

**AKUMULASI TIMBAL (Pb) TERHADAP KARAKTER ANATOMI
MORFOLOGI DAN FISILOGI PADA GLODOKAN TIANG (*Polyalthia
longifolia*) DI BEBERAPA RUAS JALAN KOTA MALANG**

SKRIPSI

**Oleh :
NAWAL RAJWA
NIM. 210602110052**



**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 GLODOKAN TIANG (*Polyalthia
longifolia*) DI BEBERAPA RUAS JALAN KOTA MALANG**

SKRIPSI

**Oleh:
NAWAL RAJWA
NIM. 210602110052**

**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**

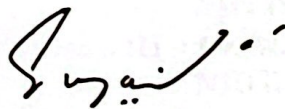
**AKUMULASI TIMBAL (Pb) TERHADAP KARAKTER ANATOMI
MORFOLOGI DAN FISILOGI PADA GLODOKAN TIANG (*Polyalthia
longifolia*) DI BEBERAPA RUAS JALAN KOTA MALANG**

SKRIPSI

Oleh:
NAWAL RAJWA
NIM. 210602110052

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 GLODOKAN TIANG (*Polyalthia
longifolia*) DI BEBERAPA RUAS JALAN KOTA MALANG**

SKRIPSI

Oleh:
NAWAL RAJWA
NIM. 210602110052

Telah dipertahankan
di depan Dewan Peguji Skripsi dan dinyatakan diterima sebagai
salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 24 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, atas izin Allah skripsi ini dipersembahkan kepada semua pihak yang telah mendukung, mendo'akan, dan memotivasi penulis dalam proses penelitian hingga penyusunan skripsi, khususnya:

1. Abi Prof. Dr. H. Abbas Arfan Baraja, Lc, MH., dan Umi Aminah Alatas S.Ag selaku orang tua tercinta yang selalu memberikan semangat, dukungan materi maupun non materi serta do'a yang selalu dipanjatkan agar penulis dapat mengerjakan skripsi ini dengan lancar dan menyelesaikan studi tepat waktu, selain itu
2. Bapak Suyono, M.P dan Bapak Dr. M. Mukhlis Fahrudin, M.S.I selaku dosen pembimbing akademik dan agama yang selalu sabar, membantu, dan tidak mempersulit penulis serta telah meluangkan banyak waktunya untuk membimbing penulis.
3. Seluruh Dosen Biologi UIN Malang khususnya Dosen Ekologi yang telah banyak membantu, memberi ilmu kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan maksimal. Serta teman-teman Biologi Angkatan 2021 khususnya kelas B yang sudah kebersamaan penulis selama perkuliahan.
4. Teman-teman terdekat yakni Rani, Sasa, Wawa, Azza, Qony, Vela, Bilqis, Mira, Salwa, dan Maul yang selalu memberi semangat, masukan, dan membantu penulis baik akademik maupun non-akademik.
5. Terakhir, untuk diri saya sendiri, Nawal Rajwa. Terimakasih sudah sabar dan bertahan menjalani semuanya hingga sekarang. Terimakasih karena tidak pernah menyerah dalam banyak hal. Terimakasih telah kuat menghadapi semua yang sudah berlalu selama ini. Terimakasih untuk tetap bangkit setiap terjatuh, dan terimakasih tetap menjalani semuanya dengan baik dalam perkuliahan ini, khususnya dalam proses penyusunan skripsi ini sampai akhir dan semaksimal mungkin.

MOTTO

“Apa yang menjadi takdirmu tidak akan pernah melewatkanmu”

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nawal Rajwa
NIM : 210602110052
Program Studi : Biologi
Fakultas : Sains Dan Teknologi
Judul Penelitian : Akumulasi Timbal (Pb) terhadap Karakter Anatomi
Morfologi dan Fisiologi pada Glodokan Tiang (*Polyalthia*
Longifolia) di Beberapa Ruas Jalan Kota Malang

menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar 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 di kemudian hari terbukti skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi akademik maupun hukum atas perbuatan tersebut.

Malang,
Yang membuat pernyataan,



Nawal Rajwa
NIM. 210602110052

PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Skripsi ini tidak dipublikasikan namun terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hal 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 GLODOKAN TIANG (*Polyalthia
longifolia*) DI BEBERAPA RUAS JALAN KOTA MALANG**

Nawal Rajwa, Suyono, M. Mukhlis Fahrudin

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

ABSTRAK

Timbal (Pb) merupakan logam berat yang bersifat toksik, persisten, dan mudah terakumulasi dalam jaringan tanaman. Emisi kendaraan bermotor di kawasan perkotaan menjadi salah satu sumber utama pencemaran Pb di udara, yang berpotensi diserap oleh tanaman peneduh jalan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji akumulasi Pb dalam daun Glodokan Tiang (*Polyalthia longifolia*) serta menganalisis respons anatomi, morfologi, dan fisiologis tanaman terhadap cemaran Pb. Penelitian dilaksanakan secara deskriptif kuantitatif dengan metode eksploratif di tiga ruas jalan Kota Malang yang memiliki tingkat kepadatan lalu lintas berbeda. Parameter yang diamati meliputi kadar Pb dalam daun (menggunakan metode AAS), kerapatan stomata, rata-rata luas daun, warna daun dan batang, serta nilai laju fotosintesis. Hasil menunjukkan bahwa konsentrasi Pb tertinggi sebesar 4,98 mg/kg terdeteksi pada lokasi dengan kepadatan kendaraan paling tinggi. Korelasi antara jumlah kendaraan dan kandungan Pb menunjukkan hubungan yang sangat kuat ($R^2 = 0,94$). Peningkatan kadar Pb diikuti oleh peningkatan kerapatan stomata, warna daun yang semakin gelap, luas daun yang semakin besar, serta laju fotosintesis yang cenderung meningkat, naiknya nilai laju fotosintesis di lokasi dengan Pb tertinggi diduga dipengaruhi oleh faktor lingkungan lain yang mengindikasikan adanya mekanisme adaptif dari Glodokan Tiang terhadap cemaran Pb di lingkungan perkotaan.

Kata kunci: Timbal (Pb), Glodokan Tiang (*Polyalthia longifolia*), kerapatan stomata, morfologi, luas permukaan daun, laju fotosintesis, kendaraan bermotor, Kota Malang.

ACCUMULATION OF LEAD (Pb) ON ANATOMICAL MORPHOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL CHARACTERS IN GLODOKAN TIANG (*Polyalthia longifolia*) ON SEVERAL ROADS IN MALANG CITY

Nawal Rajwa, Suyono, M. Mukhlis Fahrudin

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

ABSTRACT

Lead (Pb) is a heavy metal that is toxic, persistent, and easily accumulates in plant tissues. Motor vehicle emissions in urban areas are one of the main sources of Pb pollution in the air, which has the potential to be absorbed by road shade plants. This study aims to examine the accumulation of Pb in the leaves of Glodokan Pole (*Polyalthia longifolia*) and analyze the anatomical, morphological, and physiological response of plants to Pb pollution. The parameters observed included Pb levels in leaves (using the AAS method), stomata density, leaf surface area, leaf and stem color, and photosynthesis rate value. The results showed that the highest Pb concentration of 4.98 mg/kg was detected in the location with the highest vehicle density. The correlation between the number of vehicles and the Pb content showed a very strong relationship ($R^2 = 0.94$). The increase in Pb levels is followed by an increase in stomata density, darker leaf color, larger leaf area, and an increasing rate of photosynthesis, the increase in the value of the photosynthesis rate in locations with the highest Pb is suspected to be influenced by other environmental factors that indicate the adaptive mechanism of Glodokan Tiang to Pb pollution in urban environments.

Keywords: Lead (Pb), Glodokan Tiang (*Polyalthia longifolia*), stomata density, morphology, leaf surface area, rate of photosynthesis, motor vehicles, Malang City.

على الخصائص التشريحية والمورفولوجية والفسولوجية في نبات الغلودوكان (Pb) تراكم الرصاص على عدة طرق في مدينة مالانج (*Polyalthia longifolia*) تيانغ

نوال رجوى، سويونو، م. مخليس فھر الدين

برنامج دراسة الأحياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، الجامعة الإسلامية الحكومية
مولانا مالك إبراهيم مالانج

تجريدي

الرصاص (Pb) هو معدن ثقيل سام وثابت ويتراكم بسهولة في الأنسجة النباتية. تعد انبعاثات السيارات في المناطق الحضرية أحد المصادر الرئيسية لتلوث الرصاص في الهواء ، والذي يمكن أن تمتصه محطات الظل على الطرق. تهدف هذه الدراسة إلى فحص تراكم الرصاص في أوراق القطب الرصاص (*Polyalthia longifolia*) وتحليل الاستجابة التشريحية والمورفولوجية والفسولوجية للنباتات لتلوث الرصاص. تضمنت المعلومات التي لوحظت مستويات الرصاص في الأوراق (باستخدام طريقة AAS) ، وكثافة الثغور ، ومساحة سطح الورقة ، ولون الورقة والساق ، وقيمة معدل التمثيل الضوئي. أظهرت النتائج أنه تم اكتشاف أعلى تركيز للرصاص بلغ 4.98 مجم / كجم في الموقع ذي أعلى كثافة للمركبات. أظهر الارتباط بين عدد المركبات ومحتوى الرصاص علاقة قوية جدا ($R^2 = 0.94$). يتبع الزيادة في مستويات الرصاص زيادة في كثافة الثغور ، ولون الأوراق الداكن ، ومساحة الأوراق الأكبر ، وزيادة معدل التمثيل الضوئي ، ويشتهر في أن الزيادة في قيمة معدل التمثيل الضوئي في المواقع ذات الرصاص الأعلى تتأثر بعوامل بيئية أخرى تشير إلى آلية التكيف لتلوث Glodokan Tiang إلى Pb في البيئات الحضرية.

الكلمات الدالة: الرصاص (Pb) ، قطب (*Polyalthia longifolia*) Glodokan ، كثافة الثغور ، التشكل ، مساحة سطح الورقة ، معدل التمثيل الضوئي ، السيارات ، مدينة مالانج.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena atas rahmat, taufiq dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan naskah proposal yang berjudul “Studi Akumulasi Timbal (Pb) Dan Karakter Anatomi Fisiologis Pada Glodokan Tiang (*Polyalthia longifolia*) Di Beberapa Ruas Jalan Kota Malang”. Tidak lupa shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada Nabi besar Muhammad SAW yang menjadi suri tauladan bagi umat manusia agar tetap di jalan Allah SWT.

Penulis menyadari dalam menyelesaikan penulisan proposal ini penulis telah mendapatkan banyak sekali motivasi, semangat, nasihat, bantuan, serta doa yang tidak pernah putus dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan ketulusan dan kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih untuk semua pihak yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian penulisan naskah proposal ini, terutama kepada:

1. Prof. Dr. Zainuddin, MA 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, MP. selaku pembimbing I yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran serta memberikan saran dengan penuh kesabaran dan keikhlasan dalam membimbing penulis sehingga penulisan proposal ini dapat terselesaikan.
5. Dr. M. Mukhlis Fahrudin, M.S.I selaku pembimbing II yang telah memberikan masukan dan saran dalam membimbing yang berkaitan dengan integrasi sains dan Islam.
6. Ir. Liliek Hariani AR, M. P. selaku dosen wali yang sudah membimbing saya selama menjadi mahasiswa di Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen dan laboran di Program Studi Biologi Fakultas Sains & Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang

telah memberikan pengajaran serta ilmunya kepada penulis selama ini hingga penulis mampu menyelesaikan studi ini.

8. Kedua orang tua penulis Abi Abbas Arfan Baraja dan Umi Aminah Alatas serta kakak Iklil Athroz Arfan Baraja yang selalu memberikan dukungan serta doa untuk kelancaran dan kemudahan dalam setiap kegiatan perkuliahan khususnya dalam penelitian ini.
9. Teman-teman dekat penulis, Rani, Sasa, Wawa, Azza, Qonita, Bilqis, Vela, Mega, Maul, Mira, Salwa, Nabila, dan Umai yang telah menemani dan memberikan *support* kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan sebaik mungkin.
10. Teman-teman seperjuangan angkatan 2021 di Program Studi Biologi, khususnya Beta Class Fakultas Sains & Teknologi Universitas Islam Negeri Malang yang memberikan semangat kepada penulis untuk menyelesaikan penulisan proposal ini.
11. Dan untuk seluruh pihak yang secara langsung maupun tidak langsung turut membantu dan menyemangati dalam proses penyelesaian skripsi ini

Semoga dukungan dan semua amal kebaikan yang telah diberikan kepada penulis akan mendapatkan balasan dari Allah SWT. Proposal ini sudah ditulis dengan sebaik-baiknya.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Malang, 2 November 2024

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PERSETUJUAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
MOTTO	vi
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	vii
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI	viii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
تجريد	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	6
1.3 Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Manfaat Penelitian.....	7
1.5 Batasan Masalah.....	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1 <i>Polyalthia longifolia</i>	9
2.2 Pencemaran Lingkungan menurut Perspektif Islam.....	10
2.3 Logam Berat	13
2.4 Pencemaran Udara.....	14
2.5 Mekanisme Penyerapan Logam Berat pada Pohon.....	17
2.6 Stomata Daun	19
2.7 <i>Atomic Absorption Spectrometry (AAS)</i>	20
BAB III METODE PENELITIAN	22
3.1 Jenis Penelitian	22
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	22
3.3 Alat dan Bahan	22
3.3.1 Alat.....	22
3.3.2 Bahan	23

3.4	Prosedur Penelitian.....	23
3.4.1	Penentuan Kepadatan Lalu Lintas	23
3.4.2	Teknik Pengambilan Sampel Daun Analisis Timbal.....	24
3.4.3	Teknik Pengamatan Karakteristik Anatomi.....	24
3.4.4	Teknik Pengamatan Karakteristik Morfologi	25
3.4.5	Teknik Pengamatan Laju Fotosintesis	25
3.4.6	Analisis Logam Berat Timbal (Pb).....	25
3.5	Analisis Data	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		27
4.1	Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) yang Terserap dalam Daun Glodokan Tiang di Ruas Jalan Kota Malang.....	27
4.2	Karakteristik Anatomi Glodokan Tiang di Ruas Jalan Kota Malang.....	29
4.2.1	Kerapatan Stomata Daun Glodokan Tiang (<i>Polyalthia longifolia</i>) .	29
4.3	Karakteristik Morfologi Glodokan Tiang di Ruas Jalan Kota Malang	33
4.3.1	Rata- Rata Luas Daun Glodokan Tiang (<i>Polyalthia longifolia</i>)	33
4.3.2	Warna Daun Glodokan Tiang (<i>Polyalthia longifolia</i>)	35
4.3.3	Warna Batang Glodokan Tiang (<i>Polyalthia longifolia</i>)	37
4.4	Nilai Laju Fotosintesis Glodokan Tiang di Ruas Jalan Kota Malang	39
4.5	Korelasi Antara Akumulasi Pb dan Jumlah Kendaraan serta Laju Fotosintesis.....	41
4.5.1	Korelasi Jumlah Kendaraan terhadap Kandungan Timbal (Pb) dalam daun Glodokan Tiang.....	41
4.5.2	Korelasi Kandungan Timbal (Pb) terhadap Nilai Laju Fotosintesis Daun Glodokan Tiang.....	43
4.6	Pembahasan Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam.....	46
BAB V PENUTUP.....		51
5.1	Kesimpulan.....	51
5.2	Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA		53
LAMPIRAN.....		60

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Daun Glodokan Tiang di Beberapa Ruas Jalan Kota Malang	27
Tabel 4. 2 Kerapatan Stomata Daun Glodokan Tiang di Beberapa Ruas Jalan Kota Malang.....	30
Tabel 4. 3 Rara-Rata Luas Daun Glodokan Tiang di Beberapa Ruas Jalan Kota Malang.....	34
Tabel 4. 4 Warna Daun Glodokan Tiang di Beberapa Ruas Jalan Kota Malang..	36
Tabel 4.5 Warna Batang Glodokan Tiang di Beberapa Ruas Jalan Kota Malang	38
Tabel 4. 6 Hasil Nilai Laju Fotosintesis Glodokan Tiang.....	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Morfologi <i>Polyalthia longifolia</i> . a) Pohon dan b) Daun	9
Gambar 4. 1 Stomata Daun Perbesaran 200x Tipe Anomositik.....	32
Gambar 4. 2 Pengukuran Luas Daun Glodokan Tiang Sebelum <i>ImageJ</i>	34
Gambar 4. 3 Batang Glodokan Tiang di Beberapa Ruas Jalan	38
Gambar 4. 4 Kurva Korelasi antara Jumlah Kendaraan dengan Kandungan Pb dalam Daun Glodokan Tiang	42
Gambar 4. 5 Kurva Korelasi antara Kandungan Pb dengan Laju Fotosintesis Daun Glodokan Tiang.....	43

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian.....	60
Lampiran 2. Tabel Pengukuran Laju Fotosintesis	61
Lampiran 3. Tabel Hasil Pengukuran Luas Daun	62
Lampiran 4. Tabel Hasil Kerapatan Stomata	63
Lampiran 5. Hasil Analisis Warna Daun Color Grab	64
Lampiran 6. Hasil Analisis Warna Batang Color Grab	65

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Logam adalah unsur kimia yang kuat dan keras serta mampu menghantarkan listrik dan panas dan memiliki titik lebur tinggi, yang diperoleh dari bijih logam melalui proses penambangan. Berdasarkan karakteristiknya, logam dapat dibedakan menjadi dua kategori utama yakni logam berat dan logam ringan. Logam berat adalah logam yang memiliki densitas lebih dari 5 g/cm³ seperti timbal, logam berat ini dikenal karena sifat toksiknya, yang dapat menyebabkan keracunan dan gangguan kesehatan meskipun dalam konsentrasi rendah. Sementara itu, logam ringan, seperti aluminium dan magnesium, umumnya memiliki densitas yang lebih rendah dan tidak memiliki efek berbahaya yang sama terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (Saeni, 2002). Di antara banyaknya logam berat tersebut ada 8 jenis yang sering ditemukan di tanah dan biasanya berasal dari aktivitas industri dan lalu lintas kendaraan yaitu Cr, Mn, Cu, As, Cd, Ba, Hg, dan Pb (Ahmad *et al.*, 2021). Disamping itu, logam berat juga terbagi menjadi esensial (Cu, Cr, Zn, Fe) dan non esensial (Pb, Cd, Hg) berdasarkan perannya dalam pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan (Syaifullah, dkk. 2018).

