penelitiannya bahwa area yang teduh dapat mengurangi laju fotosintesis secara signifikan. Area yang teduh mengurangi cahaya yang masuk kedalam daun sehingga berdampak pada tumbuhan dan hasil tanaman.

4.5 Korelasi Kandungan Timbal (Pb) dengan Jumlah Kendaraan dan Laju Fotosintensis dalam Daun Bintaro

4.5.1 Korelasi Kandungan Timbal (Pb) dengan Jumlah Kendaraan Daun Bintaro

Berdasarkan hasil uji korelasi yang dilakukan menggunakan *Microsoft Excel*, diperoleh nilai koefisien korelasi antara jumlah kendaraan dengan kandungan timbal (Pb) sebesar 0,927. Nilai ini menunjukkan adanya hubungan yang sangat kuat dan bersifat positif antara kedua variabel. Kurva korelasi jumlah kendaraan terhadap kandungan timbal ditunjukkan pada Grafik 4.1.



Grafik. 4.1 Kurva Timbal (Pb) Terhadap Kepadatan Kendaraan

Berdasarkan Gambar 4.4 menunjukkan nilai koefisien sebesar 0,927 hampir mendekati 1. Menurut Hasan (2008) semakin tinggi nilai korelasi yang mendekati angka 1, maka hubungan antar variabel semakin kuat, sedangkan jika mendekati 0, maka hubungan tersebut semakin lemah. Persamaan regresi yang diperoleh, yaitu $y = 0,0003x + 2,1001$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,927$. Hal ini menunjukkan bahwa sekitar 92,7% peningkatan kadar timbal di udara dapat dijelaskan oleh jumlah kendaraan sehingga menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara kedua

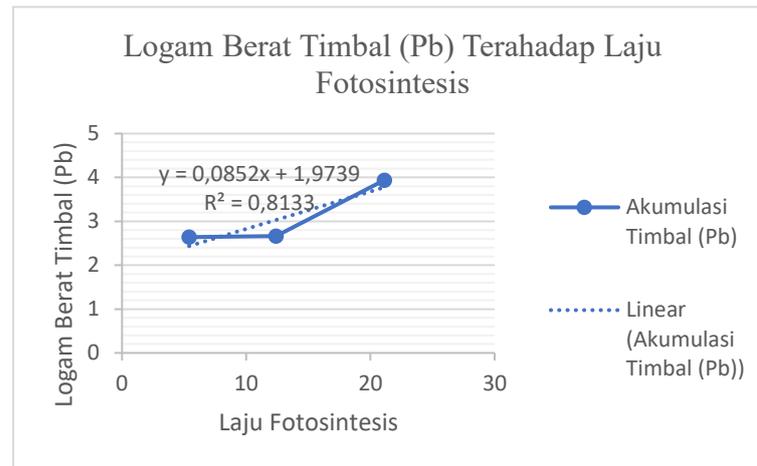
variabel. Berdasarkan persamaan diatas setiap peningkatan 1 (Mg/Kg) logam berat timbal berkorelasi dengan 1914 kendaraan.

Kepadatan kendaraan menjadi hal yang penting dalam pencemaran logam berat timbal (Pb) terutama dalam lingkungan perkotaan. Kepadatan kendaraan menjadi hal yang penting dalam pencemaran logam berat timbal (Pb), terutama dalam lingkungan perkotaan. Hal ini disebabkan oleh emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran bahan bakar, khususnya dari kendaraan bermotor berbahan bakar bensin, yang masih mengandung senyawa timbal sebagai aditif. Sektor transportasi merupakan kontributor utama pencemaran timbal (Pb) di udara, yang disebabkan oleh penggunaan timbal sebagai bahan aditif untuk menaikkan angka oktan dalam bensin (Hasbiah dkk., 2016). Aini dkk (2017) dalam penelitiannya menyatakan variasi kadar timbal yang diserap oleh daun kemungkinan dipengaruhi oleh perbedaan intensitas lalu lintas kendaraan bermotor di sekitar area pengambilan sampel. Semakin tinggi aktivitas kendaraan di lokasi tersebut, maka semakin besar pula jumlah timbal yang terserap oleh daun tanaman.

4.5.2 Korelasi Kandungan Timbal (Pb) terhadap Nilai Laju Fotosintesis Daun

Bintaro

Berdasarkan hasil uji korelasi yang dilakukan menggunakan *Microsoft Excel*, diperoleh nilai koefisien korelasi antara jumlah kendaraan dengan kandungan timbal (Pb) sebesar 0,8074. Nilai ini menunjukkan adanya hubungan yang kuat dan bersifat positif antara kedua variabel. Kurva korelasi jumlah kendaraan terhadap kandungan timbal ditunjukkan pada Grafik 4.2.



Grafik. 4.2 Kurva Logam Berat Timbal (Pb) Terhadap Laju Fotosintesis

Berdasarkan Gambar 4.5 menunjukkan nilai koefisien sebesar 0,8133 hampir mendekati 1. Menurut Hasan (2008) semakin tinggi nilai korelasi yang mendekati angka 1, maka hubungan antar variabel semakin kuat, sedangkan jika mendekati 0, maka hubungan tersebut semakin lemah. Persamaan regresi yang diperoleh, yaitu $y = 0,0852x - 1,9739$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,8133$. Persamaan tersebut, nilai koefisien regresi sebesar 0,8133 menunjukkan bahwa setiap kenaikan 1 Mg/Kg akumulasi Pb diasosiasikan dengan peningkatan laju fotosintesis sebesar $\pm 1,0$ satuan. Namun, dalam hal ini logam berat timbal (Pb) berkorelasi negatif terhadap laju fotosintesis. Menurut penelitian Cunha *et.al* (2020) menyatakan bahwa timbal (Pb) dapat mengganggu proses fotosintesis pada tanaman. Gangguan terjadi karena Pb memengaruhi reaksi cahaya dan proses pembentukan senyawa karbon, menyebabkan perubahan struktur kloroplas, serta memengaruhi kerja enzim antioksidan yang seharusnya melindungi sel tanaman, sehingga laju fotosintesis menurun dan proses pembentukan energi tidak berjalan secara optimal.

Penurunan laju fotosintesis tidak berpengaruh nyata terhadap akumulasi timbal (Pb). Hal ini disebabkan karena akumulasi timbal (Pb) yang terserap dalam daun bintaro pada kisaran yang rendah belum mencapai ambang toksisitas yang secara signifikan menghambat proses fotosintesis, sehingga tidak mempengaruhi laju fotosintesis secara signifikan. Hal ini sejalan dengan Zulfiqar *et al.* (2019), Pengaruh timbal (Pb) terhadap proses fotosintesis bersifat tidak linear dan sangat dipengaruhi oleh konsentrasi serta lama waktu paparan. Pada tingkat paparan yang rendah hingga sedang, tanaman masih mampu mempertahankan bahkan meningkatkan aktivitas fotosintesis melalui mekanisme kompensasi fisiologis, seperti peningkatan produksi senyawa antioksidan dan penyesuaian dalam jalur metabolisme karbon. Hasil uji regresi menunjukkan hasil positif dan kuat, namun tidak terdapat korelasi yang kuat antara laju fotosintesis dengan kepadatan kendaraan. Hal ini mengindikasikan bahwa faktor lain, seperti tingkat pencahayaan, kelembapan, kondisi tanah, dan struktur anatomi daun, juga memegang peran penting dalam menentukan tingkat fotosintesis tanaman. Hubungan dalam grafik ini mungkin mengindikasikan bahwa tanaman masih mampu melakukan mekanisme pertahanan diri terhadap stres logam berat pada kadar yang masih berada dalam batas toleransi fisiologisnya.