Pencemaran logam berat masalah serius di berbagai lingkungan. Potensi pencemaran logam berat dapat bersumber dari kegiatan antropogenik seperti emisi dari aktivitas pertambangan, peleburan logam, limbah industri, limbah domestik, limbah pertanian seperti penggunaan pestisida yang berlebih, bahkan dari kendaraan bermotor (Triantoro, dkk. 2018 dan Patty, dkk. 2018). Emisi dari pembakaran bahan bakar pada aktivitas industri maupun transportasi menghasilkan berbagai polutan udara seperti partikel padat, oksida sulfur (SO_x), karbon

monoksida (CO), hidrokarbon (HC), oksida nitrogen (NO_x), dan logam berat seperti timbal (Pb). Jika keberadaan polutan-polutan ini di lingkungan melebihi ambang batas, maka dapat menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan makhluk hidup. Secara alami, kadar timbal (Pb) di udara hanya berkisar antara 0,0001 hingga 0,001 µg/m³. Namun, penambahan aditif berbasis timbal dalam bensin seperti senyawa alkil-Pb digunakan untuk meningkatkan angka oktan bahan bakar. Timbal yang tercampur dalam bahan bakar ini akan ikut terlepas ke atmosfer melalui gas buang kendaraan bermotor (Ruslinda *et al.*, 2016). Sedangkan menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) melalui Peraturan No. 22 Tahun 2021, ambang batas baku mutu udara ambien untuk pencemaran timbal adalah sebesar 2 µg/m³. Semua pencemaran logam berat yang terakumulasi baik yang di udara maupun di dalam tanah akan berpotensi mencemari air tanah yang akhirnya akan berdampak pada ekosistem sekitar dan juga kesehatan manusia (Rahardjanto, 2019 dan Wicaksono, dkk. 2023). Pencemaran logam berat di berbagai tempat itulah yang harus mendapatkan perhatian lebih serius (Septya dan Pauzi, 2024). Selain berbahaya bagi kesehatan manusia, timbal (Pb) juga berdampak negatif pada tanaman. Paparannya dapat menurunkan biomassa, menyebabkan klorosis, menghambat fotosintesis dan pertumbuhan, serta mengganggu keseimbangan air dan penyerapan hara. Akibatnya, tanaman mengalami stres oksidatif yang merusak struktur sel dan mempercepat penuaan. Timbal juga dapat terakumulasi dalam jaringan, mengganggu keseimbangan ion seluler, dan memperparah kerusakan fisiologis (Collin *et al.*, 2022).

Allah SWT. menciptakan alam dengan segala keindahannya dan menyertakan tumbuhan-tumbuhan sebagai penunjang kehidupan makhluk-makhluk-Nya.

Namun, seiring berkembangnya zaman manusia menciptakan berbagai macam teknologi untuk memenuhi kebutuhan hidupnya, sayangnya banyak hasil dari ciptaan tersebut yang telah melampaui batas dalam penggunaannya. Beberapa diantaranya adalah penggunaan kendaraan bermotor dan limbah-limbah hasil industri atau bahkan domestik, hal ini menyebabkan pencemaran lingkungan baik udara, tanah, maupun air yang berada di ambang batas dan dapat membahayakan sekitar terutama lingkungan perkotaan yang padat. Allah SWT. dengan jelas mengingatkan akibat yang akan ditimbulkan bila manusia berbuat kerusakan di bumi yang disebutkan dalam Q.S. Ar-Rum/30 : 41 yang berbunyi:

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

Artinya: *“Telah nampak kerusakan di darat dan di lautan disebabkan karena perbuatan tangan (maksiat) manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)”* (QS: Ar-Rum [30]:41).

Menurut tafsir Al-Misbah, ayat tersebut menjelaskan bahwa telah nampak kerusakan yang terjadi di daratan dan lautan yang diakibatkan oleh campur tangan manusia. Ayat ini sesuai dengan kemajuan peradaban di zaman ini. kerusakan yang terjadi di daratan adalah akibat dari perbuatan manusia seperti zat-zat limbah pembuangan manusia sehari-hari baik skala kecil seperti asap kendaraan bermotor, limbah rumah tangga, hingga skala besar seperti dari limbah industri dan pabrik. Bagaimana bahaya dari asap-asap pabrik yang bersamaan dengan asap kendaraan bermotor yang menyebabkan udara kotor sehingga berakibat pada paru-paru manusia yang tercemari. Kerusakan yang terjadi di lautan seperti cemaran air tangka besar yang memuat bahan bakar dan dibuang ke laut. Demikian pula air dari pabrik kimia yang mengalir yang lama-kelamaan akan menumpuk dan mencemari lingkungan dan merugikan makhluk hidup sekitarnya (Shihab, 2012).

Menurut tafsir kementrian agama, pada ayat tersebut diterangkan mengenai terjadinya *al-fasad* yang bermakna perusakan atau pelanggaran terhadap tata aturan atau hukum Allah. Perusakan yang dimaksud dapat berupa pencemaran alam yang menyebabkan hilangnya kebermanfaatan dan memunculkan krisis-krisis di bumi. Penyebab terjadinya kerusakan terhadap lingkungan merupakan bentuk perbuatan manusia yang eksploitatif dan desktruktif (*bima kasabat a'id al-nas*). Namun dalam tafsir jalalain, pada ayat tersebut diterangkan mengenai terjadinya kerusakan di darat dan di laut yang disebabkan oleh perbuatan maksiat manusia dan oleh karena perbuatan itulah *liyudziiqahum* yang berarti supaya Kami merasakan kepada mereka sebagian dari perbuatan mereka sebagai hukuman yang bertujuan agar mereka kembali dan bertobat dari perbuatan-perbuatan maksiat yang merusak. Sedangkan menurut tafsir Ibnu Katsir, makna firman Allah telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan manusia yaitu kekurangan tumbuhan dan udara bersih yang berasal dari kemaksiatan manusia (berbuat kerusakan). Abul 'Aliyah berkata: "Barangsiapa yang berlaku maksiat (berbuat kerusakan) di muka bumi, maka berarti dia telah berbuat kerusakan di dalamnya. Karena kebaikan bumi dan langit adalah dengan sebab ketaatan (Abdullah, 2004).

Tumbuhan dapat menyerap logam berat dari tanah, air, dan udara. Mekanisme masuknya partikel logam berat dari udara biasanya masuk ke dalam jaringan daun yang diserap stomata melalui proses penyerapan pasif (Fathia, dkk. 2015). Sebagian partikel Pb dapat menempel di permukaan daun dan masuk ke dalam jaringan melalui stomata, mengingat ukuran partikel Pb sekitar 0,2 mikrometer, sedangkan lebar pori stomata berkisar antara 2 hingga 4 mikrometer (Siregar *et al.*, 2020). Tanaman dengan kerapatan stomata tinggi memiliki peluang lebih besar dalam

menyerap polutan, karena semakin banyak jumlah stomata, maka semakin besar pula total area terbuka yang memungkinkan masuknya Pb ke dalam jaringan daun. Semakin tinggi Pb yang diserap oleh daun, maka kadar klorofil akan mengalami penurunan akibat degradasi, yang berdampak pada mengecilnya luas daun dan secara tidak langsung meningkatkan kerapatan stomata (Fathia dkk, 2015). Selain itu, proses ini juga dapat menyebabkan perubahan warna daun sebagai indikasi menurunnya kandungan klorofil dalam jaringan tanaman (Tangahu *et al.*, 2011).

Glodokan Tiang (*Polyalthia longifolia*) menunjukkan kemampuannya sebagai akumulator yang potensial di lingkungan perkotaan karena kondisi morfologinya dan apabila terdapat pada lokasi penanaman yang tepat. Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Silvia, dkk (2021), *Polyalthia longifolia* memiliki kandungan Pb tertinggi dibandingkan dengan sepuluh jenis pohon peneduh lainnya di sepanjang Jalan Gajah Mada, Kota Samarinda, dengan nilai akumulasi mencapai 9,27 mg/L. Akumulasi tinggi ini diduga dipengaruhi oleh lokasi penanaman yang berada di sekitar lampu merah dengan tingkat kepadatan kendaraan sangat tinggi (>10.000 kendaraan per hari), sehingga paparan emisi timbal dari kendaraan secara langsung terakumulasi pada jaringan daun. Selain itu, secara morfologis, Glodokan Tiang memiliki tajuk yang rimbun dan rapat, serta daun memanjang dan menyirip, yang secara efektif dapat menangkap partikel logam berat dari udara. Tinggi pohon yang mencapai ± 6 meter dan diameter batang sekitar 37 cm juga mendukung fungsinya sebagai penyerap polutan dari udara ambien (Silvia, dkk. 2021). Dari karakteristik morfologis dan ekologis *Polyalthia longifolia* diatas membuat spesies ini sesuai sebagai agen fitoremediasi dalam konteks akumulasi timbal di perkotaan.

Penelitian sebelumnya mengenai analisis kemampuan tanaman di jalan raya Kota Malang dilakukan oleh Fathia, dkk (2015) dengan menganalisis tumbuhan semak dalam mengakumulasi logam berat timbal (Pb). Namun, studi mengenai akumulasi logam berat timbal (Pb) yang sering kali berasal dari emisi kendaraan dan akibat dari aktivitas antropogenik di sekitar kawasan tanaman peneduh jalan masih sangat terbatas. Padahal, keberadaan logam berat ini dapat mengancam kesehatan ekosistem sekitar, mengurangi kemampuannya dalam menyerap karbon, serta berpotensi mencemari sumber daya air tanah. Kekurangan penelitian mengenai kontaminasi logam berat di kawasan jalan ini menjadi celah pengetahuan yang signifikan, mengingat dampak negatif logam berat terhadap biodiversitas, kualitas tanah, dan kesehatan manusia. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengkaji tingkat akumulasi logam berat Pb pada daun *Polyalthia longifolia* di beberapa titik jalan Kota Malang. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai tingkat pencemaran logam berat di beberapa ruas jalan Kota Malang, serta memberikan rekomendasi pengelolaan tanaman peneduh jalan yang lebih berkelanjutan.

1.2 Rumusan Masalah

Didasarkan dari latar belakang tersebut, maka rumusan masalahnya adalah:

1. Berapa konsentrasi logam berat timbal (Pb) pada daun *Polyalthia longifolia* di beberapa ruas jalan Kota Malang?
2. Bagaimana Karakteristik anatomi pada daun *Polyalthia longifolia* di beberapa ruas jalan Kota Malang?
3. Bagaimana Karakteristik morfologi pada daun *Polyalthia longifolia* di beberapa ruas jalan Kota Malang?

4. Berapa nilai laju fotosintesis pada daun *Polyalthia longifolia* di beberapa ruas jalan Kota Malang?
5. Bagaimana korelasi antara kepadatan lalu lintas terhadap kadar timbal (Pb) dan antara kadar timbal (Pb) terhadap laju fotosintesis pada *Polyalthia longifolia*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan pada studi ini adalah:

1. Mengetahui nilai konsentrasi timbal (Pb) pada daun *Polyalthia longifolia* di beberapa ruas jalan Kota Malang.
2. Menganalisis karakteristik anatomi pada daun *Polyalthia longifolia* di beberapa ruas jalan Kota Malang.
3. Menganalisis karakteristik morfologi pada daun *Polyalthia longifolia* di beberapa ruas jalan Kota Malang.
4. Mengetahui nilai laju fotosintesis pada daun *Polyalthia longifolia* di beberapa ruas jalan Kota Malang.
5. Mengetahui korelasi antara kepadatan lalu lintas Malang terhadap kadar timbal (Pb) dan korelasi antara kadar timbal (Pb) terhadap laju fotosintesis pada *Polyalthia longifolia*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari studi ini meliputi:

1. Manfaat Teoritis

Hasil studi bermanfaat sebagai sumber pengetahuan terkait akumulasi logam berat pada sedimen tanah dan vegetasi pohon di Beberapa Ruas Jalan di Kota Malang

2. Manfaat Praktis

Hasil studi ini dapat bermanfaat untuk:

- a. Dapat tambahan informasi bagi masyarakat mengenai manfaat dan fungsi vegetasi pohon guna meminimalkan pencemaran logam berat. Selain itu, dapat meningkatkan kesadaran agar ikut serta dalam pelestarian dan pengelolaan ekosistem di Ruas Jalan Kota Malang
- b. Dorongan kepada pemerintah Kota Malang untuk menjaga sumber daya secara berkelanjutan.

1.5 Batasan Masalah

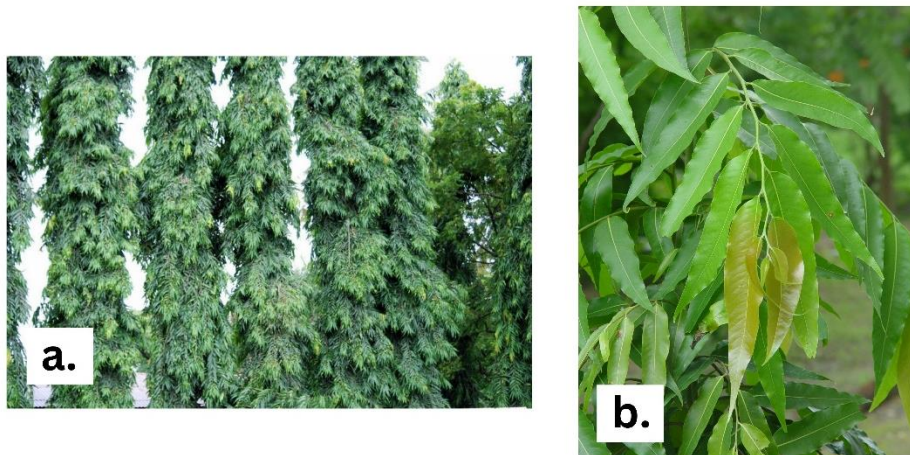
Batasan masalah pada studi ini yaitu:

1. Kadar timbal (Pb) pada daun dianalisis menggunakan AAS dan satuan yang dihasilkan berupa mg/kg.
2. Karakteristik anatomi daun diamati menggunakan mikroskop *inverted* dengan luas bidang pandang mikroskop ($0,1195 \text{ mm}^2$) dan dinyatakan dalam satuan stomata/ mm^2 .
3. Karakteristik Morfologi daun diamati menggunakan *software ImageJ* serta *Color Grab*.
4. Nilai laju fotosintesis daun diamati menggunakan *Plant Photosynthesis Meter* dengan satuan $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$.
5. Korelasi antar parameter dianalisis menggunakan regresi linear sederhana dengan *software Microsoft Excel*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Polyalthia longifolia*

Polyalthia longifolia, yang dikenal dengan nama lokal Glodokan Tiang, adalah salah satu anggota suku Annonaceae yang paling umum ditemui di sekitar kita. Pohon ini memiliki tajuk berbentuk piramida yang mengerucut ke atas, dengan dahan yang menjuntai ke bawah di segala sisi, dihiasi oleh daun panjang yang bergelombang. Sebagai pohon hijau sepanjang tahun, *Polyalthia longifolia* dapat mencapai tinggi hingga 15 meter, memiliki batang tegak dengan kulit berwarna cokelat keabuan. Daunnya tunggal dan berseling, berbentuk lanset dengan pangkal sempit dan permukaan yang mengkilap. Bunga pohon ini muncul secara tunggal di ketiak daun, berwarna hijau kekuningan, dan diikuti oleh buah yang membulat dan berwarna hitam (Sukarya dkk, 2019).



Gambar 2. 1 Morfologi *Polyalthia longifolia*. a) Pohon dan b) Daun
(Sumber: India Biodiversity Portal)

Klasifikasi dari *Polyalthia longifolia* menurut Cornquist (1998) yaitu:

Kingdom : Plantae

Divisi	: Magnoliophyta
Kelas	: Magnoliopsida
Sub kelas	: Magnolioideae
Ordo	: Magnoliales
Famili	: Annonaceae
Genus	: <i>Polyalthia</i>
Spesies	: <i>Polyalthia longifolia</i>

Penelitian yang dilakukan oleh Ardyanto dkk (2014) menunjukkan hasil bahwa tumbuhan *Polyalthia longifolia* memiliki potensi signifikan dalam menyerap logam berat, khususnya timbal (Pb), dari udara di sekitar jalan. Penelitian ini mengungkapkan bahwa konsentrasi Pb pada daun *P. longifolia* cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya konsentrasi Pb. Tumbuhan ini menunjukkan kemampuan akumulasi yang cukup baik, dengan konsentrasi tertinggi ditemukan di lokasi dengan kepadatan lalu lintas tinggi. Selain itu, akumulasi Pb juga berdampak pada respon anatomis daun, seperti penurunan jumlah stomata dan peningkatan tebal jaringan mesofil, yang menunjukkan adaptasi tanaman terhadap pencemaran logam berat.

2.2 Pencemaran Lingkungan menurut Perspektif Islam

Pencemaran lingkungan dijelaskan Kementrian Lingkungan Hidup pada PP No. 22 tahun 2021 tentang perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup, sebagai penambahan makhluk hidup, substansi, energi, ataupun unsur lainnya oleh aktivitas manusia ke lingkungan yang tidak sesuai dengan standar kualitas lingkungan. Lingkungan yang tercemar menunjukkan bahwa kondisi lingkungan tersebut sudah

tidak alami lagi karena ada zat asing yang masuk dan bisa membahayakan makhluk hidup dan alam sekitarnya (Palar, 2012).