4.6 Pembahasan Hasil Penelitian dalam Prespektif Islam

Seluruh ciptaan Allah SWT. di muka bumi ini memiliki fungsi dan manfaat tersendiri bagi kehidupan manusia dan lingkungan. Salah satu ciptaannya adalah tumbuhan. tumbuhan tidak hanya memberikan keindahan dan keteduhan, naumun juga memiliki peran ekologis dalam menjaga keseimbangan alam. Salah satunya adalah pohon Bintaro (*Cerbera manghas*). Pohon bintaro dapat dijumpai pada tepi

jalan di kota-kota besar. Pohon bintaro memiliki fungsi sebagai pohon peneduh jalan, namun pohon bintaro juga berperan dalam menyerap polutan udara salah satunya adalah timbal. Pohon bintaro termasuk salah satu jenis pohon yang memiliki kemampuan efektif dalam menjerat timbal (Aini dkk., 2017). Allah SWT. berfirman dalam surah Al-an'am ayat 99:

وَهُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ نَبَاتَ كُلِّ شَيْءٍ فَأَخْرَجْنَا مِنْهُ خَضِرًا نُخْرِجُ مِنْهُ حَبًّا
مُتَرَكَبًا وَمِنَ النَّخْلِ مِنْ طَلْعِهَا قِنْوَانٌ دَانِيَةٌ وَجَنَّاتٍ مِنْ أَعْنَابٍ وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَّانَ مُشْتَبِهًا وَغَيْرَ
مُتَشَابِهٍ ۗ انظُرُوا إِلَى ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَيَنْعِهِ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَاتٍ لِقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ ﴿٩٩﴾

Artinya: “Dialah yang menurunkan air dari langit lalu dengannya Kami menumbuhkan segala macam tumbuhan. Maka, darinya Kami mengeluarkan tanaman yang menghijau. Darinya Kami mengeluarkan butir yang bertumpuk (banyak). Dari mayang kurma (mengurai) tangkai-tangkai yang menjuntai. (Kami menumbuhkan) kebun-kebun anggur. (Kami menumbuhkan pula) zaitun dan delima yang serupa dan yang tidak serupa. Perhatikanlah buahnya pada waktu berbuah dan menjadi masak. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang beriman.”

Ayat di atas menjelaskan bahwa Allah-lah yang menurunkan hujan dari langit. Hujan tersebut merupakan berkah dan rizki bagi hamba-hamba-Nya, berfungsi untuk memberi kehidupan dan memberi air kepada berbagai makhluk, serta menjadi rahmat bagi seluruh ciptaan-Nya. Air hujan tersebut, kemudian tumbuh beraneka ragam tumbuhan, dan dari tanaman-tanaman itu, Allah menciptakan tanaman yang hijau. Keberagaman tumbuhan tidak hanya memberikan keindahan dan pangan, tetapi juga memiliki fungsi ekologis yang sangat penting, seperti menyerap karbondioksida, menghasilkan oksigen, dan menyaring polutan dari udara.

Penelitian ini, pohon bintaro menjadi salah satu pohon yang digunakan sebagai bioakumulator dalam menyerap polutan terutama timbal yang berasal dari kendaraan bermotor pada beberapa ruas jalan di Kota Malang. Hidayat dkk (2019) dalam penelitiannya menyatakan bahwa beberapa jenis pohon yang dapat menyerap timbal dengan konsentrasi tinggi salah satunya adalah bintaro (152,1 ppm). Hal ini menunjukkan bahwa pohon bintaro memiliki kemampuan yang tinggi terhadap logam berat, khususnya timbal (Pb) yang merupakan salah satu polutan udara utama di kawasan perkotaan.

Logam berat Timbal (Pb) yang terjerat dalam daun akan memberikan dampak buruk bagi pertumbuhan tanaman. Akumulasi timbal pada daun bintaro akan menyebabkan penurunan jumlah stomata. Tanaman yang hidup disekitar lokasi dengan tingkat pencemaran yang tinggi, akan mengalami penurunan jumlah stomata. Semakin banyak stomata maka kadar timbal semakin sedikit (Aini dkk., 2017). Konsentrasi timbal yang tinggi dalam pohon bintaro dapat mempengaruhi laju fotosintesis, stomata daun serta morfologi dari pohon terutama pada luas daun. Logam berat timbal yang berada dalam suatu lingkungan merupakan salah satu bentuk pencemaran yang umumnya disebabkan oleh aktivitas manusia, seperti emisi kendaraan bermotor dan proses industri. Akumulasi timbal dalam jaringan tanaman, khususnya pada daun pohon bintaro, tidak hanya memengaruhi proses fisiologis seperti fotosintesis dan fungsi stomata, tetapi juga menyebabkan perubahan morfologis seperti penyusutan luas daun. Dalam perspektif Islam, tindakan manusia yang menyebabkan kerusakan lingkungan telah diingatkan oleh Allah SWT dalam Surah Ar-Rum ayat 41:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ

Artinya: “Telah tampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan perbuatan tangan manusia. (Melalui hal itu) Allah membuat mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka agar mereka kembali (ke jalan yang benar).”

Tafsir dari ayat tersebut menurut Tafsir Tahlili bahwa Dalam ayat ini diterangkan bahwa telah terjadi al-fasād di daratan dan lautan. *Al-Fasād* adalah segala bentuk pelanggaran atas sistem atau hukum yang dibuat Allah, yang diterjemahkan dengan “perusakan”. Perusakan itu bisa berupa pencemaran alam sehingga tidak layak lagi didiami, atau bahkan penghancuran alam sehingga tidak bisa lagi dimanfaatkan. Perusakan itu terjadi akibat perilaku manusia, misalnya eksploitasi alam yang berlebihan, peperangan, percobaan senjata, dan sebagainya.

Allah SWT. berfirman dalam surah Al-‘Araf ayat 58:

وَالْبَلَدُ الطَّيِّبُ يَخْرِجُ نَبَاتَهُ بِإِذْنِ رَبِّهِ وَالَّذِي خَبَثَ لَا يُخْرِجُ إِلَّا نَكِدًا كَذَلِكَ نُصَرِّفُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ
يَشْكُرُونَ ﴿٥٨﴾

Artinya: “Tanah yang baik, tanaman-tanamannya tumbuh subur seizin Tuhannya. Adapun tanah yang tidak subur, tanaman-tanamannya hanya tumbuh merana. Demikianlah Kami jelaskan berulang kali tanda-tanda kebesaran (Kami) bagi orang-orang yang bersyukur.”

Menurut Tafsir Al-Misbah, Surah Al-A’raf ayat 58 menjelaskan bahwa tumbuhan yang berada di lingkungan yang subur akan berkembang dengan optimal sesuai dengan hukum-hukum alam yang telah ditetapkan oleh Allah SWT. Sebaliknya, tanaman yang tumbuh di lingkungan yang kurang mendukung akan mengalami hambatan dalam proses pertumbuhan dan menghasilkan kualitas yang tidak maksimal (Shihab, 2005). Hasil dari analisis yang telah dilakukan tidak terdapat korelasi yang kuat terhadap kepadatan jumlah kendaraan dengan laju

fotosintesis, morfologi daun, batang dan stomata. Seperti pada ruas Jl. Mt. Haryono dengan kepadatan kendaraan yang tinggi memiliki nilai laju fotosintesis dan luas daun yang besar. Namun, dalam hal ini dapat terjadi karena berbagai faktor, seperti intensitas cahaya yang cukup, keberadaan mineral yang cukup, dan lainnya.

Berdasarkan dari ayat tersebut, meskipun tidak terdapat korelasi yang kuat antara kepadatan kendaraan dengan morfologi, anatomi, dan fisiologi daun bintaro, sebagai manusia tetap memiliki tanggung jawab untuk menjaga dan memelihara keadaan di muka bumi ini. Manusia diangkat sebagai khalifah (pemimpin) di bumi yang memiliki amanah besar untuk tidak merusak alam. Hal ini ditegaskan dalam Surah Al-Baqarah ayat 30:

وَإِذْ قَالَ رَبُّكَ لِلْمَلٰٓئِكَةِ اِنِّيْ جَاعِلٌ فِى الْاَرْضِ خَلِيْفَةً ۗ قَالُوْۤا اَتَجْعَلُ فِيْهَا مَنْ يُفْسِدُ فِيْهَا وَيَسْفِكُ الدِّمَآءَ ۗ

وَنَحْنُ نُسَبِّحُ بِحَمْدِكَ وَنُقَدِّسُ لَكَ ۗ قَالَ اِنِّيْۤ اَعْلَمُ مَا لَا تَعْلَمُوْنَ ﴿٣٠﴾

Artinya: “(Ingatlah) ketika Tuhanmu berfirman kepada para malaikat, “Aku hendak menjadikan khalifah¹³⁾ di bumi.” Mereka berkata, “Apakah Engkau hendak menjadikan orang yang merusak dan menumpahkan darah di sana, sedangkan kami bertasbih memuji-Mu dan menyucikan nama-Mu?” Dia berfirman, “Sesungguhnya Aku mengetahui apa yang tidak kamu ketahui.”

Tafsir dari ayat ini menurut Al-Misbah, *khalifah* berarti manusia diberi amanah dan tanggung jawab untuk mengelola, memelihara, dan menjaga bumi sesuai dengan aturan-aturan Allah. Allah memberikan kebebasan kepada manusia untuk mengatur urusan dunia, namun tetap dalam batas yang telah ditetapkan syariat. Oleh karena itu, manusia harus bertindak dengan bijak, adil, dan tidak merusak lingkungan.

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan:

1. Konsentrasi timbal (Pb) dalam daun bintaro (*Cerbera manghas*) nilai tertinggi terdapat pada Jl. Mt. Haryono sebesar 3,96 mg/kg, kemudian disusul oleh Jl. Melati dengan 2,66 mg/kg dan terendah pada Jl. Raya Sawojajar sebesar 2,64 mg/kg. Kandungan timbal yang terjerat dalam daun tanaman tergolong normal (0,5-3,00 ppm) kecuali pada Jl. Mt. Haryono.
2. Karakteristik anatomi daun bintaro (*Cerbera manghas*) di beberapa ruas jalan berbeda di Kota Malang menunjukkan tipe stomata anomositik. Kemudian, kerapatan stomata daun bintaro (*Cerbera manghas*) di beberapa ruas jalan berbeda di Kota Malang menunjukkan nilai tertinggi pada lokasi Jl. Mt. Haryono sebesar 1673,64 mm², kemudian disusul oleh Jl. Melati sebesar 1631,00 mm² dan kerapatan terendah berada pada lokasi Jl. Raya Sawojajar sebesar 1322,67 mm².
3. Karakteristik morfologi bintaro (*Cerbera manghas*) di beberapa ruas jalan berbeda di Kota Malang menunjukkan ruas Jl. Mt. Haryono memiliki luas daun tertinggi sebesar 79,39 cm², selanjutnya diikuti oleh Jl. Melati sebesar 78,42 cm² dan terakhir Jl. Raya Sawojajar sebesar 76,15 cm². Daun bintaro pada ruas Jl. Mt. Haryono memiliki warna hijau yang lebih tua (HEX:244B28/*dark green*) dan terdapat bercak hitam kekuningan pada beberapa daunnya dan pada ujung dan tepi daun. selain itu, pada batang bintaro pohon Bintaro di Jl. Mt. Haryono memiliki warna batang coklat keabu-abu (HEX:87847D) atau paling gelap dibandingkan dengan pohon Bintaro di lokasi lainnya.

4. Laju fotosintesis di beberapa ruas jalan di Kota Malang menunjukkan bahwa wilayah dengan laju fotosintesis tertinggi berada pada Jl. Mt. Haryono dengan nilai $21,13 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$, disusul oleh Jl. Melati sebesar $12,41 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$ dan laju fotosintesis terendah berada pada Jl. Raya Sawojajar dengan nilai $5,40 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$. Rata-rata nilai laju fotosintesis Jl. Mt. Haryono secara umum lebih tinggi dibandingkan wilayah lainnya.
5. Korelasi logam berat timbal (Pb) dengan jumlah kendaraan menunjukkan korelasi positif dan sangat kuat yang ditunjukkan dengan nilai koefisien sebesar $0,927$ hampir mendekati 1.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya selain mengukur konsentrasi Pb pada daun, dapat dilakukan mengukur konsentrasi logam berat timbal (Pb) pada bagian organ pohon lainnya seperti batang dan akar dari jenis tanaman peneduh jalan yang berbeda serta mengukur konsentrasi logam berat timbal pada tanah. Kemudian melihat pengaruh Pb ditinjau dari aspek morfologi, anatomi dan fisiologi pada tanaman peneduh jalan agar data yang didapatkan lebih akurat.
2. Penelitian ini merupakan penelitian awal sehingga dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya, seperti kadar timbal dalam tanah untuk dilakukan pengukuran.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdel-Rahman, G. N. E. 2022. Heavy metals, definition, sources of food contamination, incidence, impacts and remediation: A literature review with recent updates. *Egyptian Journal of Chemistry*, 65(1), 419-437.
- Adwiwartika, F. 2020. *Validasi metode analisis logam timbal (Pb) pada daun mangga (mangifera indica l.) melalui destruksi asam dengan spektrofotometri serapan atom*. Skripsi. Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Agustina, T. 2014. Kontaminasi Logam Berat pada Makanan dan Dampaknya pada Kesehatan. *Teknobunga*, 1(1).
- Agustina, T. 2014. Kontaminasi logam berat pada makanan dan dampaknya pada kesehatan. *TEKNOBUGA: Jurnal Teknologi Busana Dan Boga*, 1(1).
- Aini, F., Mardiyah, S., Wahyuni, F., Millah, A. U., & Ihsan, M. 2017. Kajian tanaman penyerap timbal (Pb) dan pengikat karbon di lingkungan Kampus Universitas Jambi. *BIO-SITE| Biologi dan Sains Terapan*, 3(2), 54-60.
- Alex, S. 2020. *Investasi Emas Hijau Budidaya Sengon*. Yogyakarta: Pustaka Baru Press.
- Amnawaty, A. 2014. NILAI ISLAM DALAM UPAYA PENANGGULANGAN PENCEMARAN LINGKUNGAN HIDUP. *Akademika: Jurnal Pemikiran Islam*, 19(2), 287-303.
- Antoniadis, V., Levizou, E., Shaheen, S. M., Ok, Y. S., Sebastian, A., Baum, C., et.al. 2017. Trace elements in the soil-plant interface: Phytoavailability, translocation, and phytoremediation—A review. *Earth Science Reviews*, 171, 621–645.
- Anu, O., Rampe, H. L., & Pelealu, J. J. 2017. Struktur sel epidermis dan stomata daun beberapa tumbuhan suku euphorbiaceae. *Jurnal MIPA*, 6(1), 69-73.
- Arifiyana, D., Devianti, V. A., & Wardani, R. K. (2023). Edukasi Bahaya Logam Berat dalam Tubuh dan Sumber Kontaminannya. *Jurnal Abdi Masyarakat Kita*, 3(1), 40-52.
- Azzahri, S. E., Burhan, M., & Muchsin, R. 2020. Perbedaan Penyerapan Pb pada Berbagai Jenis Tanaman. *Jurnal Sehat Mandiri*, 15(1).
- Based, J.R.C., Denney, G., Jefferey, J., & Mendom. 1994. *Buku Ajar Vogel Kimia Analisa Kuantitatif Anorganik*. Jakarta: EGC.
- Bestari, I. A. P., & Riawan, I. M. O. 2024. Keanekaragaman Anatomi Epidermis Daun dan Indeks Stomata Jepun Cenana *Plumeria alba* var. *chendana* Berdasarkan Lingkungan Tumbuhnya di Bali Utara. *Jurnal Biologi UNAND*, 12(2), 106-113.
- Budiyanto, E., & Handono, S.D. 2020. *Pengujian Material*. Lampung: Laduny Alifatama.
- Campbell, N.A., Reece, J.B., & Mitchell, L.G. 1999. *Biologi Jilid 2*. Jakarta: Erlangga
- Chan, E. W. C., Wong, S. K., Chan, H. T., Baba, S., & Kezuka, M. 2016. Cerbera are coastal trees with promising anticancer properties but lethal toxicity: A short review. *Journal of Chinese Pharmaceutical Sciences*, 25(3),161-169.