Pencemaran lingkungan, khususnya tanah, merupakan masalah serius yang dihadapi oleh banyak kawasan urban saat ini. Aktivitas manusia, seperti industri, pertanian, dan pembuangan limbah, telah menyebabkan kontaminasi tanah dengan berbagai zat berbahaya, termasuk logam berat seperti timbal (Pb) dan tembaga (Cu). Menurut Mishra *et al* (2016), pencemaran tanah tidak hanya mengubah sifat fisik dan kimia tanah, tetapi juga mengurangi kesuburan dan mengganggu ekosistem yang ada. Logam berat, yang bersifat toksik, dapat terakumulasi dalam tanah dan berpotensi mengganggu pertumbuhan Tumbuhan, serta memasuki rantai makanan melalui proses bioakumulasi (Kumar *et al.*, 2019). Pencemaran tanah menjadi perhatian utama karena dapat mempengaruhi kesehatan ekosistem dan masyarakat yang bergantung pada sumber daya alam tersebut.

Allah SWT. menjelaskan dalam Al-Qur'an agar manusia tidak melakukan perbuatan rugi dengan merusak lingkungan. Salah satu buktinya yakni pada Qur'an surat Al-Baqarah ayat 205:

وَإِذَا تَوَلَّى سَعَىٰ فِي الْأَرْضِ لِيُفْسِدَ فِيهَا وَيُهْلِكَ الْحَرْثَ وَالنَّسْلَ ۗ وَاللَّهُ لَا يُحِبُّ الْفُسَادَ

Artinya: “Dan apabila dia berpaling (dari engkau), ia berusaha untuk berbuat kerusakan di bumi, serta merusak tanam-tanaman dan ternak, sedang Allah tidak menyukai kerusakan” (Q.S. Al-Baqarah [2]:205).

Menurut penjelasan Kementerian Agama terkait ayat tersebut menyebutkan golongan manusia yang melakukan kerusakan atas tumbuhan hingga binatang. Manusia dalam hal ini melakukan perbuatan yang sewenang-wenang dalam mengambil manfaat pada lingkungan, mengutamakan ketamakan atas dirinya hingga menghiraukan yang lainnya (kelestarian alam). Tafsir mengenai “berbuat

kerusakan di bumi” dalam ayat ini dapat diartikan pengalihan lahan menjadi industri, perkotaan, perumahan, pembangunan pelabuhan, pertanian, dan sebagainya yang tidak memperhatikan limbah yang dibawanya. Limbah tersebut kemudian dibuang sembarangan tanpa ada pengolahan yang baik dan mengakibatkan “merusak tanam tumbuhan dan ternak”. Tumbuhan dalam hal ini tumbuhan terrestrial seperti pohon dalam ekosistem urban hingga ternak yang dapat diartikan sebagai hewan-hewan lainnya didalam ekosistem urban.

Beberapa istilah yang menunjukan makna kerusakan antara lain *fasad*, *sa'a*, *dammara*, dan *halaka*. Sementara istilah *halaka* dalam al-Qur'an telah disebutkan sebanyak 68 kali. Merujuk penjelasan pada buku oleh al-Shafani (2017), istilah *halaka* memiliki 3 makna utama salah satunya yakni kerugian atau kehancuran berupa kerusakan alam. Istilah *halaka* bermakna kehancuran serta merujuk pada kerusakan alam yaitu pada ayat di atas. Istilah *sa'a* mengarah pada kerusakan lingkungan, yang disebutkan dalam Q.S Al-Baqarah ayat 205.

Sebagai khalifah di bumi, manusia sudah seharusnya bertanggung jawab dalam pengelolaan sumber daya alam dengan bijak untuk mencegah terjadinya pencemaran dan kerusakan lingkungan. Manusia diperintahkan untuk mengelola dan melestarikan alam dengan tidak membuang limbah ke lingkungan, yang dapat menyebabkan pencemaran. Pencemaran memiliki dampak negatif yang serius terhadap kelangsungan hidup manusia. Limbah industri yang tidak dikelola dengan benar dapat mencemari lingkungan, membahayakan kesehatan manusia, merusak ekosistem, dan mengancam keanekaragaman hayati. Berdasarkan hal tersebut, manusia memiliki tanggung jawab moral untuk menjaga kelestarian lingkungan dan

menerapkan langkah-langkah yang ramah lingkungan, terutama dalam pengelolaan dan pembuangan limbah.

Manusia memiliki tanggung jawab moral dan spiritual sebagai khalifah di bumi untuk menjaga lingkungan, termasuk merawat pohon dan tumbuhan sebagai bagian dari ciptaan Allah. Dalam Islam, kerusakan lingkungan akibat aktivitas manusia yang berlebihan, seperti emisi kendaraan, merupakan bentuk ketidaktaatan terhadap amanah-Nya (Q.S. Al-Baqarah: 205). Ini membuktikan bahwa aktivitas manusia berdampak langsung pada pencemaran udara, karena itu menjaga kelestarian lingkungan bukan hanya kewajiban ilmiah, tetapi juga bagian dari ibadah dan tanggung jawab kita sebagai manusia.

2.3 Logam Berat

Dilihat dari kemampuannya dalam menghantarkan panas dan listrik, unsur-unsur kimia dalam tabel periodik terbagi menjadi dua kategori utama yakni, logam dan non-logam. Berdasarkan densitasnya, logam dapat dibedakan menjadi logam ringan dan logam berat. Logam berat adalah unsur-unsur kimia dengan densitas lebih dari 5 g/cm^3 dan memiliki nomor atom antara 22 hingga 92, serta berada pada periode III hingga VII. Dalam konteks biologi, logam berat termasuk unsur yang beracun bagi tumbuhan dan hewan, meskipun hanya dalam konsentrasi rendah (Handayanto, dkk. 2017). Logam berat adalah zat alami yang tidak dapat terurai, yang cenderung mengendap di lingkungan. Akumulasi logam berat dalam jangka waktu lama dapat menyebabkan kerusakan ekosistem dan berpotensi memperburuk masalah pencemaran lingkungan (Agustina, 2014).

Dari sudut pandang toksikologi, logam berat dapat dibedakan menjadi dua jenis yakni, logam berat esensial dan logam berat non esensial. Menurut Febrianti, dkk

(2023) logam berat esensial adalah logam berat yang memiliki peran penting dalam proses metabolisme tubuh, namun dapat menjadi racun serta dapat menimbulkan kerusakan organ bahkan kematian jika jumlahnya berlebihan, seperti seng (Zn), tembaga (Cu), dan besi (Fe). Sedangkan logam berat non-esensial, yang tidak diketahui memiliki peran dalam tubuh makhluk hidup, seperti timbal (Pb), kadmium (Cd), dan merkuri (Hg). Keberadaan logam non-esensial ini sangat berbahaya bagi lingkungan, meskipun dalam konsentrasi rendah, karena dapat menghambat proses metabolisme organisme (Handayanto, dkk. 2017).

Timbal (Pb) memiliki nomor atom 82 dan berat atom 207,2 gr/mol, memiliki berat jenis 11,34 gr/cm³, titik didih 1740°C, dan titik leleh 327,43°C. Logam ini bersifat lunak, mudah ditempa, dicairkan, diekstraksi, dan digulung. Selain itu, timbal tahan terhadap korosi, sehingga sering digunakan sebagai lapisan pelindung (coating). Namun, logam ini kurang efisien sebagai penghantar listrik. Penggunaan timbal juga meliputi produksi amunisi, bahan kembang api, peledak, korek api, retardan api untuk plastik, serta sebagai katalisator dalam berbagai proses industri dan bahan pelapis epoksi. Timbal mudah menguap dan bereaksi dengan oksigen, menghasilkan timbal oksida (PbO). U.S. Environmental Protection Agency mengklasifikasikan timbal sebagai logam berat dengan tingkat toksisitas yang tinggi (Ghasemidehkordi *et al.*, 2018).

2.4 Pencemaran Udara

Pencemaran udara merupakan masalah lingkungan yang signifikan dan berdampak negatif terhadap kesehatan manusia, ekosistem, serta iklim global. Pencemaran ini dihasilkan dari berbagai sumber baik alami maupun aktivitas antropogenik seperti emisi kendaraan, kegiatan industri, pembakaran, bahkan

limbah pertanian. Partikulat gas beracun seperti karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO₂), dan nitrogen oksida (NO) adalah beberapa contoh polutan yang sering ditemukan dalam udara. Paparan jangka panjang terhadap polutan ini dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan termasuk penyakit pernapasan, penyakit kardiovaskuler, bahkan gangguan sistem imun (Siburian & Mar, 2020).

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup (KLH) Indonesia, pencemaran udara didefinisikan sebagai masuknya zat-zat berbahaya ke dalam atmosfer yang dapat mengganggu keseimbangan ekosistem dan membahayakan kesehatan manusia. Dampak pencemaran udara tidak hanya terbatas pada kesehatan manusia saja tetapi juga mempengaruhi kualitas lingkungan dan keberlangsungan hidup flora dan fauna. Pencemaran udara dapat menyebabkan penurunan kualitas tanah dan air serta dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman melalui gangguan proses fotosintesis dan transpirasi. Selain itu, pencemaran udara juga berkontribusi pada perubahan iklim global melalui peningkatan emisi gas rumah kaca atau yang lainnya (Nugrahani, 2023).

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

Logam berat timbal (Pb) memiliki dampak yang signifikan terhadap tanaman, baik pada ekosistem terestrial maupun akuatik. Akumulasi Pb dalam jaringan tumbuhan dapat mengganggu aktivitas metabolisme serta menghambat berbagai proses morfofisiologis yang esensial bagi kelangsungan hidup tanaman (Carvalho *et al.*, 2025). Pencemaran Pb menjadi permasalahan lingkungan global yang serius karena dapat menurunkan produktivitas pertanian. Paparan Pb dalam konsentrasi tinggi menyebabkan gangguan pada struktur anatomi, menghambat pertumbuhan,

menurunkan efisiensi fotosintesis, serta mengganggu penyerapan unsur hara, keseimbangan air, dan regulasi hormon (Da Costa *et al.*, 2023 dan Carvalho *et al.*, 2025).

Konsentrasi timbal (Pb) yang tinggi, berkisar antara 100 hingga 1000 mg/kg, dapat memberikan dampak negatif terhadap proses fotosintesis sehingga menghambat pertumbuhan tanaman (Irma & Susanti, 2014). Timbal dapat menurunkan efisiensi fotosintesis dengan cara mengurangi kandungan klorofil, yang disertai perubahan warna jaringan epidermis menjadi coklat kehitaman (Nababan, dkk. 2023). Mengingat fotosintesis merupakan proses vital bagi kehidupan tanaman, akumulasi Pb dalam jaringan dapat secara langsung menurunkan laju fotosintesis. Hal ini disebabkan oleh terganggunya pembentukan klorofil, terhambatnya jalannya siklus Calvin, serta penurunan penyerapan CO₂ akibat tertutupnya stomata (Collin *et al.*, 2022).

Paparan timbal (Pb) yang bersifat toksik dapat menyebabkan perubahan morfologi pada berbagai bagian tanaman, termasuk daun sebagai organ utama dalam proses fotosintesis (Gupta *et al.*, 2024). Kehadiran polutan seperti timbal di atmosfer dapat merusak struktur daun, salah satunya ditunjukkan melalui gejala klorosis—yakni pemudaran warna hijau akibat gangguan dalam pembentukan atau kestabilan klorofil (Faisal *et al.*, 2024). Selain itu, konsentrasi Pb yang tinggi juga dapat menghambat pelebaran daun, yang secara langsung berdampak terhadap penurunan efisiensi proses fotosintesis (Nababan, dkk. 2023). Timbal (Pb) tidak hanya memengaruhi morfologi dan fisiologi tanaman, tetapi juga berdampak pada struktur anatomi daun, khususnya stomata. Respons anatomi tanaman terhadap cemaran Pb dapat terlihat dari perubahan kerapatan stomata serta terganggunya

mekanisme buka-tutup stomata (Rifa'i & Puspitawati, 2022). Emisi dari kendaraan bermotor yang mengandung logam berat seperti Pb dapat terakumulasi di jaringan daun dan menyebabkan meningkatnya jumlah stomata yang berada dalam kondisi tertutup, serta menghambat proses pembelahan sel induk stomata, sehingga berdampak pada penurunan jumlah stomata secara keseluruhan. Selain itu, partikel Pb berukuran sekitar 0,2 μm yang masuk melalui pori stomata dapat mengganggu metabolisme sel, yang pada akhirnya menurunkan efisiensi proses fotosintesis (Hidayat, 2019).

2.5 Mekanisme Penyerapan Logam Berat pada Pohon

Mekanisme penyerapan logam berat oleh tanaman dapat dibedakan menjadi dua kategori utama yakni penyerapan secara aktif dan pasif. Penyerapan pasif terjadi melalui proses difusi, di mana ion logam berat bergerak dari konsentrasi yang lebih tinggi di dalam media tanah ke konsentrasi yang lebih rendah di dalam jaringan akar tanaman. Proses ini tidak memerlukan energi tambahan dari tanaman. Dalam kondisi tertentu, seperti tingginya konsentrasi logam berat, mekanisme ini dapat mendominasi, memungkinkan tanaman untuk menyerap logam berat secara efisien melalui membran sel akar. Membran sel akar yang permeabel berperan penting dalam proses ini, di mana ion logam berat seperti timbel (Pb), kadmium (Cd), dan arsenik (As) dapat terakumulasi di dalam sel (Rachma dkk, 2014 dan Silviaan & Rachmadiarti, 2023).

Sementara itu, penyerapan aktif melibatkan penggunaan energi yang berasal dari ATP (adenosin trifosfat) untuk transportasi ion logam berat melawan gradien konsentrasi. Proses ini sering dimediasi oleh pompa ion dan transporter spesifik yang terletak pada membran sel. Dalam penyerapan aktif, tanaman dapat mengatur

konsentrasi logam berat di dalam sel, sehingga memungkinkan mereka untuk mengakumulasi logam berat pada tingkat yang lebih tinggi dibandingkan dengan lingkungan sekitarnya. Selain itu, mekanisme ini juga berperan dalam detoksifikasi logam berat, di mana tanaman dapat mengubah logam berat menjadi bentuk yang kurang beracun melalui proses kompleks seperti kompleksasi dengan senyawa organik atau pengikatan pada dinding sel. (Handayanto dkk, 2017).

Logam berat juga bisa masuk ke dalam tumbuhan dari tanah dan air melalui akar. Unsur-unsur logam yang merupakan unsur hara tumbuhan (Cu, Fe, Zn, Mg) dapat masuk melalui aliran aktif maupun pasif bersama aliran air dari akar, sedangkan unsur-unsur logam yang bukan hara (Pb, Cr, Hg, Cd) dapat masuk ke dalam tumbuhan secara tidak sengaja melalui imbibisi air oleh akar (Liu & Li, 2022). Melalui proses inilah tumbuhan bisa berfungsi sebagai bioremediasi, lebih tepatnya fitoremediasi yakni proses yang dapat memindahkan, menghilangkan atau menguraikan kontaminan dalam tanah dan air (Triastianti, dkk. 2023). Proses akumulasi dan absorpsi dalam fitoremediasi dapat dibagi menjadi tiga tahap. Pertama, zat pencemar diserap oleh akar tumbuhan. Kedua, zat tersebut ditranslokasikan dari akar ke batang dan daun melalui xilem dan floem. Ketiga, pencemar akan terakumulasi dalam struktur tubuh tumbuhan (Ardiana, dkk. 2022). Penyerapan ini terjadi melalui proses difusi dan osmosis (Mutmainnah, 2015). Ion yang terlarut akan masuk ke ruang antar sel pada dinding sel epidermis akar, kemudian dibantu oleh pita kaspari untuk masuk ke dalam sel endodermis. Selanjutnya, ion tersebut akan memasuki jaringan korteks dan diteruskan ke jaringan xilem melalui jalur simplas. Di dalam vakuola, zat pencemar seperti timbal (Pb) akan terakumulasi (Ardiana, dkk. 2022), menyebabkan vakuola

menggelembung dan mendorong sitoplasma ke pinggir sel. Kondisi ini membuat protoplasma berada lebih dekat dengan membran sel, sehingga meningkatkan efisiensi pertukaran zat antara sel dan lingkungan sekitarnya (Silviana & Rachmadiarti, 2023).

2.6 Stomata Daun

Stomata merupakan struktur mikroskopis yang terletak di permukaan daun dan batang tanaman yang berfungsi sebagai tempat keluar masuknya gas. Setiap stomata terdiri dari sepasang sel penjaga yang mengatur pembukaan dan penutupan stomata, hal ini dipengaruhi oleh banyak faktor seperti kelembapan, cahaya, serta konsentrasi karbon dioksida (Muthi'ah, 2022). Melalui proses ini stomata memiliki peran penting dalam fotosintesis dan transpirasi, yang berkontribusi menjaga keseimbangan air dan nutrisi dalam tanaman. Selain fungsi utamanya dalam pertukaran gas, stomata juga berperan dalam respons tanaman terhadap stress lingkungan, termasuk pencemaran logam berat. Saat terpapar polutan seperti timbal (Pb) tanaman mengatur pembukaan stomata untuk meminimalkan penyerapan logam beracun sambil tetap mempertahankan perannya dalam proses fotosintesis dan transpirasi (Mudaningrat dkk, 2023).

Paparan timbal (Pb) dalam lingkungan tumbuh tanaman dapat memengaruhi struktur dan fungsi stomata secara signifikan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa akumulasi Pb dalam jaringan daun dapat menyebabkan terganggunya mekanisme buka-tutup stomata akibat gangguan pada metabolisme ion seperti kalium (K^+) dan kalsium (Ca^{2+}), yang penting dalam regulasi turgor sel penjaga (Sharma & Dubey, 2005). Selain itu, logam berat seperti Pb juga dapat memicu stres oksidatif pada jaringan daun, yang berdampak pada penurunan densitas

stomata, perubahan bentuk sel penjaga, hingga penebalan kutikula di sekitar stomata sebagai respons adaptif terhadap toksisitas (Hasan et al., 2020). Perubahan morfologi dan fisiologi stomata ini berdampak langsung terhadap efisiensi fotosintesis dan transpirasi, sehingga memengaruhi keseimbangan air dan produktivitas tanaman secara keseluruhan (Novitasari, 2022).