- Chen, G., Li, J., Han, H., Du, R., & Wang, X. 2022. Physiological and molecular mechanisms of plant responses to copper stress. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(21), 12950.
- Collin, S., Baskar, A., Geevarghese, D. M., Ali, M. N. V. S., Bahubali, P., Choudhary, R., dkk. 2022. Bioaccumulation of lead (Pb) and its effects in plants: A review. *Journal of Hazardous Materials Letters*, 3.
- Cunha, A. R. D., Ambrósio, A. D. S., Wolowski, M., Westin, T. B., Govêa, K. P., Carvalho, M., & Barbosa, S. 2020. Negative effects on photosynthesis and chloroplast pigments exposed to lead and aluminum: A meta-analysis. *Cernea*, 26(2), 232-237.
- Da Costa, J. P., Avellan, A., Mouneyrac, C., Duarte, A., & Rocha-Santos, T. 2023. Plastic additives and microplastics as emerging contaminants: Mechanisms and analytical assessment. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 158, 116898.
- De Carvalho, I.F., Rosalem, P.F., Frachia, C.D.L., Alves, P.B., Cozin, B.B., *et al.* 2025. Increase in Lead (Pb) Concentration in the Soil Can Cause Morphophysiological Changes in the Leaves of *Inga vera* subsp. *affinis* (DC.) T.D.Penn. and *Inga laurina* (Sw.) Willd. *Plants*, 14(6), 856.
- Dewi, S. Y., & Indri, H. 2012. Kajian Efektivitas Daun Puring (*Codiaeum variegatum*) dan Lidah Mertua (*Sansevieria trispasciata*) dalam Menyerap Timbal di Udara Ambien. *Jurnal Ilmiah Universitas Satya Negara Indonesia*, 5(2), 1-7.
- Diharjo, D., & Nurmiyati, N. 2024. Keanekaragaman dan Hubungan Kekerabatan Fenetik Spesies Anggota Famili Apocynaceae di Kawasan Kampus Universitas Sebelas Maret, Surakarta. *Spizaetus: Jurnal Biologi dan Pendidikan Biologi*, 5(1), 68-79.
- Ebadi, A.G., S.Zare., M.Mahdavi, M. Babee. 2005. Study and Measurement of Pb, Cd, Cr and Zn in Green Leaf of Tea Cultivated in Gilllan Province of Iran. *Pakistan Journal of Nutrition* 4 (4): 270-272.
- Emile, A. F., & Barde, B. G. 2020. Bioaccumulation of heavy metals in mangoes (*Mangifera indica* L.) found in the vicinity of gold mining sites of Zamfara State, Nigeria. *Journal of Environmental Chemistry and Ecotoxicology*, 12(1), 45-58.
- Ervianti, T. E., Ikhtiar, M., & Bintara, A. 2021. Analisis Risiko Kesehatan Lingkungan Paparan Timbal (Pb) pada Pa'limbang-limbang di Jl. Urip Sumoharjo Kota Makassar. *Jurnal Sanitasi dan Lingkungan*, 2(1), 128-138.
- Faisal, M., Ramadhona, N., Khairani, D., & Panjaitan, R. D. P. br. & Sinaga, A. 2024. Respon Tumbuhan Terhadap Pencemaran Polusi Udara di Kawasan Kota Binjai. *Jurnal Sains dan Ilmu Terapan*, 7(2), 114-125.
- Farhan, A., Lauren, C. C., & Fuzain, N. A. 2023. Analisis Faktor Pencemaran Air dan Dampak Pola Konsumsi Masyarakat di Indonesia. *Jurnal Hukum dan HAM Wara Sains*, 2(12), 1095-1103.
- Fasani, E., Manara, A., Martini, F., Furini, A., & DalCorso, G. 2018. The potential of genetic engineering of plants for the remediation of soils contaminated with heavy metals. *Plant, cell & environment*, 41(5), 1201-1232.
- Fauzia, S., Hardiasyah, H., & Mahrudin, M. 2021. Keanekaragaman Jenis *Mangifera* di Bantaran Sungai Desa Beringin Kencana Kecamatan Tabunganen Kalimantan Selatan. *Jurnal Pendidikan Biologi*, 10(2), 26-34.

- Fitriah, L., Yani, M., & Effendi, S. 2017. Dampak pencemaran aktivitas kendaraan bermotor terhadap kandungan timbal (Pb) dalam tanah dan tanaman padi. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 7(1), 11-18.
- Gómez, L., Contreras, A., Bolonio, D., Quintana, J., Oñate-Sánchez, L., & Merino, I. 2019. *Phytoremediation with trees*. In *Advances in Botanical Research*. Cambridge: Academic Press.
- Gupta, M., Dwivedi, V., Kumar, S., Patel, A., Niazi, P., & Yadav, V. K. 2024. Lead toxicity in plants: mechanistic insights into toxicity, physiological responses of plants and mitigation strategies. *Plant Signaling & Behavior*, 19(1).
- Gusti, W., Noviana, N., Sartika, R., Anggraini, L., Pradipta, A., & Johan, H. 2022. Studi pencemaran tanah sebagai bahan pengayaan topik teknologi ramah lingkungan untuk siswa SMP. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 12(4), 1252-1258.
- Gusti, Y. S., & Des, M. 2021. Characteristics Of Ketapang Leaf Stomata (*Terminalia catappa* L.) On The Road Dr. Hamka And Taman Hutan Raya Bung Hatta In Kota Padang. In *Prosiding Seminar Nasional Biologi* (Vol. 1, No. 2, pp. 1562-1567).
- Hakim, A., Subekti, S., & Sugijanto, N. E. N. 2016. Studi Penurunan Logam Berat Cu²⁺ dan Cd²⁺ dengan Menggunakan Limbah Kulit Pisang Kepok (*Musa acuminata*). *Jurnal Biosains Pascasarjana*, 18(1), 24-34.
- Hananingtyas, I. 2017. Bahaya kontaminasi logam berat merkuri (Hg) dalam ikan laut dan upaya pencegahan kontaminasi pada manusia. *Al-Ard: Jurnal Teknik Lingkungan*, 2(2), 38-45.
- Handayanto E., Nuraini, Y., Muddarisna, N.n Syam, A., & Fiqri, A. 2017. *Fitoreemdiiasi dan Phytomining Logam Berat Tercemar Tanah*. Yogyakarta: Plantaxia
- Harahap, F. R. 2013. Dampak urbanisasi bagi perkembangan kota di Indonesia. *Jurnal Society*, I (1)
- Hasan, M.I. 2008. *Pokok Pokok Statistik untuk Teknk dan Sains*. Jakarta: PT Gelora Aksara Pratama
- Hidayat, I. R. S., Napitupulu, R. M. 2015. *Kitab tumbuhan obat*. Agriflo.
- Hidayat, M. Y., Fauzi, R., & Hindratmo, B. 2019. Konsentrasi timbel (Pb) pada daun dari beberapa jenis pohon di sekitar kawasan industri Kadu Manis, Tangerang. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 8(1), 19-25.
- Hidayati, A. Z., & Zakianis. 2022. Analisis Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (Iklh) Di Indonesia Tahun 2017-2019. *Jurnal Medika Hutama*, 3, 2327-2340.
- Hindratmo, B., Junaidi, E., Masitoh, S., Fauzi, R. F., & Hidayat Muhamad Yusup, R. 2019. Kemampuan 11 (Sebelas) Jenis Tanaman dalam Menyerap Logam Berat Timbel (Pb) Capabilities 11 (Eleven) Species to Reduce Lead (Pb) Pollution. *Ecolab*, 11, 29-38.
- Hussain, S.Z., Naseer, B., Qadri, T., Fatima, T., Bhat, T.A. 2021. *Mango (Mangifera Indica)- Morphology, Taxonomy, Composition and Health Benefits*. In: *Fruits Grown in Highland Regions of the Himalayas*. Switzerland: Springer.
- Ide, P. 2013. *Health secret of mango*. Jakarta: Elex Media Komputindo.
- Indian Biodiversity. 2015. *Paraserianthes falcataria* (L.)I.C.Nielsen. <https://indiabiodiversity.org/observation/show/378416>

- Indriani, A., Bobby, J. V. P., & Tommy, O. 2021. Potensi Daun Trembesi (*Albizia sama* (Jacq.) Merr.) sebagai Bioakumulator Logam Berat Timbal (Pb) di Kota Manado. *Jurnal Agroekoteknologi Terapan*, 2(2), 21–31.
- Irhamni, I., Pandia, S., Purba, E., Hasan, W. 2017. Serapan logam berat esensial dan non esensial pada air lindi TPA kota Banda Aceh dalam mewujudkan pembangunan berkelanjutan. *Jurnal Serambi Engineering*, 2(1).
- Ismail, B., & Hadiyan, Y. (2008). Evaluasi Awal Uji Keturunan Sengon (*Falcataria Molucca*) Umur 8 Bulan Di Kabupaten Kediri Jawa Timur. *Jurnal Pemuliaan Tanaman Hutan*, 2(3), 287-293.
- Jabar, M. A., Nadifa, J. A., & Sulistiyowati, M. 2024. Comprehensive Study of the Morphology and Anatomy of Mango (*Mangifera indica*) as a Differentiator from Other Species: A Literature Review. *Jurnal Serambi Biologi*, 9(1), 138-151.
- Jakfar. 2023. *Kajian Pemanfaatan Adsorben Ramah Lingkungan Pada Adsorpsi Logam Berat Berbahaya Serta Optimasi*. Aceh: Syiah Kuala University Press.
- Juhri, D. A. 2017. Pengaruh Logam Berat (Kadmium, Kromium, dan Timbal) terhadap Penurunan Berat Basah Kangkung Air (*Ipomoea aquatica* Forsk) sebagai Bahan Penyuluhan Bagi Petani Sayur. *Jurnal Lentera Pendidikan Pusat Penelitian LPPM UM Metro*, 2(2), 219-229.
- Kartika, Y. S., Ginting, Y. C., & Karyanto, A. 2014. Pengaruh Konsentrasi Tembaga Terbaik Untuk Pertumbuhan Dan Produksi Dua Varietas Melon (*Cucumis Melo* L.) Pada Sistem Hidroponik Media Padat. *Jurnal Agrotek Tropika*, 2(3).
Kementerian Agama Republik Indonesia.
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2008. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 05/PRT/M/2008 tentang Pedoman Penyediaan dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau di Kawasan Perkotaan*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Khan, I. U., Qi, S. S., Gul, F., Manan, S., Rono, J. K., et.al. 2023. A green approach used for heavy metals 'phytoremediation' via invasive plant species to mitigate environmental pollution: a review. *Plants*, 12(4), 725.
- Kostaki, K-I., Aude, C-L., Verity, C. B., Mathilda, G., Sun, P., Fiona, J. M., Donald P. F., Deirdre H. M., Alistair M. H., Antony N. D., Keara A. F. 2020. 'Guard Cells Integrate Light and Temperature Signals to Control Stomatal Aperture'. *Plant Physiology*, 182 (3), 1404–1419.
- Krisnawati, H., Varis, E., Kallio, M., dan Kanninen, M. 2011. *Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen *Ekologi, Silvikultur dan Produktivitas*. Bogor: CIFOR.
- Leba, S. W., Alfian, R., & Kurniawan, H. 2022. STUDI PERSEPSI PENGUNJUNG TERHADAP PENGELOLAAN HUTAN DI KOTA MALABAR MALANG. *Jurnal Bhuwana*, 86-98.
- Li, F., Huang, J., Zeng, G., Yuan, X., Li, X., Liang, J., dkk.,. 2013. Spatial risk assessment and sources identification of heavy metals in surface sediments from the Dongting Lake, Middle China. *Journal of Geochemical Exploration*, 132, 75-83.
- Lolo, A., Patandean, C. F., & Ruslan, E. 2020. Karakterisasi Air Daerah Panas Bumi Pencong Dengan Metode AAS (*Atomic Absorption Spectrophotometer*) Di Kecamatan Biringbulu, Kabupaten Gowa Propinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Gecelebes*, 4(2), 102-110.

- Maharani, E. P., Briliana, H., Putri, E. H., Faraditta, F. S., & Az-zhaffirah, A. R. 2024. A Comprehensive Review on Atomic Absorption Spectroscopy: Principles, Techniques, and Applications. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 10(15), 20-29.
- Mangkoedihardjo, S., & Samudro, G. 2010. *Fitoteknologi Terapan*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Manisalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., & Bezirtzoglou, E. 2020. Environmental and health impacts of air pollution: a review. *Frontiers in public health*, 8, 14.
- Marantika, M., Hiariej, A., & Sahertian, D. E. 2021. Kerapatan dan distribusi stomata daun spesies mangrove di Desa Negeri Lama Kota Ambon. *Jurnal Ilmu Alam dan Lingkungan*, 12(1).
- Marazziti, D., Cianconi, P., Mucci, F., Foresi, L., Chiarantini, I., & Della Vecchia, A. 2021. Climate change, environment pollution, COVID-19 pandemic and mental health. *Science of the total environment*, 773, 145182.
- Maulana, R., Riska, A. S., & Kusuma, H. E. 2021. Fungsi Hutan Kota: Korespondensi Motivasi Berkunjung dan Kegiatan. *Jurnal Lanskap Indonesia*, 13(2), 54-60.
- Middleton, D.J., Rodda, M. 2019. Apocynaceae. *Flora of Singapore*, 13, 421–630.
- Muadifah, A. 2019. *Pengendalian Pencemaran Lingkungan*. Malang: Media Nusa Creative (MNC Publishing).
- Mufidah, N. I. 2024. Analisis Logam Berat di Muara Kali Jagir Kawasan Mangrove Wonorejo Kecamatan Rungkut Kota Surabaya Jawa Timur. *Skripsi*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. Malang
- Muslimah, M. S. 2017. Dampak pencemaran tanah dan langkah pencegahan. *J. Penelit. Agrisamudra*, 2(1), 11-20.
- Muwarni, S., Prasetiawati, E., Widiastuti, E. L., Supriyanto, S., & Rivai Farida, I. 2019. Analysis of heavy metals in coral fish species in sea natural reserves of Krakatau Islands. *International Journal of Ecophysiology*, 1(2), 107-116.
- Nababan, TV., Santi, R., & Pratama, D. 2023. Pengaruh Pemberian Timbal (Pb) Terhadap Pertumbuhan Dua Varietas Lada (*Piper nigrum* L). *Enviagro: Jurnal Pertanian dan Lingkungan*, 9(2), 23-33.
- Naz, M., Dai, Z., Hussain, S., Tariq, M., Danish, S., Khan, I. U., Qi, S., & Du, D. 2022. The soil pH and heavy metals revealed their impact on soil microbial community. *Journal of Environmental Management*, 321, 115770.
- Novita, S., Mangara, I., & Hendri. 2015. *Analisis Kadar Logam Pb Dan Cu Pada Saluran Pembuangan Limbah Laboratorium Kimia Universitas Negeri Gorontalo dengan Menggunakan Metode Spektrofotometer Serapan Atom (SSA)*. [Skripsi]. Gorontalo: Universitas Negeri Gorontalo.
- Nurhayati, A., Ummah, Z. I., & Shobron, S. 2018. Kerusakan lingkungan dalam Al-Qur'an. *Suhuf*, 30(2), 194-220.
- Nurlaela., Saadjad, D.Y., & Puspaprawati, D. 2024. *Mengenal Flora Arboretum Bumi Harapan*. Pekalongan: PT. Nasya Expanding Management.
- Opasola, O. A., Adeolu, A. T., Iyanda, A. Y., Adewoye, S. O., & Olawale, S. A. 2019. Bioaccumulation of Heavy Metals by *Clarias gariepinus* (African Catfish) in Asa River, Ilorin, Kwara State. *Journal of Health & Pollution*, 9(21), 1–10.