2.7 Atomic Absorption Spectrometry (AAS)

Atomic Absorption Spectrometry (AAS) adalah alat yang digunakan untuk mengukur konsentrasi logam dalam berbagai sampel, termasuk air, tanah, makanan, dan jaringan biologi. Metode ini sangat efektif untuk mendeteksi elemen-elemen berat seperti timbal (Pb) dan logam lainnya dengan sensitivitas tinggi. AAS sering digunakan dalam penelitian lingkungan untuk memantau pencemaran, dalam industri untuk kontrol kualitas, dan dalam bidang kesehatan untuk analisis unsur-unsur yang berpotensi berbahaya bagi kesehatan manusia. Keakuratan dan kemampuan AAS untuk menganalisis berbagai matriks menjadikannya alat penting dalam laboratorium analiti (Based, 1994).

Mekanisme *Atomic Absorption Spectrometry* (AAS) dalam mengukur konsentrasi unsur pada senyawa adalah melalui proses absorpsi atom. Instrumen ini khusus untuk analisis logam dan senyawa anorganik. Sampel yang dianalisis dengan AAS umumnya berbentuk larutan transparan, dan prinsip kerjanya didasarkan pada absorpsi cahaya oleh atom pada panjang gelombang tertentu. Ketika cahaya diserap, atom dapat berubah menjadi ion atau senyawa. Untuk menganalisis ion atau senyawa logam berat, atom harus terlebih dahulu dikonversi pada suhu tinggi. Cahaya yang diserap oleh atom menghasilkan panjang gelombang tertentu yang bergantung pada karakteristik unsur tersebut. Metode analisis AAS

mengikuti hukum Lambert Beer, yang menyatakan bahwa jumlah cahaya yang terabsorpsi berbanding lurus dengan konsentrasi zat dalam sampel. Tujuan dari analisis ini adalah untuk menentukan hubungan antara absorbansi cahaya yang terukur dan konsentrasi zat dalam sampel (Based, 1994).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini bersifat deskriptif kuantitatif dengan metode penelitian eksploratif. Untuk mengambil sampel penelitian dengan cara mendatangi lokasi penelitian secara langsung. Data kuantitatif dalam penelitian ini antara lain analisis karakteristik stomata, morfologi, anatomi, laju fotosintesis dan analisis kandungan logam berat timbal (Pb) pada daun dari *Polyalthia longifolia*.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Pelaksanaan studi potensi *Polyalthia longifolia* sebagai bioakumulator logam berat timbal (Pb) dilaksanakan pada bulan Maret – April tahun 2025 yang berlokasi di 3 ruas jalan Kota Malang. Sampel yang diperoleh lalu diuji di Laboratorium Analisa dan Pengukuran Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Brawijaya Malang dan Laboratorium Kultur Jaringan Tumbuhan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.3 Alat dan Bahan

3.3.1 Alat

Peralatan yang dibutuhkan saat pengambilan sampel di lapangan antara lain kamera, mikroskop *inverted*, *object glass*, *cover glass*, *cool box*, plastik ziplock, kertas label, *Plant Photosynthesis Meter*, alat tulis, gunting. Selanjutnya alat yang dibutuhkan dalam preparasi dan analisis logam berat pada sampel antara lain timbangan analitik, blender, aluminium foil, kertas saring, gelas ukur ukuran 10 ml, gelas beaker ukuran 100 ml, jeldal, corong 75 mm, cawan goach, labu ukur ukuran 100 ml, labu ukur ukuran 50 ml, Erlenmeyer ukuran 100 ml, botol asi ukuran

100 ml, batang pengaduk, *instrument furnace*, *microwave extraction*, pipet ukuran 10 ml dan 5 ml, *hotplate*, dan AAS.

3.3.2 Bahan

Bahan-bahan untuk proses preparasi dan analisis logam berat pada sampel penelitian ini antara lain larutan HNO₃, batu didih, aquades, dan sampel daun Glodokan Tiang (*Polyalthia longifolia*).

3.4 Prosedur Penelitian

Penentuan lokasi pengambilan sampel dilakukan melalui observasi berdasarkan tingkat kepadatan kendaraan, yang dikategorikan menjadi tinggi, sedang, dan rendah. Pada masing-masing lokasi diambil sampel dari 2 pohon Glodokan Tiang (*Polyalthia longifolia*) dan masing-masing dilakukan 3 kali ulangan dengan memilih pohon yang memiliki ukuran relatif seragam, dengan diameter batang antara 15 - 30 cm guna mengurangi variasi kapasitas penyerapan polutan.

3.4.1 Penentuan Kepadatan Lalu Lintas

Penentuan kepadatan lalu lintas diketahui berdasarkan perhitungan jumlah kendaraan yang melintas pada ruas jalan tersebut menggunakan hand tally counter, dilakukan pada pagi hari pukul 07.00-08.00 dan sore hari pukul 16.00-17.00 WIB. Jumlah kendaraan kemudian dikategorikan berdasarkan jumlah.

Tabel 3.1 Jumlah Kendaraan Melintas di Beberapa Ruas Jalan Kota Malang

Lokasi	Rata-Rata Pagi Sore	Kategori
Jl. Sunan Kalijaga Dalam	159	Rendah
Jl. Melati	2519	Sedang
Jl. Basuki Rahmat	4536	Tinggi

3.4.2 Teknik Pengambilan Sampel Daun Analisis Timbal

Pengambilan sampel daun dilakukan dengan memilih dua pohon Glodokan Tiang pada setiap lokasi. Dari masing-masing pohon, diambil 5–10 helai. Daun yang digunakan sebagai sampel merupakan ibu tangkai daun pertama dari cabang pada tajuk paling bawah, karena posisinya paling dekat dengan sumber emisi. Daun yang dipilih adalah daun yang telah sempurna terbentuk dan berwarna hijau tua. Seluruh sampel kemudian dimasukkan ke dalam plastik *ziplock* yang telah diberi label, dan disimpan dalam *cool box* untuk menjaga kualitas sebelum dianalisis lebih lanjut.

3.4.3 Teknik Pengamatan Karakteristik Anatomi

Sampel pengamatan anatomi dipilih dari daun yang terkena sinar matahari langsung dan membuka sempurna lalu dibersihkan dari debu dan kotoran, kemudian diolesi dengan kutek gel bening dan ditunggu hingga kering. Setelah kering, lapisan kutek dikelupas dan diletakkan pada *object glass* yang ditutup dengan *cover glass* lalu diamati menggunakan mikroskop *inverted* Nikon *Eclipse Ti-U* dengan perbesaran 200x dan dilakukan perhitungan terhadap stomata yang terlihat untuk mendapat nilai kerapatan stomata. Tingkat kerapatan stomata menurut Marantika, dkk (2021) dikategorikan menjadi tiga, yaitu rendah (<300/mm²), sedang (300-500/mm²) dan kerapatan tinggi (>500/mm²). Kerapatan stomata dihitung berdasarkan rumus berikut:

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

3.4.4 Teknik Pengamatan Karakteristik Morfologi

Pengamatan morfologi daun dilakukan dengan memilih 10 helai daun dari setiap pohon sampel di masing-masing lokasi. Daun yang dipilih adalah daun yang telah membuka sempurna, terkena sinar matahari secara merata, dan memiliki warna hijau sedang, tidak terlalu cerah (daun muda) maupun terlalu gelap (daun tua). Daun yang diamati dipastikan dalam kondisi baik, tidak berlubang, tidak patah, serta tidak mengalami kerusakan fisik. Pemotretan daun dilakukan pada pencahayaan yang konsisten dan posisi kamera tegak lurus terhadap objek untuk meminimalkan distorsi visual (Deswanti, 2017). Foto daun kemudian dianalisis menggunakan *software ImageJ* untuk menghitung rata-rata luas daun, serta aplikasi *Color Grab* untuk mengidentifikasi nilai warna daun secara digital.

3.4.5 Teknik Pengamatan Laju Fotosintesis

Pengukuran laju fotosintesis dilakukan menggunakan alat *Photosynthesis Meter* Nade 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 $\mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$.

3.4.6 Analisis Logam Berat Timbal (Pb)

Analisis logam berat dilaksanakan di laboratorium meliputi proses Analisa kadar Pb mengacu pada SNI No. 06-6992.3-2004. Adapun prosedur analisis dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu: sampel pertama-tama dibersihkan, dikeringkan dalam oven, selanjutnya dihaluskan serta dicampur hingga homogen.

Kemudian, 3 g sampel ditempatkan pada Erlenmeyer berukuran 250 ml dan 25 ml aquades ditambahkan kedalamnya. 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 derajat celcius hingga 1200 derajat celcius sampai volume tersisa 10 ml. Kemudian, sampel diangkat dan didinginkan. Proses analisis lanjutan dilakukan dengan menambahkan 5 ml HNO₃ pekat. Sampel dipanaskan kembali sampai muncul asap putih dan larutan sampelnya jernih, kemudian dipanaskan kembali selama 30 menit dan didinginkan. Kemudian disaring memakai kertas saring. Sampel diletakkan di labu ukur 100 ml dan ditambah aquades, lalu dilakukan pengukuran kadar Pb yang diukur pada panjang gelombang 217,0 nm menggunakan AAS AA-6200/Shimadzu.

3.5 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 dengan melihat nilai koefisien korelasi antara konsentrasi Pb pada daun dengan kedua parameter lainnya.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Akumulasi Logam Berat Timbal (Pb) yang Terserap dalam Daun Glodokan Tiang di Ruas Jalan Kota Malang

Kandungan partikel logam berat timbal (Pb) yang terserap oleh daun Glodokan Tiang yang berfungsi sebagai pohon peneduh di beberapa ruas jalan Kota Malang Nampak berbeda untuk setiap lokasi. Kandungan logam berat timbal (Pb) pada daun tiap jenis tumbuhan tidak memperlihatkan pola yang beraturan. Hasil analisis lengkap akumulasi timbal (Pb) yang terserap pada daun Glodokan Tiang terdapat pada lampiran sedangkan analisis rata-rata kandungan logam berat timbal (Pb) yang terserap pada daun Glodokan Tiang tersaji pada Tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4. 1 Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) pada Daun Glodokan Tiang di Beberapa Ruas Jalan Kota Malang

Lokasi	Akumulasi Pb (mg/kg)
Jl. Sunan Kalijaga Dalam	1.23
Jl. Melati	2.46
Jl. Basuki Rahmat	4.98

Berdasarkan hasil pengukuran rata-rata akumulasi kandungan logam berat timbal (Pb) terserap pada daun Glodokan Tiang di beberapa lokasi ruas jalan Kota Malang menunjukkan bahwa kandungan timbal (Pb) yang ada di setiap lokasi hasilnya berbeda. Lokasi yang paling banyak menyerap partikel logam berat timbal (Pb) adalah Jl. Basuki Rahmat sebesar 4.98 mg/kg sedangkan lokasi yang paling sedikit menyerap partikel logam berat timbal (Pb) adalah Jl. Sunan Kalijaga Dalam sebesar 1,23 mg/kg. Kandungan logam berat timbal (Pb) di Jl. Basuki Rahmat memiliki konsentrasi paling tinggi yang sesuai dengan kategorinya berada pada

volume kendaraan dengan kepadatan tinggi. Hal ini sesuai menurut pendapat Purwoko & Prastiwi (2019) bahwa tingginya kepadatan kendaraan di suatu daerah akan menyebabkan peningkatan pencemaran udara, khususnya timbal (Pb).

Hasil pada tabel 4.1 kandungan logam berat timbal (Pb) yang terakumulasi sangat bervariasi. Hal ini menunjukkan bahwa terserapnya partikel timbal (Pb) oleh daun sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya adalah ukuran partikel timbal, struktur dan ketebalan daun, bukaan stomata, serta kondisi lingkungan seperti angin, suhu, kelembaban, kandungan tanah serta posisi ketinggian daun dari permukaan tanah (Rois & Muryani, 2023).

Kadar normal logam berat Timbal (Pb) dalam tanaman berkisar antara 0,5 -3,0 ppm (Wibowo, dkk. 2024). Pendapat lain mengatakan bahwa kandungan kadar timbal (Pb) yang normal pada tanaman berkisar 5 sampai 10 mg/kg, sedangkan akan bersifat toksik pada konsentrasi 30-300 mg/kg (Siregar, dkk. 2020). Berdasarkan pernyataan tersebut maka dapat diketahui bahwa kandungan Pb dalam daun Glodokan Tiang yang ada di 3 lokasi pengamatan beberapa ruas jalan Kota Malang masih dalam batas normal, hal ini juga memberi pengertian yang berarti kandungan Pb pada daun Glodokan Tiang di beberapa ruas jalan Kota Malang yang diuji belum melampaui batas toksisitasnya terhadap tanaman. Partikel logam berat yang masuk ke dalam tanaman memicu berbagai macam perubahan fisiologis dan metabolisme pada tanaman, namun demikian kenampakan respon terhadap cemaran logam berat berbeda tergantung logam berat pencemar dan jenis tanaman. Kebanyakan respon paling nampak dari cemaran logam berat berlebih adalah penurunan pertumbuhan tanaman seperti klorosis daun, nekrosis, kehilangan turgor, kelumpuhan aparatur fotosintesis, dan bahkan kematian tanaman (Handayanto, dkk. 2017).

Konsentrasi logam berat yang berlebihan dapat memberikan dampak negatif terhadap pertumbuhan tanaman serta aktivitas mikroorganisme di dalam tanah. Gangguan terhadap mikroorganisme ini secara tidak langsung turut memengaruhi pertumbuhan tanaman, karena logam berat dapat menekan populasi mikroorganisme yang berperan penting dalam mendukung kesehatan tanah. Penurunan jumlah mikroorganisme bermanfaat menyebabkan proses dekomposisi bahan organik melambat, sehingga ketersediaan unsur hara dalam tanah pun menurun (Handayanto, dkk. 2017). Timbal merupakan salah satu jenis logam berat yang paling umum ditemukan di dalam tanah dan diketahui memberikan dampak negatif terhadap morfologi, pertumbuhan, serta proses fotosintesis pada tanaman. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa keberadaan timbal dapat menghambat proses perkecambahan biji, pertumbuhan akar, batang, dan daun. Konsentrasi timbal yang tinggi dalam tanah bahkan dapat memicu terbentuknya struktur morfologi yang tidak normal pada beberapa spesies tanaman (Handayanto, dkk. 2017). Selain itu, timbal juga diketahui mengganggu proses fotosintesis dengan cara menghambat aktivitas enzim karboksilasi. Kandungan timbal yang berlebih dapat menyebabkan ketidakseimbangan air, mengubah permeabilitas membran sel, serta mengganggu ketersediaan unsur hara penting yang dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman (Handayanto, dkk. 2017).

4.2 Karakteristik Anatomi Glodokan Tiang di Ruas Jalan Kota Malang

4.2.1 Kerapatan Stomata Daun Glodokan Tiang (*Polyalthia longifolia*)

Stomata merupakan pori-pori kecil yang terdapat pada permukaan daun dan berperan penting dalam proses pertukaran gas serta transpirasi pada tumbuhan. Struktur ini dikendalikan oleh sel penjaga (*guard cells*) yang dapat membuka atau

menutup stomata sebagai respons terhadap berbagai faktor lingkungan, seperti cahaya, kelembapan, konsentrasi CO₂, dan stres abiotik termasuk keberadaan logam berat (Lakitan, 2011). Dalam kondisi lingkungan yang tercemar logam berat seperti timbal (Pb), fungsi stomata dapat terganggu. Timbal dapat memengaruhi keseimbangan ion dan aktivitas enzim di sel penjaga, sehingga mengganggu mekanisme pembukaan dan penutupan stomata. Akibatnya, proses fisiologis seperti fotosintesis dan transpirasi dapat mengalami penurunan (Daloso *et al.*, 2017).

Selain memengaruhi fungsi stomata, logam berat seperti timbal juga dapat terakumulasi di jaringan sekitar stomata, terutama melalui proses deposisi langsung dari udara ke permukaan daun. Partikel logam berat yang mengendap pada permukaan daun dapat memasuki jaringan internal melalui stomata yang terbuka. Mekanisme ini menjadikan stomata sebagai salah satu jalur potensial masuknya timbal ke dalam jaringan daun, di samping jalur akar (Handayanto, dkk. 2017).

Hasil Penelitian terhadap kerapatan stomata (per mm²) pohon peneduh jalan selengkapnya diperoleh pada lampiran. Rata-rata kerapatan stomata dapat dilihat pada tabel 4.2 sebagai berikut.