- Pambudi, M. A. R., & Suprpto, S. 2019. Penentuan Kadar Tembaga (Cu) dalam Sampel Batuan Mineral. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 7(2), 20-23.
- Papuangan, N., & Djurumudi, M. 2014. Jumlah dan distribusi stomata pada tanaman penghijauan di Kota Ternate. *Journal of Bioeducation*, 2(1).
- Parubak, A. S., Rombe, Y. P., Surbakti, P. S., Larasati, C. N., Yogaswara, R., Anwar, A., dkk.,. 2023. Identifikasi logam berat Pb dan Cd pada air sumur di Kampung Bugis Wosi Papua Barat. *Chem. Prog*, 16(1).
- Peraturan Pemerintah RI. 2002. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 63 Tahun 2002 Tentang Hutan Kota*. Jakarta: Sekretariat Negara
- Permata, M.A.D., Purwiyanto, A.I.S., Diansyah, G. 2018. Kandungan Logam Berat Cu (Tembaga) Dan Pb (Timbal) Pada Air Dan Sedimen Di Kawasan Industri Teluk Lampung, Provinsi Lampung. *Journal of Tropical Marine Science*, 1(1), 7-14.
- Polosakan, R. 2016. Sebaran Jenis-Jenis Mangifera di Indonesia. *Jurnal Penelitian Dan Pengabdian Masyarakat*, 4(1), 93–98
- Pracaya, I. 2011. *Bertanam mangga*. Jakarta: Penebar Swadaya Grup.
- Prasetyo, R. A. 2021. Review Jurnal Teknologi Fitoremediasi Untuk Pemulihan Lahan Tercemar Minyak. *PETRO: Jurnal Ilmiah Teknik Perminyakan*, 10(2), 53-59.
- Prayuda, Y. E. 2014. *Efikasi Ekstrak biji bintaro (cerbera manghas) sebagai larvasida pada larva aedes aegypti l. instar III/IV*. Skripsi. Jakarta: Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta.
- Puspita, I. S., & Mirwan, M. 2021. Fitoremediasi Limbah Laundry Menggunakan Tanaman Mensiang (*Actinoscirpus Grossus*) Dan Lembang (*Thypa Angustifolia L.*). *EnviroUS*, 2(1), 61-66.
- Putra, I. P., Leksono, A. S., Parmawati, R., & Li, T. 2024. The best scenario for the development of public green open space zones in Malang, Indonesia. *Jurnal Pendidikan Geografi: Kajian, Teori, dan Praktek dalam Bidang Pendidikan dan Ilmu Geografi*, 29(2), 10.
- Putri, S. E., Dharmono, D., & Irianti, R. 2022. Kajian Etnobotani Cerbera manghas (Bintaro) Pada Masyarakat Dayak Bakumpai Desa Bagus Kabupaten Barito Kuala Sebagai Buku Ilmiah Populer. *JUPEIS: Jurnal Pendidikan dan Ilmu Sosial*, 1(4), 139-152.
- Rabiee, M., Kaviani, B., Kulus, D., & Eslami, A. 2024. Phytoremediation potential of urban trees in mitigating air pollution in Tehran. *Forests*, 15(8), 1436.
- Rahayu, A. A. (2021). Penilaian Ekonomi Hutan Kota Srengseng Sebagai Penyedia Jasa Lingkungan Berupa Kesejukan. *Jurnal Acitya Ardana*, 1(1), 30-34.
- Rahmawati, A. S. N., Wicaksono, A. S., El Nisa, T. D., & Hutahaeen, P. M. 2024. Analisis Kadar Logam Berat dalam Kosmetik dengan Metode AAS: Studi Kasus pada Sediaan Krim Pemutih Wajah. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 10(16), 43-56.
- Rajfur, M. 2019. Assessment of the possibility of using deciduous tree bark as a biomonitor of heavy metal pollution of atmospheric aerosol. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(35), 35945-35956.
- Ramadhan, F., Ramadana, M. M., Hastin, M. R., & Supriatna, A. 2024. Identifikasi Karakter Morfologi Mangga (*Mangifera Indica L.*) di Kecamatan Panyileukan, Jawa Barat, Indonesia. *Botani: Publikasi Ilmu Tanaman dan Agribisnis*, 1(3), 27-37.

- Ratnawulan. 2019. *Biolumenensi Kunang-Kunang*. Malang: CV IRDH.
- Rifai, A. K., & Puspitawati, R. P. 2022. Respon Morfologi, Anatomi dan Fisiologi Daun Kersen (*Muntingia calabura*) Akibat Paparan Timbal Pb yang Berbeda di Surabaya. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 11(1): 8-14
- Robi, R., Aritonang, A., & Sofiana, M. S. J. 2021. Kandungan Logam Berat Pb, Cd dan Hg pada Air dan Sedimen di Perairan Samudera Indah Kabupaten Bengkayang, Kalimantan Barat. *Jurnal Laut Khatulistiwa*, 4(1), 20-28.
- Rois, I., & Muryani, S. 2023. Puring Potensi Bioremediasi Tanaman Puring (*Codiaeum variegatum*) terhadap Pencemaran Timbal (Pb) di Jalan Raya: Studi Lapangan: Potensi Bioremediasi Tanaman Puring (*Codiaeum variegatum*) terhadap Pencemaran Timbal (Pb) di Jalan Raya: Studi Lapangan. *Sanitasi: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 16(2).
- Romadhon, N., Ni'matuzahroh, D., Purnobasuki, H., Rohmayani, V., Arimurti, A. R. R., Riandi, M. I., & Juniawan, M. F. 2023. Fitoremediasi Mangrove Dalam Penurunan Kadar Logam Pb, Hg Dan Cu. Surabaya: UMSurabaya Publishing.
- Rosita, N. 2023. Analisis logam berat pb, fe dan mn air tanah sekitar Tempat Pembuangan Akhir Sampah Tangerang. *ALOTROP*, 7(1), 1-5.
- Ruekert, L. F., Cunningham, E. A., & Naqvi, H. 2019. Cerbera odollam: a case report of attempted suicide by pong pong. *Journal of Psychiatric Practice*, 25(3), 219-221.
- Saputri, A., Prayogo, M. S., & Ni'mah, F. 2025. Pengaruh Intensitas Cahaya Terhadap Laju Fotosintesis pada Tanaman Bayam (*Amaranthus Sp.*). *Flora: Jurnal Kajian Ilmu Pertanian dan Perkebunan*, 2(2), 01-13.
- Saras, T. 2023. *Sarang Walet: Mengenal Lebih Dekat Manfaat dan Khasiatnya*. Semarang: Tiram Media.
- Sarwono, E., Adnan, F., & Elvaryani, R. 2022. Kemampuan Tanaman Sirih Gading (*Epipremnum Aureum*) Dalam Meyerap Kadar Logam Berat Timbal (Pb) Dari Emisi Gas Kendaraan Bermotor. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 5(2), 44-52.
- Saxena, M., Jadhav, E. B., Sankhla, M. S., Singhal, M., Parihar, K., Awasthi, K. K., & Awasthi, G. 2023. Bintaro (*Cerbera odollam* and *Cerbera manghas*): an overview of its eco-friendly use, pharmacology, and toxicology. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(28).
- Selladurai, P., Thadsanamoorthy, S., & Ariarane, G. 2016. Epidemic self-poisoning with seeds of *Cerbera manghas* in Eastern Sri Lanka: An analysis of admissions and outcome. *J Clin Toxicol*, 6(287), 2161-0495.
- Shah, K.A., Patel M.B., RJ Patel and PK. Parmar. 2010. *Mangifera indica* (mango). *Pharmacognosy Review*. 4(7), 42 -48.
- Soegianto, A. 2023. *Dampak Logam Berat terhadap Biologi Ikan*. Pekalongan: Penerbit NEM.
- Soelistyoningsih, D., & Mau, Y.E. 2017. Pengaruh Paparan Kronis Timbal (Pb) Terhadap Tekanan Darah Petugas Parkir Di Pasar besar Kota Malang. *Jurnal Ilmiah Kesehatan Media Husada*, 6(2), 295-301.
- Sofyan, N., Wintarsih, I., & Ismail, A. 2020. Analisis kadar timbal darah terhadap pedagang kaki lima di Terminal Kampung Rambutan. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 10(4), 607-615.