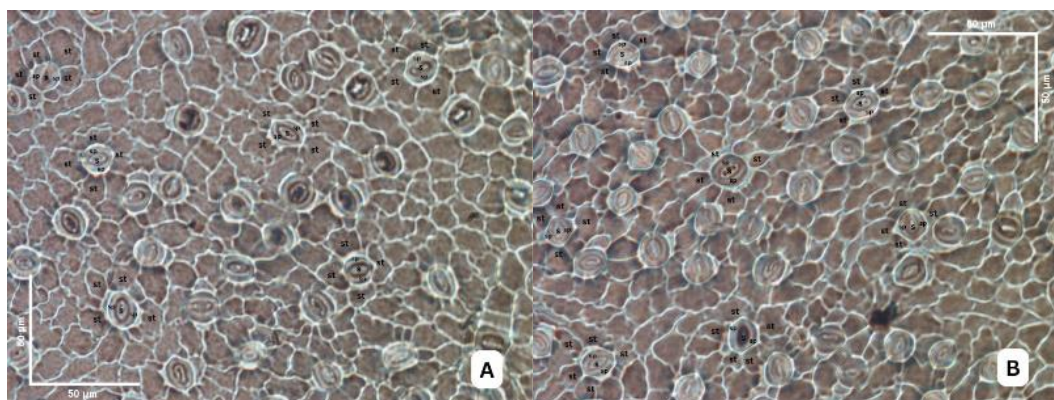
Tabel 4. 2 Kerapatan Stomata Daun Glodokan Tiang di Beberapa Ruas Jalan Kota Malang

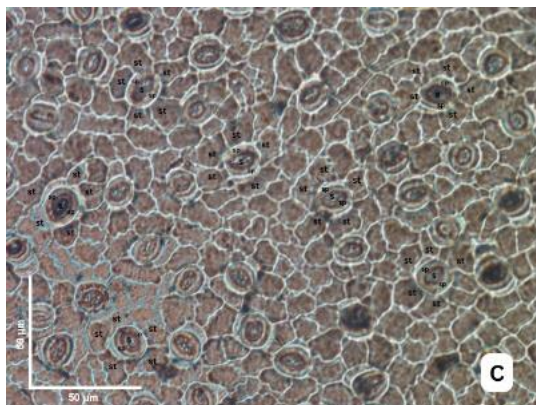
Lokasi	Kerapatan Stomata (Per mm ²)	Kategori
Jl. Sunan Kalijaga Dalam	168.5464	Rendah
Jl. Melati	185.213	Rendah
Jl. Basuki Rahmat	194.2356	Rendah

Hasil data kerapatan stomata pada tabel 4.2 diatas meunjukkan bahwa semakin tinggi volume kendaraan pada suatu lokasi maka semakin tinggi juga kerapatan stomatanya juga, walaupun pada hasil diatas perbedaan diantara satu lokasi dan lokasi lainnya tidak berbeda jauh tetapi tetap ada peningkatan sesuai

volume padat kendaraan di lokasi yang diamati. Hal ini sesuai dengan pernyataan Yan *et al* (2025) bahwasanya pohon di daerah dengan polusi tinggi cenderung memiliki kerapatan stomata yang lebih tinggi sebagai respons adaptif untuk meningkatkan pertukaran gas, meskipun berisiko terhambat oleh polutan. Sebaliknya, spesies yang lebih sensitif terhadap polusi menunjukkan kerapatan stomata yang lebih rendah, yang dapat mengurangi penyerapan polutan tetapi juga dapat mempengaruhi efisiensi fotosintesis.

Secara fisiologis, tumbuhan memiliki kemampuan untuk mengatur tingkat konduktivitas stomata melalui mekanisme pembukaan dan penutupan pori (Fauziah, dkk. 2020). Dari sisi struktur, adaptasi stomata tercermin melalui variasi dalam bentuk, ukuran, serta kerapatan atau perbandingan jumlah stomata pada permukaan atas maupun bawah daun (Purnobasuki, 2025). Pada tumbuhan akuatik, daun umumnya berbentuk tipis dan lebar, sehingga stomata lebih banyak ditemukan pada permukaan atas (epidermis adaksial). Sebaliknya, pada tumbuhan darat, stomata cenderung lebih padat pada permukaan bawah daun (epidermis abaksial) (Rudall, 2020).





Gambar 4. 1 Stomata Daun Perbesaran 200x Tipe Anomositik
(A: Jl. Sunan Kalijaga Dalam; B: Jl. Melati; C: Jl. Basuki Rahmat)

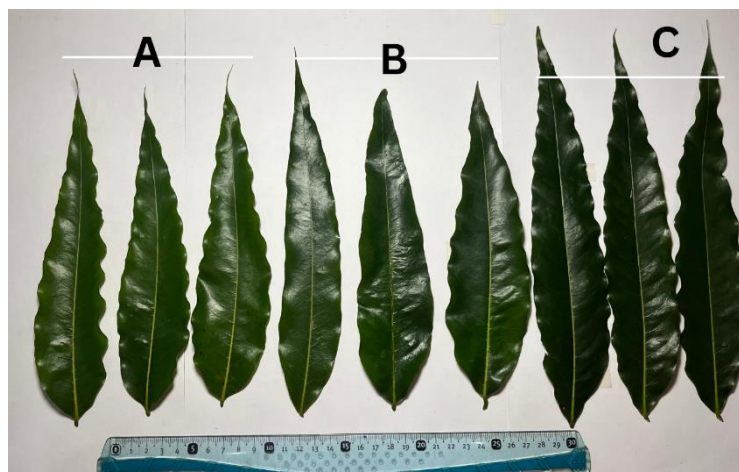
Jenis stomata yang ditemukan pada glodokan tiang (*Polyalthia longifolia*) adalah tipe anomositik, di mana sel penjaga dikelilingi oleh sel-sel epidermis yang tidak memiliki bentuk atau ukuran yang mencolok sebagai sel penutup khusus. Ciri khas tipe stomata ini adalah susunan sel-sel tetangganya yang acak dan menyerupai sel epidermis biasa, berbeda dengan tipe stomata lain seperti parasitik atau diasitik yang memiliki susunan sel pengiring yang lebih teratur dan khas. Keberadaan stomata anomositik pada glodokan tiang sering dikaitkan dengan efisiensi dalam proses pertukaran gas serta adaptasi terhadap lingkungan tropis yang memiliki kelembapan dan suhu tinggi (Khasanah & Na'ima, 2022). Selain sebagai karakter taksonomi dalam famili Annonaceae, tipe stomata ini juga diperkirakan berkontribusi terhadap toleransi fisiologis tanaman terhadap tekanan lingkungan, termasuk paparan logam berat seperti timbal (Pb). Kemampuan regulasi stomatal yang fleksibel memungkinkan glodokan tiang mengatur aktivitas transpirasi dan difusi gas secara efektif, sekaligus membatasi masuknya partikel polutan melalui pori-pori daun (Mamine *et al.*, 2024). Oleh karena itu, keberadaan stomata anomositik dapat menjadi salah satu faktor pendukung dalam menjelaskan kemampuan glodokan tiang untuk mentoleransi dan mengakumulasi Pb tanpa

menunjukkan gejala kerusakan yang signifikan, sehingga memperkuat potensinya sebagai spesies fitoremediator di kawasan perkotaan yang tercemar.

4.3 Karakteristik Morfologi Glodokan Tiang di Ruas Jalan Kota Malang

4.3.1 Rata- Rata Luas Daun Glodokan Tiang (*Polyalthia longifolia*)

Luas daun merupakan parameter morfologis penting dalam fisiologi tumbuhan yang mencerminkan kapasitas fotosintesis, transpirasi, serta interaksinya dengan lingkungan sekitar termasuk dalam penyerapan partikel polutan seperti logam berat. Menurut Soheili, *et al* (2023) luas permukaan daun memiliki peran signifikan dalam proses akumulasi logam berat termasuk unsur timbal karena menyediakan area yang lebih luas untuk deposisi partikel. Spesies tumbuhan yang memiliki daun berukuran besar, permukaan kasar, serta dilengkapi struktur pelindung seperti kutikula dan trikoma umumnya menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi dalam menyerap serta menahan logam berat di lingkungan sekitarnya (Soheili *et al.*, 2023). Pengukuran luas permukaan daun dapat dilakukan melalui berbagai metode baik destruktif maupun non destruktif, seperti penggunaan alat pemindai daun atau perangkat lunak analisis digital. Dalam penelitian ini, pengukuran rata-rata luas daun pada Glodokan Tiang dilakukan untuk mengevaluasi perbedaan luas permukaan daun pada beberapa lokasi yang berbeda.



Gambar 4. 2 Pengukuran Luas Daun Glodokan Tiang Sebelum *ImageJ*
(A: Jl. Sunan Kalijaga Dalam; B: Jl. Melati; C: Jl. Basuki Rahmat).

Hasil Perhitungan luas permukaan daun Glodokan Tiang di beberapa ruas jalan Kota Malang selengkapnya diperoleh pada lampiran. Rata-rata luas daun dapat dilihat pada tabel 4.3 sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Rara-Rata Luas Daun Glodokan Tiang di Beberapa Ruas Jalan Kota Malang

Lokasi	Rata-Rata Luas Daun
Jl. Sunan Kalijaga Dalam	49,675 $\pm$ 4.39
Jl. Melati	65,051 $\pm$ 3.77
Jl. Basuki Rahmat	84,747 $\pm$ 7.96

Hasil pengukuran menunjukkan adanya variasi rata-rata luas daun Glodokan Tiang antar lokasi, hal ini menunjukkan bahwa rata-rata luas daun berbanding lurus dengan volume kepadatan lalu lintas di lokasi, dimana makin tinggi potensi paparan polusi maka semakin besar luas permukaan daun yang terbentuk, kemungkinan sebagai adaptasi terhadap peningkatan cahaya dan polusi dan diikuti pula oleh meningkatnya kandungan timbal yang terakumulasi. Pada Jl. Basuki Rahmat rata-rata luas daun mencapai 84,747 cm², pada Jl. Melati mencapai 65,051 cm² dan Jl, Sunan Kalijaga Dalam mencapai 49,675 cm².

Perbedaan ini kemungkinan besar dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang lebih tinggi pada perbedaan tajuk yang akan mendorong respon adaptif berupa perubahan morfologi daun, seperti peningkatan luas permukaan daun untuk mengoptimalkan penyerapan cahaya dan efisiensi fotosintesis (Poorter *et al.*, 2019). Namun dalam kondisi lingkungan yang tercemar logam berat seperti timbal, peningkatan luas permukaan daun tidak selalu diikuti oleh peningkatan laju fotosintesis, karena aktivitas fotosintetik dapat terganggu oleh akumulasi polutan yang merusak fungsi fisiologis daun (Amrillah, dkk. 2023).

4.3.2 Warna Daun Glodokan Tiang (*Polyalthia longifolia*)

Warna daun merupakan parameter yang sangat penting dalam menilai kondisi fisiologis tanaman karena mencerminkan kesehatan jaringan daun dan efisiensi proses fotosintesis. Perubahan warna daun, seperti memucat atau menguning biasanya menjadi indikator awal adanya stress lingkungan termasuk paparan partikel logam berat seperti timbal (Mirawati & Sedijani, 2016). Timbal dapat menyebabkan kerusakan sel dan menurunkan aktivitas enzim-enzim penting dalam metabolisme tanaman, sehingga mengurangi kemampuan daun dalam menangkap cahaya dan menjalankan fotosintesis secara optimal (Tan *et al.*, 2022). Oleh karena itu, pengamatan warna daun dapat menjadi metode non destruktif dan cepat untuk mendeteksi dampak pencemaran logam berat pada tanaman di daerah perkotaan.

Hasil pengamatan warna daun Glodokan Tiang pohon peneduh jalan selengkapnya diperoleh pada lampiran. Rata-rata warna daun dapat dilihat pada tabel 4.4 sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Warna Daun Glodokan Tiang di Beberapa Ruas Jalan Kota Malang

Lokasi	Dominan Warna	Keterangan Visual
Jl. Sunan Kalijaga Dalam	<i>Dark Green</i>	Hijau tua, nampak sehat
Jl. Melati	<i>Verdun Green</i>	Hijau gelap sedikit kekuningan
Jl. Basuki Rahmat	<i>Deep Fir</i>	Hijau pekat agak kehitaman

Hasil pengamatan terhadap warna daun Glodokan Tiang menunjukkan adanya variasi warna dominan berdasarkan lokasi pengambilan sampel di Jl. Sunan Kalijaga Dalam, daun menunjukkan warna dominan *Dark Green* yang menggambarkan warna hijau tua dan tampak segar. Sementara itu, di Jl. Melati ditemukan warna *Verdun Green*, yaitu hijau gelap yang sedikit kekuningan. Di lokasi lain, seperti Jl. Basuki Rahmat, warna dominan daun adalah *Deep Fir*, yaitu hijau sangat pekat agak kehitaman. Variasi visual warna ini mencerminkan adanya perbedaan kondisi fisiologis daun yang kemungkinan besar dipengaruhi oleh lingkungan sekitarnya, seperti intensitas cahaya dan tingkat polusi udara lingkungan sekitarnya.

Perubahan warna daun sering digunakan sebagai indikator visual terhadap kondisi fisiologis tanaman (Moustakas *et al.*, 2022). Warna hijau cerah umumnya mencerminkan kandungan klorofil yang tinggi dan kondisi fotosintetik yang baik, sedangkan perubahan menuju warna hijau gelap pekat atau cenderung kekuningan dapat mengindikasikan stres fisiologis, termasuk akibat akumulasi logam berat (Samiei *et al.*, 2020). Pada penelitian ini, daun dari Jl. Basuki Rahmat yang berwarna *Deep Fir* dan pekat berpotensi mengalami stres akibat tingginya paparan polusi udara dan kandungan timbal, sebagaimana juga tercermin dari tingginya konsentrasi Pb yang terdeteksi di lokasi tersebut.

Warna daun yang lebih gelap atau mengalami perubahan ke arah kuning kehijauan dapat berkaitan dengan gangguan fungsi kloroplas akibat akumulasi logam berat (Cunha *et al.*, 2020). Timbal diketahui dapat menghambat sintesis klorofil dan merusak struktur sel mesofil, sehingga menyebabkan perubahan warna daun secara visual (Khan *et al.*, 2016). Daun dari Jl. Melati dan Jl. Basuki Rahmat, menunjukkan warna yang lebih gelap dan dalam beberapa kasus cenderung tidak seragam. Dengan demikian, warna daun dapat dijadikan sebagai indikator visual awal dalam mendeteksi tingkat stres fisiologis tanaman akibat polusi udara dan akumulasi logam berat. Meskipun pengamatan warna daun bersifat kualitatif, hasil ini memberikan dukungan terhadap data kuantitatif kandungan Pb yang telah diperoleh sebelumnya.

4.3.3 Warna Batang Glodokan Tiang (*Polyalthia longifolia*)

Warna batang merupakan parameter yang penting dalam menilai kondisi fisiologis tanaman karena dapat mencerminkan kesehatan jaringan serta respon terhadap faktor lingkungan. Perubahan warna batang, seperti menggelap, memucat, atau munculnya bercak, sering menjadi indikator awal adanya stres lingkungan, termasuk akibat paparan partikel logam berat seperti timbal. Timbal dapat terakumulasi dalam jaringan batang, menyebabkan kerusakan sel dan mengganggu fungsi metabolisme, termasuk transportasi air dan nutrisi. Hal ini berdampak pada efisiensi fisiologis tanaman secara keseluruhan, termasuk pertumbuhan dan fotosintesis (Manalu, dkk. 2025). Oleh karena itu, pengamatan visual terhadap warna batang dapat menjadi metode non-destruktif dan cepat untuk mendeteksi dampak pencemaran logam berat pada tanaman di lingkungan perkotaan. Hasil Pengamatan warna batang Glodokan Tiang ditunjukkan pada gambar 4.3 dan tabel 4.5 sebagai berikut:



Gambar 4. 3 Batang Glodokan Tiang di Beberapa Ruas Jalan
(A: Jl. Sunan Kalijaga Dalam; B: Jl. Melati; C: Jl. Basuki Rahmat).

Tabel 4.5 Warna Batang Glodokan Tiang di Beberapa Ruas Jalan Kota Malang

Lokasi	Warna	HEX	Keterangan Visual
Jl. Sunan Kalijaga Dalam	<i>Silk</i>	BBADA8	Abu muda, bersih dan cerah
Jl. Melati	<i>Grey 50%</i>	8E8885	Abu gelap, sedikit kusam
Jl. Basuki Rahmat	<i>Makara</i>	655E51	Abu gelap kecoklatan, kusam

Hasil pengamatan terhadap warna batang Glodokan Tiang menunjukkan adanya variasi warna berdasarkan lokasi pengambilan sampel. Di Jl. Sunan Kalijaga Dalam, batang memiliki warna *Silk*, sedangkan di Jl. Melati warna batang berubah menjadi *Grey 50%*, dan terakhir pada Jl. Basuki Rahmat warna batang menjadi *Makara*. Variasi warna ini mencerminkan respons tanaman terhadap perbedaan tingkat pencemaran lingkungan, khususnya paparan logam berat di kawasan dengan kepadatan kendaraan yang berbeda.

Perubahan warna batang dapat digunakan sebagai indikator visual terhadap kondisi fisiologis tanaman (Cai *et al.*, 2016). Warna batang yang lebih cerah, seperti abu-abu muda atau keperakan, umumnya mencerminkan jaringan yang sehat dan minim stres lingkungan. Sebaliknya, perubahan warna menuju abu-abu gelap hingga coklat keabu-abuan dapat mengindikasikan adanya stres fisiologis, termasuk akibat akumulasi logam berat (Khait *et al.*, 2023). Pada penelitian ini, warna batang Glodokan Tiang dari Jl. Basuki Rahmat yang memiliki warna *Makara* menunjukkan potensi akumulasi timbal yang tinggi, sejalan dengan tingginya

tingkat polusi udara di lokasi tersebut. Sebagai perbandingan, batang dari Jl. Sunan Kalijaga Dalam yang berwarna lebih terang, yaitu *Silk*, kemungkinan mencerminkan tingkat akumulasi timbal yang lebih rendah dan kondisi fisiologis yang lebih stabil.

Warna batang yang cenderung lebih gelap atau mengalami perubahan ke arah abu-abu kecokelatan dapat berkaitan dengan gangguan fisiologis tanaman akibat akumulasi logam berat. Timbal diketahui dapat merusak struktur jaringan dan menginduksi stres oksidatif (Handayanto, dkk. 2017) yang pada akhirnya memengaruhi warna jaringan batang secara visual. Batang Glodokan Tiang dari Jl. Melati dan Jl. Basuki Rahmat menunjukkan warna yang lebih gelap, masing-masing *Grey* 50% dan *Makara*, dibandingkan dengan batang dari Jl. Sunan Kalijaga Dalam yang berwarna lebih terang *Silk*. Perubahan visual ini mengindikasikan adanya perbedaan tingkat akumulasi timbal di antara lokasi, dengan dugaan bahwa lokasi dengan warna batang lebih gelap mengalami tingkat pencemaran yang lebih tinggi. Menurut Rajfur (2019), pohon yang tumbuh di wilayah tercemar cenderung memiliki warna batang yang lebih gelap dibandingkan dengan pohon yang berada di lingkungan bebas polusi, sehingga warna batang dapat berfungsi sebagai indikator pencemaran udara dari atmosfer.