- Sohail, N., Sohail, A., Satyal, R., Elchouemi, M., Choudhry, A., Palu, A., & Lodhi, H. (2025). Biological Activity of *Cerbera manghas* L. (Apocynaceae). *Pharmacognosy*, 3(1), 1-7.
- Sompotan, D. D., & Sinaga, J. 2022. Pencegahan pencemaran lingkungan. *SAINTEKES: Jurnal Sains, Teknologi Dan Kesehatan*, 1(1), 6-13.
- Suhendar, S., Ramdhan, B., & Triana, A. E. 2020. Kajian jenis pohon dalam pengembangan Hutan Kota Kibitay Sukabumi. *Bioeksperimen: Jurnal Penelitian Biologi*, 6(2), 141-153.
- Suheriyanto, D., Madapuri, G. N., & Wahyudi, D. 2024. Identification of tree species and their potential as carbon stock in three urban forests of Malang City, Indonesia. *Jurnal Biota*, 10(1), 44-51.
- Sukarya, D.G., Witono, J.R., Wati, R.K., Setyani, D., Safarinanugraha, D., Solihah, S.M., Sukarya, T. 2018. *Panduan Praktis Mengenal Tumbuhan Di Sekitar Kita*. Jakarta: PT Sukarya & Sukarya Pandetama
- Sukmawati T, Fitrihidajati H, Indah NK. 2015. Penyerapan karbon dioksida pada tanaman hutan kota di Surabaya. *LenteraBio*, 4 (1), 108–111.
- Sulaiman, I. 2021. *Pengemasan dan Penyimpanan Produk Bahan Pangan*. Aceh: Syiah Kuala University Press.
- Supriyantini, E. & Soenardjo, N. 2015. Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) Dan Tembaga (Cu) Pada Akar Dan Buah Mangrove *Avicennia marina* di Perairan Tanjung Emas Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, 18(2): 98-106.
- Suwarso, E., Paulus, D. R., & Widanirmala, M. 2019. Kajian Database Keanekaragaman Hayati Kota Semarang. *Jurnal Riptek*, 13(1), 79-91.
- Syarifah, A. S., & Supriyanto. 2022. *Efek timbal (Pb) pada enzim scavenger*. Malang: Rena Cipta Mandiri.
- Tahir, I., & Alkheraije, K. A. 2023. A review of important heavy metals toxicity with special emphasis on nephrotoxicity and its management in cattle. *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1149720.
- Tarigan, I. L., Susanti, D., Iqbal, M., & Silaban, R. 2021. Pemanfaatan Kitosan Cangkang Bekicot sebagai Adsorben Logam Tembaga (Cu) Pencemaran Lingkungan. *Khazanah Intelektual*, 5(2), 1128-1141.
- Tosepu, R. 2024. *Pencemaran Lingkungan*. Purbalingga: Eureka Media Aksara.
- Tri Cahyono, S. K. M. 2017. *Penyehatan Udara*. Penerbit Andi.
- Triwuri, A. N., Prasadi, O., & Fadlilah, I. 2024. Biokonsentrasi Faktor Logam Berat Timbal (Pb) Dalam Kandungan Ikan di Daerah Pantai Tegal Katilayu Cilacap, Jawa Tengah. *HIGIENE: Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(1), 8-13.
- Uzu, G., Sobanska, S., Sarret, G., Muñoz, M., & Dumat, C. 2010. Foliar lead uptake by lettuce exposed to atmospheric fallouts. *Environmental science & technology*, 44(3), 1036-1042.
- Wang, J., Yao, R., Sun, Z., Wang, M., Jiang, C., Zhao, X., ... & Yu, H. 2024. Effects of shading on morphology, photosynthesis characteristics, and yield of different shade-tolerant peanut varieties at the flowering stage. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1429800.
- Wang, P., Luo, Y., Huang, J., Gao, S., Zhu, G., Dang, Z., et. al. 2020. The genome evolution and domestication of tropical fruit mango. *Genome biology*, 21, 1-17.

- Warisno., & Dahana, K. 2009. *Investasi Sengon*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Wibowo, F. A. C., Syarifuddin, A., & Pratama, A. D. 2024. Analisis Kandungan Timbal (Pb) pada Daun *Pterocarpus indicus* dan *Mimusops elengi* di Jalan Protokol Kabupaten Banyuwangi. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(3), 687-692.
- Widyawati, M. E., & Kuntjoro, S. 2021. Analisis kadar logam berat timbal (Pb) pada tumbuhan air di Sungai Buntung Kabupaten Sidoarjo. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 10(1), 77-85.
- Yan, A., Wang, Y., Tan, S. N., Mohd Yusof, M. L., Ghosh, S., & Chen, Z. 2020. Phytoremediation: a promising approach for revegetation of heavy metal-polluted land. *Frontiers in plant science*, 11, 359.
- Yusuf Al-Qardhawi. 2002. *Islam Agama Ramah Lignkungan, terjemahan Abdullah Hakam Shah*. Jakarta: Al-Kautsar.
- Zannah, H., Zahroh, S., Evie, Sudarti, & Trapsilo P. 2023. Peran Cahaya Matahari dalam Proses Fotosintesis Tumbuhan. *Cermin: Jurnal Penelitian*, 7(1): 204-214.
- Zega, N. D., Mendrofa, E. G., Gea, C. J., Halawa, L. S. W., Lase, H. S., Waruwu, I., & Lase, N. K. 2024. Perbandingan Laju Fotosintesis Pada Tanaman Yang Tumbuh Di Tempat Terang Dan Gelap. *Jurnal Ilmu Pertanian dan Perikanan*, 1(2), 162-169.
- Zulfiqar, U., Farooq, M., Hussain, S., Maqsood, M., Hussain, M., Ishfaq, M., ... & Anjum, M. Z. (2019). Lead toxicity in plants: Impacts and remediation. *Journal of environmental management*, 250, 109557.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Akumulasi timbal (Pb) daun Bintaro (*Cerbera manghas*)

No	Kode	Hasil Analisis	Satuan
1	B1LA	1,88	ppm
	B1LB	1,15	ppm
	B1DA	0	ppm
	B1DB	4,89	ppm
2	B2LA	-	ppm
	B2LB	1,14	ppm
	B2DA	3,37	ppm
	B2DB	7,38	ppm
3	B3LA	-	ppm
	B3LB	2,66	ppm
	B3DA	-	ppm
	B3DB	-	ppm

Lampiran 2. Hasil Perhitungan Kerapatan Stomata Daun Bintaro (*Cerbera manghas*)

Lokasi	Kode	Jumlah Stomata	Total	Kerapatan Stomata
Jl. Mt. Haryono	Luar a	45		
	dalam a	49		
	Luar b	51		
	Dalam b	55		
			200	
				1673,64
Jl. Melati	Luar a	50		
	Dalam a	49		
	Luar b	54		
	Dalam b	42		
			195	
				1631,80
Jl. Raya Sawojajar	Luar a	39		
	Dalam a	35		
	Luar b	40		
	Dalam b	44		
			158	
				1322,18

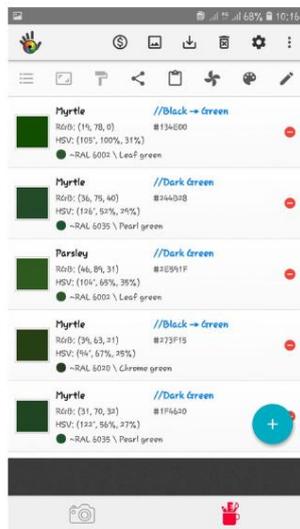
Lampiran 3. Hasil Perhitungan Luas Daun Bintaro (*Cerbera manghas*)