4.4 Nilai Laju Fotosintesis Glodokan Tiang di Ruas Jalan Kota Malang

Hasil dari pengukuran laju fotosintesis dari tumbuhan Glodokan Tiang pada tiga ruas jalan yang berbeda di Kota Malang, yaitu Jl. Sunan Kalijaga Dalam, Jl. Melati dan Jl. Basuki Rahmat memiliki hasil yang berbeda antar wilayah. Hasil selengkapnya dari pengukuran laju fotosintesis Glodokan Tiang terdapat pada lampiran. Rata-rata laju fotosintesis dapat dilihat pada Tabel 4.6 sebagai berikut:

Tabel 4. 6 Hasil Nilai Laju Fotosintesis Glodokan Tiang

Lokasi	Rata-Rata Laju Fotosintesis
Jl. Sunan Kalijaga Dalam	3.25
Jl. Melati	8.34
Jl. Basuki Rahmat	11.02

Hasil dari pengukuran nilai laju fotosintesis berdasarkan Tabel 4.5 dari ketiga ruas jalan bahwa wilayah dengan laju fotosintesis tertinggi berada pada Jl. Basuki Rahmat dengan nilai 11,02 disusul oleh Jl. Melati sebesar 8,34 dan laju fotosintesis terendah berada pada Jl. Sunan Kalijaga Dalam dengan nilai 3,25. Rata-rata nilai laju fotosintesis Jl. Basuki Rahmat secara umum lebih tinggi dibandingkan wilayah lainnya. Hal ini disebabkan karena pada wilayah tersebut memiliki intensitas cahaya yang paling baik diantara ketiganya meskipun dalam lokasi dengan kepadatan kendaraan yang tinggi.

Perbedaan nilai laju fotosintesis daun *Glodokan Tiang* antar ruas jalan di Kota Malang diduga dipengaruhi oleh beberapa faktor lingkungan, salah satunya adalah intensitas cahaya matahari. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa laju fotosintesis tertinggi ditemukan di Jl. Basuki Rahmat yang merupakan kawasan terbuka dengan pencahayaan penuh, sehingga memungkinkan daun melakukan fotosintesis secara optimal. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Saputri dkk. (2025) yang menyatakan bahwa intensitas cahaya merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi kecepatan fotosintesis. Cahaya yang mencukupi akan merangsang produksi klorofil dan aktivitas enzim fotosintetik, yang berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi fotosintesis.

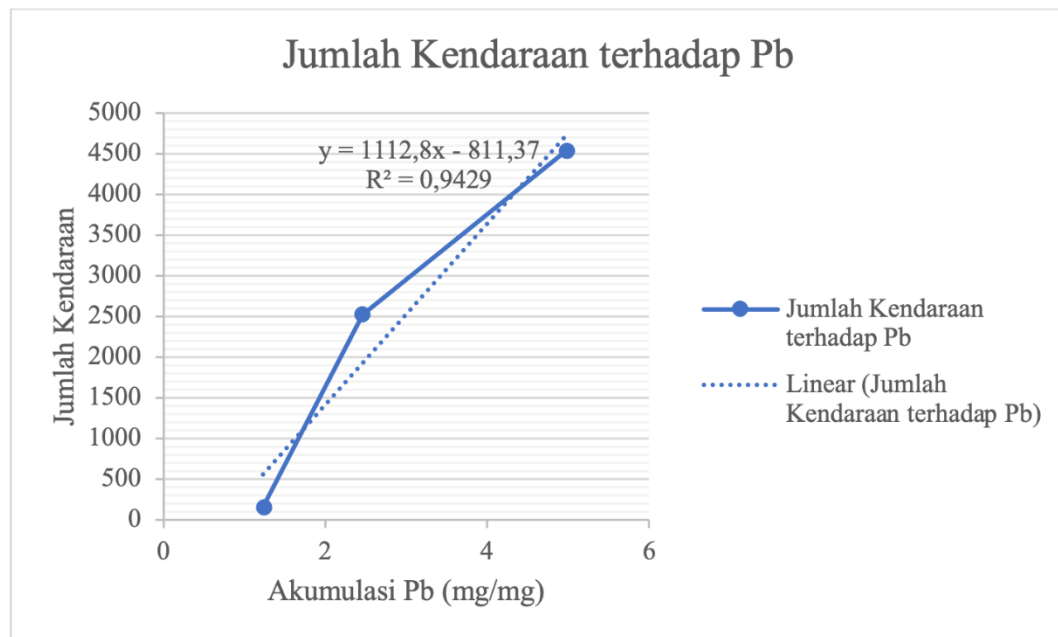
Sebaliknya, Jl. Sunan Kalijaga Dalam yang memiliki nilai fotosintesis paling rendah diketahui merupakan kawasan dengan banyak pohon rindang dan bangunan tinggi di sekitarnya, sehingga menyebabkan tanaman berada dalam kondisi teduh

dan kurang mendapatkan paparan cahaya matahari secara langsung. Kondisi ini dapat membatasi energi yang tersedia untuk proses fotosintesis. Zannah dkk. (2023) juga menegaskan bahwa rendahnya intensitas cahaya akan menghambat penyerapan karbon dioksida dan mengurangi aktivitas fotosintetik secara keseluruhan. Oleh karena itu, selain kandungan logam berat, ketersediaan cahaya matahari juga menjadi faktor penentu penting dalam menginterpretasikan laju fotosintesis pada *Polyalthia longifolia* di kawasan perkotaan.

4.5 Korelasi Antara Akumulasi Pb dan Jumlah Kendaraan serta Laju Fotosintesis

4.5.1 Korelasi Jumlah Kendaraan terhadap Kandungan Timbal (Pb) dalam daun Glodokan Tiang

Berdasarkan uji korelasi dengan menggunakan *excel*, diketahui nilai koefisien dari jumlah kendaraan dengan kandungan timbal (Pb) sebesar 0.9429 dimana artinya ada hubungan yang sangat kuat dan positif antara keduanya. Berikut adalah kurva korelasi dari jumlah kendaraan dengan kandungan timbal (Pb) dalam daun Glodokan tiang:



Gambar 4. 4 Kurva Korelasi antara Jumlah Kendaraan dengan Kandungan Pb dalam Daun Glodokan Tiang

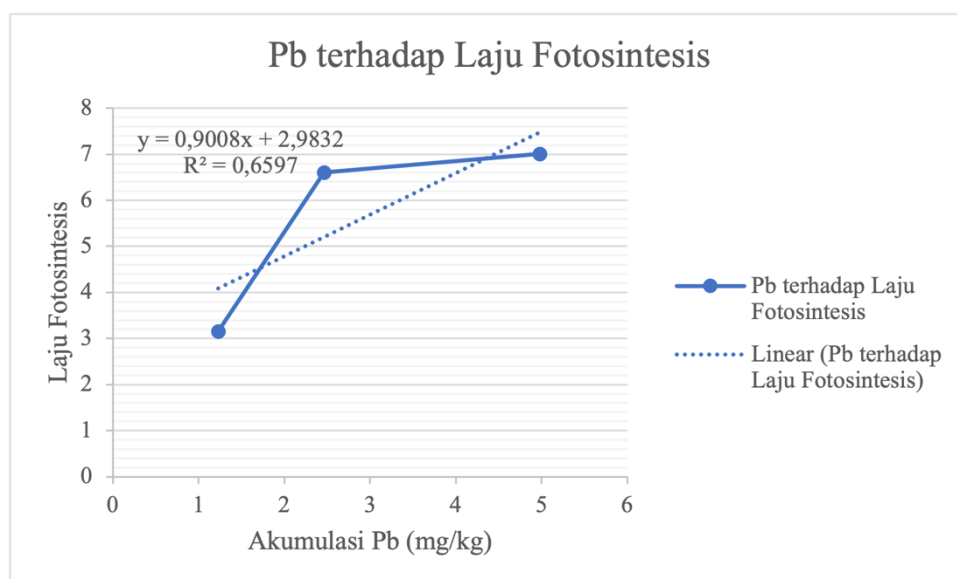
Kurva korelasi antara jumlah kendaraan dengan akumulasi Pb (timbangan) menunjukkan hubungan yang sangat kuat dan positif, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9429. Hal ini berarti sekitar 94,29% variasi dalam akumulasi Pb dapat dijelaskan oleh jumlah kendaraan yang melintasi suatu lokasi. Persamaan regresi yang diperoleh adalah: $y = 1112,8x - 811,37$, di mana y merupakan jumlah kendaraan dan x adalah akumulasi Pb (Mg/Kg). Dari persamaan ini dapat diinterpretasikan bahwa setiap peningkatan 1 Mg/Kg akumulasi Pb berkorelasi dengan peningkatan sekitar 1112 kendaraan. Nilai intercept yang negatif (-811,37) menunjukkan bahwa pada saat akumulasi Pb mendekati nol, jumlah kendaraan cenderung sangat rendah, mendukung asumsi bahwa lalu lintas merupakan sumber utama pencemaran Pb di lokasi tersebut.

Pola ini menunjukkan bahwa aktivitas kendaraan bermotor menjadi kontributor utama terhadap pencemaran logam berat, khususnya timbal, di lingkungan perkotaan. Timbal yang berasal dari sisa pembakaran bahan bakar

kendaraan, meskipun bahan bakar bertimbal telah dilarang, masih dapat ditemukan dari emisi residu dan proses pelapukan logam kendaraan. Hal ini sesuai menurut pernyataan Aini, dkk (2017) bahwa semakin banyaknya jumlah kendaraan bermotor yang melewati suatu lokasi maka semakin besar dan tinggi pula penyerapan tanaman terhadap timbal (Pb).

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

Berdasarkan uji korelasi dengan menggunakan *excel*, diketahui nilai koefisien dari kandungan timbal (Pb) laju fotosintesis (Pb) sebesar 0.6597 dimana artinya ada hubungan yang positif antara keduanya. Berikut adalah kurva korelasi dari kandungan timbal (Pb) laju fotosintesis dalam daun Glodokan tiang:



Gambar 4. 5 Kurva Korelasi antara Kandungan Pb dengan Laju Fotosintesis Daun Glodokan Tiang

Kurva korelasi antara akumulasi Pb (Mg/Kg) dengan laju fotosintesis menunjukkan hubungan yang positif dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,6597. Hal ini mengindikasikan bahwa sekitar 65,97% variasi pada laju fotosintesis dapat dijelaskan oleh akumulasi Pb dalam jaringan tanaman. Persamaan

regresi yang diperoleh adalah: $y = 0,9008x + 2,9832$, di mana y merupakan laju fotosintesis dan x adalah akumulasi Pb. Dari persamaan tersebut, nilai koefisien regresi sebesar 0,9008 menunjukkan bahwa setiap kenaikan 1 Mg/Kg akumulasi Pb diasosiasikan dengan peningkatan laju fotosintesis sebesar $\pm 0,9$ satuan. Sementara itu, nilai intercept sebesar 2,9832 mengindikasikan bahwa saat tidak terdapat akumulasi Pb ($x = 0$), maka laju fotosintesis diperkirakan berada pada angka mendekati 3 satuan. Nilai ini mencerminkan estimasi kapasitas fotosintesis dasar tanaman Glodokan Tiang pada kondisi lingkungan tanpa kontaminasi timbal.

Namun, penting untuk dicatat bahwa meskipun kurva menunjukkan hasil positif, secara fisiologis peningkatan fotosintesis seiring naiknya akumulasi Pb tidak selalu mencerminkan kondisi yang menguntungkan. Beberapa penelitian menyebutkan bahwa dalam fase awal stres, tanaman dapat menunjukkan peningkatan sementara dalam aktivitas fotosintesis sebagai respons kompensasi (Dong *et al.*, 2019). Akan tetapi, jika akumulasi Pb terus meningkat dan melebihi ambang toleransi fisiologis, maka logam berat tersebut dapat merusak struktur kloroplas, menghambat enzim-enzim penting seperti Rubisco, dan menurunkan efisiensi fotosintesis secara drastis (Handayanto, dkk. 2017).

Secara teoritis, akumulasi logam berat seperti timbal (Pb) di dalam jaringan tanaman cenderung bersifat toksik dan dapat menghambat proses fotosintesis. Pb diketahui merusak struktur kloroplas, menghambat biosintesis klorofil, mengganggu keseimbangan ionik, serta meningkatkan produksi spesies oksigen reaktif yang menyebabkan stres oksidatif dan kerusakan sel (Cunha *et al.*, 2020). Oleh karena itu, dalam banyak penelitian, peningkatan kandungan Pb umumnya diikuti oleh penurunan laju fotosintesis. Namun, pada hasil penelitian ini, kurva

korelasi justru menunjukkan bahwa laju fotosintesis cenderung meningkat seiring dengan akumulasi Pb, dengan koefisien determinasi R^2 sebesar 0,6597.

Selain itu, meskipun nilai R^2 menunjukkan korelasi positif yang cukup tinggi, hal ini tidak serta-merta mengindikasikan hubungan kausalitas yang kuat antara akumulasi Pb dan peningkatan fotosintesis. Korelasi tersebut bisa jadi dipengaruhi oleh faktor lingkungan lain yang tidak terkontrol sepenuhnya dalam penelitian lapangan, seperti intensitas cahaya matahari, suhu udara, kelembaban, ketersediaan air, dan kondisi tanah di masing-masing lokasi. Pada ketiga lokasi pengambilan sampel ini, ada beberapa pohon yang memang berada di tempat teduh seperti pada Jl. Sunan Kalijaga Dalam yang berada pada kawasan perumahan rapat dengan bangunan-bangunan tinggi yang mungkin membatasi cahaya matahari mengenai langsung pohon Glodokan Tiang. Wang *et al.* (2024) menunjukkan bahwa daerah yang terlindung dari cahaya atau teduh dapat menurunkan laju fotosintesis secara signifikan. Rendahnya intensitas cahaya yang diterima daun pada area tersebut berdampak negatif terhadap pertumbuhan tanaman dan hasil produksinya. Faktor-faktor ini diketahui memiliki pengaruh langsung terhadap laju fotosintesis dan bisa menyebabkan variabilitas antar lokasi yang tidak berkaitan langsung dengan kadar Pb.

Selain itu, Tingkat akumulasi Pb yang terukur dalam penelitian ini kemungkinan masih berada pada kisaran konsentrasi rendah yang belum mencapai ambang toksisitas yang secara signifikan menghambat proses fotosintesis. Bahkan, pada level tersebut, laju fotosintesis justru menunjukkan peningkatan dibandingkan kontrol. Hal ini sejalan dengan paparan Zulfiqar *et al.* (2019), yang menyatakan bahwa pengaruh Pb terhadap fotosintesis bersifat non-linear dan sangat tergantung

pada konsentrasi serta waktu paparan; pada konsentrasi rendah hingga sedang, tanaman masih mampu mempertahankan atau bahkan meningkatkan aktivitas fotosintesis melalui aktivasi mekanisme kompensasi, seperti peningkatan produksi antioksidan dan penyesuaian metabolisme karbon. Sebaliknya, penurunan signifikan dalam aktivitas fotosintesis biasanya baru terjadi pada tingkat akumulasi Pb yang lebih tinggi, yang menyebabkan kerusakan struktural pada kloroplas, penurunan biosintesis klorofil, serta hambatan dalam rantai transport elektron dan aktivitas enzim fiksasi karbon (Zulfiqar *et al.*, 2019). Selain itu, respon peningkatan fotosintesis pada level awal stres juga dilaporkan dalam literatur. Menurut Tan *et al.* (2022) pada fase awal stres akibat polutan, tanaman dapat meningkatkan laju fotosintesis sebagai respons adaptif dengan meningkatkan aktivitas enzim antioksidan dan mempercepat metabolisme karbon untuk mendukung proses perbaikan sel. Fenomena ini dikenal sebagai yang sering terlihat pada tanaman toleran stres lingkungan.

4.6 Pembahasan Hasil Penelitian dalam Perspektif Islam

Pertumbuhan sektor transportasi dan aktivitas urbanisasi di kota-kota besar seperti Malang telah menyebabkan peningkatan beban pencemaran lingkungan, khususnya oleh logam berat seperti timbal (Pb). Logam berat ini berbahaya karena bersifat toksik, persisten, dan dapat terakumulasi di berbagai kompartemen lingkungan, termasuk tanaman. Salah satu spesies yang umum digunakan sebagai tanaman peneduh sekaligus bioindikator pencemaran di wilayah perkotaan adalah Glodokan Tiang (*Polyalthia longifolia*). Tanaman ini tidak hanya mampu menyerap polutan, tetapi juga menunjukkan perubahan karakter anatomi dan fisiologis sebagai bentuk adaptasi terhadap tekanan lingkungan.

Studi tentang akumulasi timbal dan respon anatomi fisiologis Glodokan Tiang penting dilakukan untuk mengetahui sejauh mana tanaman ini mampu bertahan dan berfungsi di lingkungan tercemar. Hal ini juga merupakan bagian dari tanggung jawab manusia untuk menjaga kelestarian bumi, sebagaimana firman Allah dalam Surah Al-A'raf ayat 56 yang berbunyi sebagai berikut:

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.” (Q.S. Al-A'raf [7]:56).

Ayat ini menjadi pengingat bahwa segala bentuk aktivitas manusia, termasuk penataan kota dan pemanfaatan ruang, harus mempertimbangkan keseimbangan ekologi dan kelestarian makhluk hidup di dalamnya. Menurut tafsir Tafsir Ibnu Katsir menegaskan bahwa kerusakan (fasād) yang dilarang dalam ayat ini mencakup seluruh bentuk pelanggaran terhadap keseimbangan ekologis yang telah diciptakan oleh Allah dalam keadaan baik dan harmonis. Kerusakan ini termasuk dalam bentuk pencemaran tanah, air, dan udara akibat aktivitas manusia yang tidak bertanggung jawab, seperti pembuangan limbah industri, emisi kendaraan bermotor, dan penggunaan bahan kimia berbahaya yang menyebabkan akumulasi logam berat seperti Pb di lingkungan perkotaan. Dalam konteks ini, penelitian mengenai akumulasi timbal pada pohon glodokan tiang merupakan langkah penting untuk memahami kemampuan tumbuhan sebagai agen bioindikator dan remediasi, serta sebagai wujud nyata pelaksanaan amanah manusia sebagai khalifah di bumi (khalīfatullāh fī al-ard).