Lokasi	Total	Rata-rata
Jl. Mt. Haryono	78,48	
	80,29	
	158,77	79,385
Jl. Melati	82,52	
	74,32	
	156,84	78,42
Jl. Raya Sawojajar	71,37	
	80,92	
	152,29	76,145

Lampiran 4. Hasil Perhitungan Laju Fotosintesis Daun Bintaro (*Cerbera manghas*)

No.	Kode	Hasil Fotosintesis					Jumlah	Rata-Rata	Total	Rata-Rata	total seluruh	rata-rata
		1	2	3	4	5						
1.	Mt. haryono A	14,4	27,3	21,4	2,8	16,4	82,3	16,46				
		16,6	74,9	44,2	4,3	35	175	35				
		58,4	37,2	43,8	28	41,8	209,2	41,84				
								93,3	31,1			
	Mt. haryono B	34	1,4	0,4	0	8,9	44,7	8,94				
		30,4	30,8	13,7	0,3	18,8	94	18,8				
		11,6	7	3,6	0,7	5,7	28,6	5,72				
								33,46	11,153	42,25	21,13	
2.	Melati A	5,7	4,3	1,5	0,7	3	15,2	3,04				
		0	23,7	22,8	2,9	12,3	61,7	12,34				
		0	28,4	22,8	5,9	14,2	71,3	14,26				
								29,64	9,88			
	Melati B	37	29,6	2,8	0	14,8	84,2	16,84				
		32,6	14,5	1,7	0	12,2	61	12,2				
		31,4	23,9	7,7	0	15,7	78,7	15,74				
								44,78	14,93	24,81	12,40	
3.	Sawojajar A	9,3	3,1	0,6	0	3,2	16,2	3,24				
		1,3	0	0,2	1,4	2,3	5,2	1,04				
		0	7,8	7,7	0,8	4	20,3	4,06				
								8,34	2,78			
	Sawojajar B	2,6	0,3	0,4	0,9	1	5,2	1,04				
		50,5	12,3	15,2	13,8	22,9	114,7	22,94				
		0,13	0,08	0,07	0,03	0,07	0,38	0,076				
								24,06	8,02	10,80	5,40	

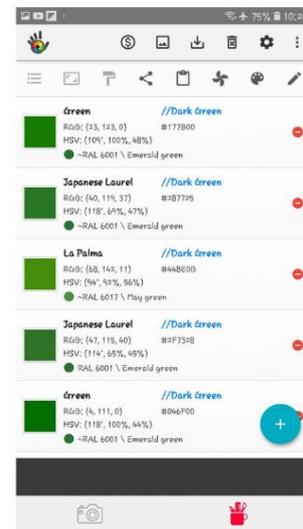
Lampiran 5. Kode Warna Daun Bintaro (*Cerbera manghas*) dari Aplikasi Color Grab



Jl. Mt. Haryono

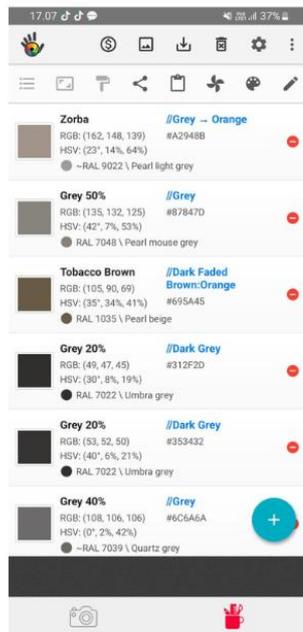


Jl. Melati

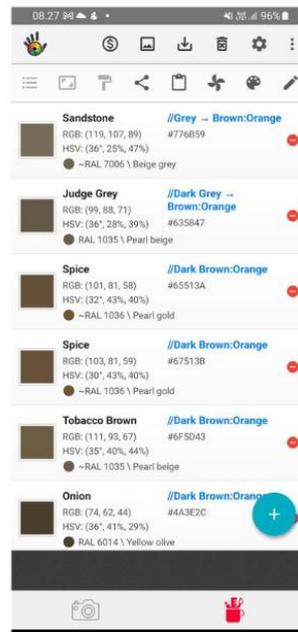


Jl. Raya Sawojajar

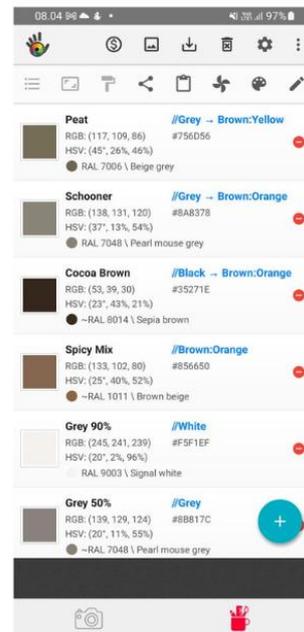
Lampiran 6. Kode Warna Batang Bintaro (*Cerbera manghas*) dari Aplikasi *Color Grab*



Jl. Mt. Haryono



Jl. Melati



Jl. Raya Sawojajar

Lampiran 7. Dokumentasi Pengamatan





KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
PROGRAM STUDI BIOLOGI

Jl. Gajayana No 50 Malang 65144 Telp/ Faks (0341) 558933
 Website <http://biologi.um-malang.ac.id> Email: biologi@um-malang.ac.id

Form Checklist Plagiasi

: Nabila Nurul Izzah

: 210602110056

: Akumulasi Timbal (Pb) terhadap Karakter Anatomi Morfologi dan Fisiologi Pohon Bintaro (*Cerbera manghas*) di Berbagai Ruas Jalan Kota Malang

No	Tim Check plagiasi	Skor Plagiasi	TTD
1	Azizatur Rohmah, M.Sc	14 %	
2	Berry Fakhry Hanifa, M.Sc		
3	Bayu Agung Prahardika, M.Si		
4	Tyas Nyonita Punjungsari, M.Sc		
5	Maharani Retna Duhita, M.Sc., PhD.Med.Sc		



Mengetahui,
Ketua Program Studi Biologi

Prof. Dr. Evika Sandi Savitri, M.P
NIP. 19741018 200312 2 002

KEMENTERIAN AGAMA
 UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
 Jalan Gajayana Nomor 50, Telepon (0341)551354, Fax. (0341) 572533
 Website: <http://www.uin-malang.ac.id> Email: info@uin-malang.ac.id

JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

STATUS MAHASISWA

: 210602110056
 : NABILA NURUL IZZAH
 : SAINS DAN TEKNOLOGI
 : BIOLOGI
 : SUYONO,MP
 : Dr. M. MUKHLIS FAHRUDDIN,M.S.I
 : ANALISIS SERAPAN KARBON DAN BIOMASA DI BEBERAPA RUANG TERBUKA HIJAU DI KOTA JAKARTA PROVINSI DKI JAKARTA

Pembimbing 1
 Pembimbing 2
 Skripsi/Tesis/Disertasi

STATUS BIMBINGAN

Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
28 November 2024	SUYONO,MP	Konsultasi Judul	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
05 Desember 2024	SUYONO,MP	Konsultasi BAB 1	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
09 Desember 2024	SUYONO,MP	Konsultasi BAB 1 dan BAB 2	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
10 Desember 2024	Dr. M. MUKHLIS FAHRUDDIN,M.S.I	Konsultasi Dengan Dosen Agama	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
12 Desember 2024	SUYONO,MP	Proposal disetujui	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
27 Mei 2025	SUYONO,MP	Konsultasi BAB 4	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
28 Mei 2025	SUYONO,MP	Konsultasi BAB 4	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
02 Juni 2025	Dr. M. MUKHLIS FAHRUDDIN,M.S.I	Konsultasi BAB 4	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
02 Juni 2025	SUYONO,MP	Konsultasi BAB 4	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
 Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2

Dr. M. MUKHLIS FAHRUDDIN,M.S.I



Malang, _____
 Dosen Pembimbing 1

SUYONO,MP