Penanaman pohon-pohon hijau di lingkungan tercemar menjadi bentuk ihsān (kebaikan), sebagaimana dimaksud dalam bagian akhir ayat: "Sesungguhnya rahmat Allah amat dekat kepada orang-orang yang berbuat baik (al-muḥsinīn)." Kebaikan dalam hal ini bukan hanya terhadap sesama manusia, tetapi juga terhadap alam sebagai makhluk ciptaan Allah. Perspektif ini diperkuat oleh tafsir Al-Maraghi yang menyatakan bahwa setelah Allah menjadikan bumi ini seimbang, manusia tidak boleh mengacaukan keseimbangan tersebut, baik melalui eksploitasi berlebihan maupun pengabaian terhadap tanggung jawab pemeliharaan lingkungan.

Islam juga mengajarkan bahwa semua yang diciptakan Allah di dunia ini memiliki manfaat khususnya tumbuhan seperti yang tercantum dalam Al-Qur'an surah Asy-Syu'ara ayat 7 yang berbunyi sebagai berikut:

أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَمْ أَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ

Artinya: *"Apakah mereka tidak memperhatikan bumi, betapa banyak Kami telah menumbuhkan di sana segala jenis (tanaman) yang tumbuh baik?." (Q.S. Asy-Syu'ara [26]:7).*

Ayat ini mengandung isyarat akan keanekaragaman hayati yang Allah ciptakan di bumi, di mana setiap jenis tumbuhan memiliki manfaat dan fungsi tertentu bagi kehidupan. Menurut Tafsir Al-Maraghi, frasa "zauj karim" merujuk pada jenis-jenis tanaman yang berguna, bernilai, serta membawa kebaikan baik secara estetika, ekonomi, maupun ekologis. Penafsiran ini diperkuat oleh Tafsir Ibnu Katsir, yang menjelaskan bahwa ayat ini merupakan seruan untuk merenungi bagaimana Allah menumbuhkan berbagai jenis tumbuhan dengan fungsi dan manfaat yang beragam sebagai bentuk nikmat dan tanda kekuasaan-Nya.

Dalam konteks ilmu lingkungan, khususnya studi tentang fitoremediasi, tumbuhan memang memiliki kemampuan menyerap, mengakumulasi, bahkan

menetralkan polutan dari lingkungan, termasuk logam berat seperti timbal (Pb). Salah satu spesies yang memiliki potensi ekologis semacam ini adalah Glodokan Tiang (*Polyalthia longifolia*), yang banyak ditanam di kawasan urban seperti Kota Malang. Tanaman ini tidak hanya berfungsi sebagai peneduh, tetapi juga mampu berperan dalam menurunkan tingkat pencemaran melalui akumulasi logam berat pada bagian jaringan tumbuhan, seperti daun dan batang. Studi terhadap karakter anatomi dan fisiologis tanaman ini penting dilakukan untuk mengetahui respon adaptif yang muncul akibat paparan logam berat, serta potensinya sebagai agen fitoremediasi alami. Dengan demikian, ayat ini dapat dijadikan landasan teologis bahwa keberadaan tumbuh-tumbuhan tidak semata untuk keindahan atau konsumsi, tetapi juga sebagai sarana pemulihan lingkungan dan penjaga keseimbangan ekosistem yang telah dianugerahkan oleh Allah kepada manusia.

Dalam upaya mitigasi pencemaran lingkungan, khususnya pencemaran udara oleh logam berat seperti timbal (Pb), tanaman memiliki peran ekologis penting sebagai agen fitoremediasi alami. Hal ini sejalan dengan ajaran Islam yang memuliakan peran manusia sebagai khalifah di bumi dalam menjaga kelestarian lingkungan. Rasulullah ﷺ bersabda sebagai berikut:

وفي رواية لا يَغْرِسُ الْمُسْلِمُ غَرْسًا فَيَأْكُلُ مِنْهُ إِنْسَانٌ وَلَا دَابَّةٌ وَلَا طَيْرٌ إِلَّا كَانَ لَهُ صَدَقَةٌ إِلَى
يَوْمِ الْقِيَامَةِ

Artinya: "Tidaklah seorang Muslim menanam suatu tanaman atau menabur benih, lalu darinya dimakan oleh burung, manusia, atau binatang, melainkan hal itu menjadi sedekah baginya." (HR. Bukhari no. 2320; Muslim no. 1553).

Hadis ini menegaskan bahwa kegiatan menanam pohon bukan hanya memberikan manfaat ekologis, tetapi juga dinilai sebagai amal kebajikan dalam pandangan Islam. Dalam konteks skripsi ini, pohon Glodokan Tiang (*Polyalthia*

longifolia) yang ditanam di sepanjang ruas jalan Kota Malang tidak hanya berperan sebagai elemen penghijauan, tetapi juga terbukti mampu mengakumulasi logam berat seperti timbal (Pb) dari lingkungan, sebagaimana ditunjukkan oleh hasil penelitian. Hal ini menjadikan penanaman pohon sebagai bentuk kontribusi nyata terhadap mitigasi pencemaran udara dan tanah.

Dari perspektif Islam, konsep sedekah tidak selalu bersifat finansial, namun dapat berupa segala bentuk kebaikan yang memberikan manfaat bagi makhluk lain. Imam an-Nawawi dalam Syarh Shahih Muslim menjelaskan bahwa sedekah dalam hadis ini mencakup manfaat ekologis yang dirasakan oleh semua makhluk hidup, bahkan jika tanaman itu dimakan tanpa izin. Artinya, nilai spiritual dari menanam tumbuhan melampaui sekadar peran fungsionalnya di alam, dan menjadi bagian dari kesalehan ekologis seorang Muslim. Lebih lanjut, penanaman vegetasi yang mampu menyerap logam berat seperti Pb secara alami mendukung prinsip al-maslahah al-‘ammah (kemaslahatan umum) dalam maqāṣid al-syarī‘ah (tujuan-tujuan hukum Islam), yang salah satunya adalah menjaga lingkungan (ḥifẓ al-bī‘ah). Maka, penggunaan Glodokan Tiang dalam menanggulangi pencemaran Pb bukan hanya relevan secara ilmiah, namun juga sejalan dengan nilai-nilai ajaran Islam dalam menjaga kelestarian bumi.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan di beberapa ruas jalan Kota Malang, dapat disimpulkan bahwa :

1. Kandungan Pb tertinggi ditemukan pada daun yang berasal dari Jl. Basuki Rahmat sebesar 4,98 mg/kg, disusul oleh Jl. Melati sebesar 2,46 mg/kg dan terendah di Jl. Sunan Kalijaga Dalam sebesar 1,23 mg/kg. Nilai tersebut masih di bawah ambang batas toksik pada tanaman.
2. Karakteristik anatomi daun Glodokan Tiang menunjukkan adanya respon adaptif terhadap pencemaran Pb, ditandai dengan peningkatan kerapatan stomata seiring tingginya kadar Pb. Kerapatan stomata tertinggi tercatat di Jl. Basuki Rahmat, lokasi dengan lalu lintas kendaraan paling padat.
3. Karakteristik morfologi daun Glodokan Tiang berupa rata-rata luas daun, warna daun, dan warna batang, juga mengalami perubahan seiring meningkatnya kadar Pb. Rata-rata luas daun tertinggi ditemukan di lokasi dengan kandungan Pb tinggi yang diakibatkan faktor lingkungan, sedangkan warna daun dan batang menjadi lebih gelap di lokasi lalu lintas dengan padat kendaraan, mengindikasikan stres fisiologis akibat paparan polutan.
4. Laju fotosintesis tertinggi ditemukan di lokasi dengan kandungan Pb tertinggi yakni di Jl. Basuki Rahmat.
5. Korelasi antara kepadatan lalu lintas dan kadar Pb dalam daun menunjukkan hubungan sangat kuat dan positif ($R^2 = 0,9429$), dimana semakin tinggi volume kendaraan maka semakin tinggi pula kadar Pb yang terakumulasi.

5.2 Saran

Adapun saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Untuk penelitian selanjutnya selain mengukur konsentrasi Pb pada daun, dapat pula mengukur konsentrasi logam berat timbal (Pb) pada bagian organ pohon lainnya guna sebagai penambah pengetahuan dan informasi.
2. Perlu dilakukan perbandingan dengan spesies pohon peneduh jalan lainnya, agar dapat diidentifikasi spesies yang memiliki kemampuan akumulasi dan/atau respons fisiologis yang lebih efektif sebagai bioindikator atau bioakumulator logam berat di lingkungan perkotaan.
3. Perlu dilakukan analisis terhadap pengaruh faktor lingkungan lain, seperti pH tanah, kelembaban udara, dan kandungan logam berat lain (selain Pb), untuk melihat interaksi berbagai faktor yang dapat memengaruhi respon anatomi dan fisiologi tanaman terhadap pencemaran logam berat.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, T. (2014). Kontaminasi Logam Berat pada Makanan dan Dampaknya pada Kesehatan. *Teknobunga*. 1(1).
- Ahmad, W., Alharthy, R. D., Zubair, M., Ahmed, M., Hameed, A., & Rafique, S. (2021). Toxic and heavy metals contamination assessment in soil and water to evaluate human health risk. *Scientific reports*, 11(1), 17006.
- 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.
- Amrillah, A. M., Salamah, L. N. M., Amin, A. A., Rangkuti, R. F. A., Mahariawan, I. M. D., Adhihapsari, W., ... & Setyoningrum, D. (2023). *Biomonitoring Lingkungan Akuatik*. Universitas Brawijaya Press.
- Ardiana, F., Agustina, E., Hadi, M. I., Rahayu, F. R., & Hidayati, I. (2022). Kemampuan tumbuhan jeruju (*Acanthus ilicifolius*) Dalam mengadsorpsi las (linear alkylbenzene sulfonate) dalam zat pencemar yang mengandung logam berat. *Jurnal Kimia (Journal of Chemistry)*.16(2). 244-249.
- Ardyanto, R. D., Santoso, S., & Samiyarsih, S. (2014). Kemampuan tanaman Glodogan *Polyalthia longifolia* Sonn. sebagai peneduh jalan dalam mengakumulasi Pb udara berdasarkan respon anatomis daun di Purwokerto. *Jurnal Scripta Biologica*, 1(1), 15-19.
- Based, J.R.C., Denney, G., Jefferey, J., & Mendum. (1994). *Buku Ajar Vogel Kimia Analisa Kuantitatif Anorganik*. Jakarta: EGC.
- Cai, J., Okamoto, M., Atieno, J., Sutton, T., Li, Y., & Miklavcic, S. J. (2016). Quantifying the onset and progression of plant senescence by color image analysis for high throughput applications. *PLoS One*, 11(6), e0157102.
- 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.
- Collin, S., Baskar, A., Geevarghese, D. M., Ali, M. N. V. S., Bahubali, P., Choudhary, R., ... & Swamiappan, S. (2022). Bioaccumulation of lead (Pb) and its effects in plants: A review. *Journal of Hazardous Materials Letters*, 3:100064.
- Cronquist, A. (1981). *An Integrated System of Classification of Flowering Plants*. New York: Columbia University Press.
- 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. *Cerne*, 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.
- Daloso, D. M., Medeiros, D. B., Dos Anjos, L., Yoshida, T., Araújo, W. L., & Fernie, A. R. (2017). Metabolism within the specialized guard cells of plants. *New Phytologist*, 216(4), 1018-1033.

- Deswanti, P., Fakhurrozi, Y., & Rahayu, S. (2017). Karakterisasi Morfologi Daun dan Bunga Beberapa Varietas *Hoya Coronaria* Dari Kawasan Hutan Kerangas Air Anyir, Bangka. *EKOTONIA: Jurnal Penelitian Biologi, Botani, Zoologi dan Mikrobiologi*, 2(1), 1-9.
- Dewi, S. P., Alsakinah, R., Sara, S. A., & Amrina, D. H. (2022). Pajak lingkungan sebagai upaya pengendalian pencemaran udara dari gas buang kendaraan bermotor di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Ekonomi Dan Pajak*, 2(1), 7-13.
- Dong, S., Jiang, Y., Dong, Y., Wang, L., Wang, W., Ma, Z., ... & Liu, L. (2019). A study on soybean responses to drought stress and rehydration. *Saudi journal of biological sciences*, 26(8), 2006-2017.
- 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.
- Fathia, L. A. N., Baskara, M., Sitawati. (2015). Analisis Kemampuan Tanaman Semak Di Median Jalan Dalam Menyerap Logam Berat Pb. *Jurnal Produksi Tanaman*, 3(7):528-534.
- Fathoni, A., Rohman, F., & Sulisetijono, S. (2021). Karakter Komunitas Pohon Area Sekitar Sumber Mata Air Di Malang Raya, Jawa Timur. *Biotropika: Journal of Tropical Biology*, 9(1), 69-79.
- Fauzi, R., Hidayat, M. Y., Hindratmo, B., Masitoh, S., Witama, R. O., & Harianja, A. H. (2021). Mitigasi dampak pencemaran timbel di sekitar peleburan aki bekas. *Indonesian Journal of Industrial Research*, 11(1), 39-47.
- Fauziah, A. A., Prahasti, N., Setiari, N., & Saptiningsih, E. (2020). Naungan dan Tipe Substrat Berbeda pada Periode Aklimatisasi Ex-vitro Phalaenopsis Hibrid. *Buletin Anatomi dan Fisiologi*, 5(1), 60-66.
- Febrianti, N., Ilham, M., Hazzah, N. A., Andriana, A., Erwing, E., Irfandi, R., ... & Ruslang, R. (2023). Fitoremediasi Tanaman Jarak Pagar (*Jatropha curcas*) pada Tanah Tercemar Logam Berat Timbal (Pb) dari Limbah Batubara. *BIOEDUSAINS: Jurnal Pendidikan Biologi dan Sains*, 6(1), 300-305.
- Ferdhiani, A. A., Lestari, S., & Proklamasiningsih, E. (2019). Aktivitas enzim peroksidase dan kadar klorofil pada daun Angsana (*Pterocarpus indicus*) sebagai peneduh jalan yang terpapar timbal. *Majalah Ilmiah Biologi BIOSFERA: A Scientific Journal* 32 (2), 126-133.
- Ghasemidehkordi, B., Malekirad, A. A., Nazem, H., Fazilati, M., Salavati, H., Shariatifar, N., & Mousavi Khaneghah, A. (2018). Concentration of lead and mercury in collected vegetables and herbs from Markazi province, Iran: A non-carcinogenic risk assessment. *Food and Chemical Toxicology*. 113, 204–210.
- Ghassani, K. N., & Titah, H. S. (2022). Kajian fitoremediasi untuk rehabilitasi lahan pertanian akibat tercemar limbah industri pertambangan emas. *Jurnal Teknik ITS*, 11(1), F8-F14.
- Ginting, C. (2019). *Nutrisi Tanaman*. Instiper 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).

- Handayani, C. O., Sukarjo, S., Zu'amah, H., & Dewi, T. (2024). Penilaian Status dan Risiko Ekologi Cemarkan Logam Berat di Lahan Pertanian Kota Malang, Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(1), 60-68.
- Handayanto, E., Nuraini, Y., Muddarisna, N., Syam, N., & Fiqri, A. (2017). *Fitoremediasi dan phytomining logam berat pencemar tanah*. Universitas Brawijaya Press.
- 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.
- Hu, Y., You, M., Liu, G., & Dong, Z. (2021). Characteristics and potential ecological risks of heavy metal pollution in surface soil around coal-fired power plant. *Environmental Earth Sciences*, 80(17).
- India Biodiversity Portal. *Polyalthia longifolia* (Sonn.) Thwaites. <https://indiabiodiversity.org/species/show/230781>.
- Irawan, F., Arifin, Z., Rudihartati, L., & Arman, F. (2023). Analisis Penyimpanan Dan Pengumpulan Limbah Minyak Pelumas Bekas Sebagai Limbah Bahan Berbahaya Dan Beracun (B3) Di Pt Natura Perisa Aroma Lampung. *Journal of Management and Industrial Engineering (JMIE)*, 2(2), 1-13.
- Irianti, dkk. (2017). *Logam Berat dan Kesehatan*. Grafika Indah. Yogyakarta.
- Irma, W., & Susanti, N. (2014). Pengaruh Pemberian Timbal (Pb) Terhadap Morfologi dan Kadar Terserapnya Timbal (Pb) Pada Daun Bayam (*Amaranthus tricolor* L.) Dalam Skala Laboratorium. *Photon: Journal of Natural Sciences and Technology*, 5(1), 7-12.
- Khait, I., Lewin-Epstein, O., Sharon, R., Saban, K., Goldstein, R., Anikster, Y., ... & Hadany, L. (2023). Sounds emitted by plants under stress are airborne and informative. *Cell*, 186(7), 1328-1336.
- Khan, M., Daud, M. K., Basharat, A., Khan, M. J., Azizullah, A., Muhammad, N., ... & Zhu, S. J. (2016). Alleviation of lead-induced physiological, metabolic, and ultramorphological changes in leaves of upland cotton through glutathione. *Environmental Science and Pollution Research*, 23, 8431-8440.
- Khasanah, R. A. N., & Na'ima, M. (2022). Inventory of species and analysis of stomata characteristics of shade trees at UIN Walisongo Semarang. *Edubiotik: Jurnal Pendidikan, Biologi dan Terapan*, 7(01), 63-78.
- Kumar, M., Gogoi, A., Kumari, D., Borah, R., Das, P., Mazumder, P., & Tyagi, V. K. (2017). Review of perspective, problems, challenges, and future scenario of metal contamination in the urban environment. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*, 21(4), 04017007.
- Kumar, S., Prasad, S., Yadav, K. K., Shrivastava, M., Gupta, N., Nagar, S., ... & Malav, L. C. (2019). Hazardous heavy metals contamination of vegetables and food chain: Role of sustainable remediation approaches-A review. *Environmental research*, 179, 108792.
- Lakitan, B. (2011). *Dasar-Dasar Fisiologi Tumbuhan*. Jakarta: Rajagrafindo Persada.
- Li, F., Liu, X., Zhang, X., Zhao, D., Liu, H., Zhou, C., & Wang, R. (2017). Urban ecological infrastructure: an integrated network for ecosystem services and sustainable urban systems. *Journal of Cleaner Production*, 163, S12-S18.

- Liu, Q., & Li, Y. (2022). Nutrient and non-nutrient factors associated with the arsenic uptake and buildup in rice: a review. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(4), 4798-4815.
- Mamine, N., Grara, N., Khaldi, F., Maresca, V., Aouaichia, K., & Basile, A. (2024). Determination of the toxic effects of heavy metals on the morpho-anatomical responses of the leaf of *Typha latifolia* as a biomonitoring tool. *Plants*, 13(2), 176.
- Manalu, C. C., Aritonang, C., Sihotang, F., Saragih, J., Sari, M. N., & Febriyossa, A. (2025). Efektivitas Tanaman Bambu Air (*Equisetum Hymale*) Terhadap Logam Berat Timbal (Pb) Pada Air Lindi (Leachate). *Biopendix*, 11(2), 155-160.
- Manikasari, G. K. & Mahayani, N. P. D. (2018). Peran Hutan Mangrove sebagai Biofilter dalam Pengendalian Polutan Pb dan Cu di Hutan Mangrove Sungai Donan, Cilacap, Jawa Tengah. *Jurnal Nasional Teknologi Terapan*. 2(2): 105-117.
- 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).
- Mariwy, A., Dulanlebit, Y. H., & Yulianti, F. (2020). Studi Akumulasi Logam Berat Merkuri Menggunakan Tanaman Awar-Awar (*Ficus Septica* Burm F). *Indonesian Journal of Chemical Research*, 7(2), 159-169.
- Maulana, R., Riska, A. S., & Kusuma, H. E. (2021). Fungsi Hutan Kota: Korespondensi Motivasi Berkunjung dan Kegiatan. *Jurnal Lanskap Indonesia*, 13(2), 54-60.
- Mirawati, B., & Sedijani, P. (2016). Efektifitas Beberapa Tanaman Hias Dalam Menyerap Timbal (Pb) di udara. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 2(1).
- Mishra, R. K., Mohammad, N., & Roychoudhury, N. (2016). Soil pollution: Causes, effects and control. *Van Sangyan*, 3(1), 1-14.
- Moustakas, M., Sperdouli, I., & Moustaka, J. (2022). Early drought stress warning in plants: Color pictures of photosystem II photochemistry. *Climate*, 10(11), 179.
- Mudaningrat, A., Indriani, B. S., Istianah, N., Retnoningsih, A., & Rahayu, E. S. (2023). Literature Review: Pemanfaatan Jenis-Jenis *Syzygium* di Indonesia. *Jurnal Biologi dan Pembelajarannya (JB&P)*, 10(2), 135-156.
- Muthi'ah, S. N. (2022). Identifikasi dan Karakterisasi Tipe Stomata pada *Hibiscus rosa-sinensis*, *Tamarindus indica*, dan *Mangifera indica* dengan Teknik Replika. *Indigenous Biologi: Jurnal Pendidikan dan Sains Biologi*, 5(1), 9-14.
- Mutmainnah, F. (2015). Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) Dengan Menggunakan *Hydrilla verticillata* dan *Najas indica*. *Dampak*. 12(2). 90-103.
- 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.
- Nasution, M. A., Susanty, R. R., Limbong, F., Harahap, F., Silitonga, M., & Edi, S. (2025). Pengaruh Cahaya dan NaHCO_3 terhadap Laju Reaksi Fotosintesis pada *Hydrilla verticillata*. *JURNAL BIOSHELL*, 14(1), 17-24.
- National Parks Singapore. 2023. *Syzygium aqueum* (Burm. f.) Alston. <https://www.nparks.gov.sg/florafaunaweb/flora/3/1/3153>.

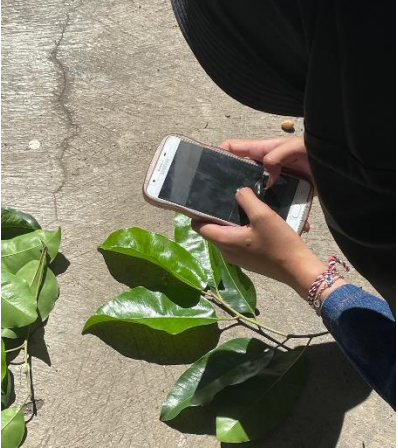
- Novitasari, A. (2022). *Cekaman Air Dan Kehidupan Tanaman*. Universitas Brawijaya Press.
- Nugrahani, P. (2023). Air Pollution Tolerance Index Tanaman Lanskap sebagai Bioindikator Pencemaran Udara di Perkotaan.
- Palar, H. (2012). *Pencemaran dan Toksikologi Logam Berat*. Cetakan Kelima. Jakarta: Rineka Cipta.
- Patty, J. O., Siahaan, R., & Maabuat, P. V. (2018). Kehadiran Logam-Logam Berat (Pb, Cd, Cu, Zn) Pada Air dan Sedimen Sungai Lowatag, Minahasa Tenggara-Sulawesi Utara (The Occurrence of Heavy Metals (Pb, Cd, Cu, Zn) on Water and Sediment in the River Lowatag, Southeast Minahasa-North Sulawesi). *Jurnal Bios Logos*, 8(1).
- Poorter, H., Niinemets, Ü., Ntagkas, N., Siebenkäs, A., Mäenpää, M., Matsubara, S., & Pons, T. (2019). A meta-analysis of plant responses to light intensity for 70 traits ranging from molecules to whole plant performance. *New Phytologist*, 223(3), 1073-1105.
- Purnobasuki, H. (2025). *MENGENAL SEL DAN JARINGAN TUMBUHAN-Informasi Dasar dalam Praktik Pengamatan Struktur Anatomi Tumbuhan*. Airlangga University Press.
- Purwoko, D., & Prastiwi, D. E. (2019). Pengaruh Lokasi Dan Waktu Pengukuran Sumber Bergerak (Kendaraan) Dengan Kandungan Timbal (Pb) Pada Udara Underpass Di Simpang Lima Mandai Kota Makassar. *Sulolipu: Media Komunikasi Sivitas Akademika dan Masyarakat*, 17(2), 39-47.
- Putra, G. D. S., & Khambali, K. (2024). Pengaruh Modifikasi Permukaan Piston terhadap Emisi Gas Buang Motor Bakar Kapasitas 100 cc. *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro dan Informatika*, 3(3), 72-81.
- Rachma, N. A., Rachmadiarti, F., & Kuntjoro, S. (2014). Kemampuan Adaptasi Tumbuhan Tapak Dara Air (*Jussiaea repens*) terhadap Logam Berat Kadmium (Cd). *Lentera Bio*, 3(1), 13-19.
- Rahardjanto, A. (2019). *BIOINDIKATOR (Teori Dan Aplikasi Dalam Biomonitoring)* (Vol. 1). UMMPress.
- 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.
- 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.
- 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).
- Rudall, P. J. (2020). *Anatomy of flowering plants: an introduction to plant structure and development*. Cambridge university press.
- Ruslinda, Y., Gunawan, H., Goembira, F., & Wulandari, S. (2016). Pengaruh jumlah kendaraan berbahan bakar bensin terhadap konsentrasi timbal (Pb) di udara ambien jalan raya kota Padang. In *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Lingkungan*, Vol. 2541, p. 3880.

- Saeni, M. S. (2002). *Kimia Logam Berat*. Program Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Samiei, L., Pahnehkolayi, M. D., Karimian, Z., & Nabati, J. (2020). Morpho-physiological responses of halophyte *Climacoptera crassa* to salinity and heavy metal stresses in in vitro condition. *South African Journal of Botany*, 131, 468-474.
- 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.
- Septya, L., & Pauzi, R. Y. (2024). Potensi dan Ancaman Kesehatan Masyarakat Kalimantan dari Bioakumulasi Logam Berat pada Ikan Sungai. Review. *Journal of Biotropical Research and Nature Technology*, 2(2), 93-102.
- Silvia, A., & Karyati, M. S. (2021). Kandungan Logam Berat Pada Daun-Daun Pohon Peneduh Di Sepanjang Jalan Gajah Mada Kota Samarinda. *Relaksasi Pengelolaan Hutan Indonesia Pasca Undang-Undang Cipta Kerja*, 29, 30.
- Silviana, L., & Rachmadiarti, F. (2023). Fitoremediasi Fosfat dari Detergen Sintetis dengan Menggunakan *Lemna minor* dan *Azolla microphylla*. *LenteraBio: Berkala Ilmiah Biologi*, 12(3), 281-289.
- Siregar, S. R., Irwan, S. N. R., & Putra, E. T. S. (2020). Kandungan Logam Berat Timbal (Pb) dan Pengaruhnya Pada Angsana (*Pterocarpus indicus*), Tanjung (*Mimusops elengi*), dan Asam Jawa (*Tamarindus indica*) di Jalan Lingkar Alun-Alun Yogyakarta. *Vegetalika*, 9(1):316-329.
- Soheili, F., Woodward, S., Abdul-Hamid, H., & Naji, H. R. (2023). The effect of dust deposition on the morphology and physiology of tree foliage. *Water, Air, & Soil Pollution*, 234(6), 339.
- Sukarya, dkk. (2019). *Mengenal Tumbuhan Di Sekitar Kita*. Penerbit Sukarya.
- Syaifullah, M., Candra, Y. A., Soegianto, A., & Irawan, B. (2018). Kandungan logam non esensial (Pb, Cd dan Hg) dan logam esensial (Cu, Cr dan Zn) pada sedimen di perairan Tuban Gresik dan Sampang Jawa Timur. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 11(1), 69-74.
- Tan, Z., Wu, C., Xuan, Z., Cheng, Y., Xiong, R., Su, Z., & Wang, D. (2022). Lead exposure dose-dependently affects oxidative stress, AsA-GSH, photosynthesis, and mineral content in pakchoi (*Brassica chinensis* L.). *Frontiers in plant science*, 13, 1007276.
- Tangahu, B. V., Sheikh Abdullah, S. R., Basri, H., Idris, M., Anuar, N., & Mukhlisin, M. (2011). A Review on Heavy Metals (As, Pb, and Hg) Uptake by Plants through Phytoremediation. *International Journal of Chemical Engineering*. 1–31.
- Triantoro, D. D., Suprpto, D., & Rudiyantri, S. (2018). Kadar logam berat besi (Fe), seng (Zn) pada sedimen dan jaringan lunak kerang hijau (*Perna viridis*) di perairan Tambak Lorok Semarang. *Management of Aquatic Resources Journal (MAQUARES)*, 6(3), 173-180.
- 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.

- 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.
- Wicaksono, R. R., KM, S., KKK, M., Putri, M. S. A., ST, S., Sulistiono, E., ... & ST, S. (2023). *Manajemen kesehatan lingkungan*. Cendikia Mulia Mandiri.
- Yan, X., Li, P., Wu, X., Wang, J., Wang, Z., Xu, J., ... & Du, E. (2025). Variations In The Leaf Economics Spectrum, Anatomical, Ultrastructural, And Stomatal Traits Of Five Tree Species In The Urban-Rural Air Pollution Environment. *Journal of Environmental Sciences*, 155, 177-192.
- Zannah, H., Zahroh, S., Evie, Sudarti, & Trapsilo P. 2023. Peran Cahaya Matahari dalam Proses Fotosintesis Tumbuhan. *Cermin: Jurnal Penelitian*, 7(1): 204-214.
- 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. Dokumentasi Penelitian

	
Pengambilan Sampel Daun	Penyimpanan Sampel ke Dalam Plastik
	
Pengukuran Laju Fotosintesis	Hasil Pengukuran Laju Fotosintesis
	
Pengamatan Stomata	Pengamatan Warna Daun Menggunakan <i>Color Grab</i>

Lampiran 2. Tabel Pengukuran Laju Fotosintesis

G1A1					G1A2					G1A3				
1,4	0,3	0,2	0,3	0,5	4,7	13,5	9,1	2,1	7,3	1,6	1,6	2,9	1,9	2
G1B1					G1B2					G1B3				
5,8	9,6	5,7	1,8	5,7	0,9	1,5	2,6	2,7	1,9	1,9	2,5	2,1	1,7	2,6
G2A1					G2A2					G2A3				
4,4	12,2	12	8	9,3	0	1,1	12,5	11,3	6,2	2,8	0	1,7	1,4	1
G2B1					G2B2					G2B3				
17,2	0,9	0	0,9	4,7	5	19,4	12,5	1,8	9,6	5	17,3	10,2	1,3	8,4
G3A1					G3A2					G3A3				
19,4	1,2	0,4	0,4	5,3	0	9,3	7,6	0,6	4,2	10,4	3,1	0,8	0	3,5
G3B1					G3B2					G3B3				
14,6	17,8	9,8	0,8	10,6	32,6	27	5,5	2,3	16,2	2,3	0,7	1	2,2	0,8

Lampiran 3. Tabel Hasil Pengukuran Luas Daun

Lokasi	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	Jumlah	Rata-rata	St. Dev
Kos Luar	46.43	58.85	47.03	49.85	44.55	46.587	47.21	51.52	49.9	54.84	496.8	49.7	4.394191
Suhat Luar	60.93	67.36	68.16	61.14	68.66	62.28	60.96	67.75	70.57	62.7	650.5	65.1	3.771776
Sarinah Luar	100.6	83.98	80.32	75.84	84.32	87.62	86.32	93.8	80.32	74.37	847.5	84.7	7.960602

Lampiran 4. Tabel Hasil Kerapatan Stomata

Lokasi	Kerapatan
Sukada A	154.1353
Sukada B	182.9574
Suhat A	182.9574
Suhat B	187.4687
Sarinah A	186.7168
Sarinah B	201.7544

Lampiran 6. Hasil Analisis Warna Batang Color Grab



Silk //Light Grey → Orange
 RGB: (187, 173, 168) #B3ADA8
 HSV: (16°, 10%, 73%)
 ● ~RAL 9006 \ White aluminium

Jl. Sunan Kalijaga Dalam



Grey 50% //Grey
 RGB: (142, 136, 133) #8E8885
 HSV: (20°, 6%, 56%)
 ● ~RAL 9007 \ Grey aluminium

Jl. Melati



Makara //Grey → Brown:Orange
 RGB: (101, 94, 81) #655E51
 HSV: (39°, 20%, 40%)
 ● RAL 1035 \ Pearl beige

Jl. Basuki Rahmat



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.uin-malang.ac.id> Email: biologi@uin-malang.ac.id

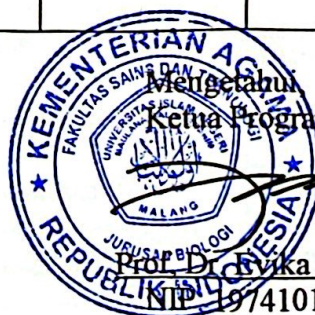
Form Checklist Plagiasi

Nama : Nawal Rajwa

NIM : 210602110052

Judul : Studi Akumulasi Timbal (Pb) dan Karakter Anatomi Fisiologis pada Glodokan Tiang (*Polyalthia longifolia*) di Beberapa Ruas Jalan Kota Malang.

No	Tim Check plagiasi	Skor Plagiasi	TTD
1	Azizatur Rohmah, M.Sc		
2	Berry Fakhry Hanifa, M.Sc		
3	Bayu Agung Prahardika, M.Si	100	
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



JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

IDENTITAS MAHASISWA

M : 210602110052
Nama : NAWAL RAJWA
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Jurusan : BIOLOGI
Dosen Pembimbing 1 : SUYONO,M.P
Dosen Pembimbing 2 : Dr. M. MUKHLIS FAHRUDDIN,M.S.I
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : Dinamika Musim dan Perubahan Penyimpanan Karbon di Ekosistem Pesisir: Pendekatan Kuantitatif pada Pantai Modangan

IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	20 November 2024	SUYONO,M.P	Konsultasi judul skripsi	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
2	22 November 2024	SUYONO,M.P	Konsultasi dan revisi BAB I	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
3	26 November 2024	SUYONO,M.P	Konsultasi dan revisi BAB II	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
4	02 Desember 2024	SUYONO,M.P	Konsultasi dan revisi BAB III	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
5	03 Desember 2024	SUYONO,M.P	Konsultasi Revisi BAB I	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
6	05 Desember 2024	SUYONO,M.P	Konsultasi revisi BAB II dan III	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
7	10 Desember 2024	Dr. M. MUKHLIS FAHRUDDIN,M.S.I	Konsultasi dan revisi integrasi BAB I dan II	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
8	11 Desember 2024	SUYONO,M.P	Proposal disetujui	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
9	29 April 2025	SUYONO,M.P	Konsultasi hasil pengambilan data	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
10	22 Mei 2025	SUYONO,M.P	Konsultasi dan revisi BAB IV	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
11	27 Mei 2025	SUYONO,M.P	Konsultasi dan revisi BAB IV	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
12	28 Mei 2025	Dr. M. MUKHLIS FAHRUDDIN,M.S.I	Konsultasi dan revisi integrasi BAB IV	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
13	02 Juni 2025	SUYONO,M.P	Konsultasi dan revisi BAB V	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi
14	03 Juni 2025	SUYONO,M.P	Skripsi disetujui	Genap 2024/2025	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2

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



Kajur / Kaprodi,

Malang, _____
Dosen Pembimbing 1

SUYONO, M.P