

**PENGARUH CEMARAN ABU SLAG ALUMINIUM TERHADAP  
MORFOLOGI, ANATOMI DAN KADAR KLOORIFIL TOTAL  
TANAMAN PEPAYA (*Carica papaya* L.) DI DESA BUDUGSIDOREJO  
KEC. SUMOBITO KAB. JOMBANG**

**SKRIPSI**

**Oleh:  
FITRIA ULFA  
NIM. 17620060**



**PROGRAM STUDI BIOLOGI  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2021**

**PENGARUH CEMARAN ABU SLAG ALUMINIUM TERHADAP  
MORFOLOGI, ANATOMI DAN KADAR KLOORIFIL TOTAL  
TANAMAN PEPAYA (*Carica papaya* L.) DI DESA BUDUGSIDOREJO  
KEC. SUMOBITO KAB. JOMBANG**

**SKRIPSI**

**Oleh:  
FITRIA ULFA  
NIM. 17620060**

**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  
2021**

**PENGARUH CEMARAN ABU SLAG ALUMUNUM TERHADAP  
MORFOLOGI, ANATOMI DAN KADAR KLOROFIL TOTAL  
TANAMAN PEPAYA (*Carica papaya* L.) DI DESA BUDUGSIDOREJO  
KEC. SUMOBITO KAB. JOMBANG**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**FITRIA ULFA**  
NIM. 17620060

telah diperiksa dan disetujui untuk diuji  
tanggal 24 November 2021

**Pembimbing I**



Tyas Nyonita Punjungsari, M.Sc  
NIP. 19920507 201903 2 026

**Pembimbing II**



Dr. H. M. Imamudin, Lc., M.A  
NIP. 19740602 2009011 010

Mengetahui,  
**Ketua Program Studi Biologi**



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

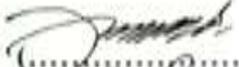
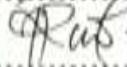
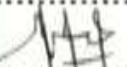
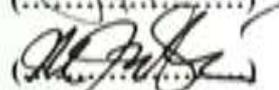
**PENGARUH CEMARAN ABU SLAG ALUMINIUM TERHADAP  
MORFOLOGI, ANATOMI DAN KADAR KLOROFIL TOTAL  
TANAMAN PEPAYA (*Carica papaya* L.) DI DESA BUDUGSIDOREJO  
KEC. SUMOBITO KAB. JOMBANG**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**FITRIA ULFA**  
NIM. 17620060

telah dipertahankan  
di depan Dewan Penguji Skripsi dan dinyatakan diterima sebagai salah  
satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Tanggal: 13 Desember 2021

Penguji Utama : Dr. Evika Sandi Savitri, M.P.  
NIP. 19741018 200312 2 002  
Anggota Penguji 1 : Ruri Siti Resmisari, M.Si.  
NIDT. 19790123 2016080 1 2063  
Anggota Penguji 2 : Tyas Nyonita Punjungsari, M.Sc.  
NIP. 19920507 201903 2 026  
Anggota Penguji 3 : Dr. H. M. Imamudin, Lc., M.A  
NIP. 19740602 2009011 010

  
(.....)  
  
(.....)  
  
(.....)  
  
(.....)

Mengesahkan,  
Ketua Program Studi Biologi



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

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Teriring rasa syukur yang mendalam atas terselesaikannya penulisan tugas akhir ini (skripsi), penulis persembahkan atas rasa terimakasih kepada semua orang baik yang selalu kebersamai penulis, terkhusus kepada:

1. Kedua orang tua tercinta dan tersayang, Bapak Solikin dan Ibu Nur Khuzaimah yang tidak pernah berhenti berjuang dengan tulus dan ikhlas dalam memberikan hal terbaik kepada anak-anaknya.
2. Ibu Tyas Nyonita Punjungsari, M.Sc. selaku dosen pembimbing skripsi yang selalu membimbing penulis dengan telaten dan mensupport penulis agar dapat lulus tepat waktu.
3. Bapak Dr. H. M. Imamudin, Lc., M.A selaku dosen pembimbing agama yang telah membimbing penulis dalam integrasi keislaman penelitian.
4. Ibu Evika Sandi Savitri, M.P. dan Ibu Ruri Siti resmisari, M.Si selaku dosen penguji yang bersedia memberikan banyak arahan demi terciptanya penulisan skripsi yang baik.
5. Kedua kakak penulis, Dimas Maulana, S.P. dan Habib Syaifuddin, S.P. yang selalu mendoakan dan memberikan semangat serta bersedia membantu dalam segala urusan penulis terutama dalam masa penelitian.
6. Bibi Istiqomah dan Paman Sa'roni yang selalu peduli dan bersedia membantu dalam pengambilan sampel penelitian.
7. Sofia Maisaroh, Muthia Tsalisa Alawiyah, Fitroh Fuadah, Reni Wulansari, dan teman-teman lainnya yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan banyak do'a, dukungan, semangat, motivasi, dan amanat kepada penulis.
8. Teman-teman santri putri komplek Khadijah yang selalu memberikan gelak, tawa, canda, suka, cita selama berproses dan belajar di kota perantauan.

---

## HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fitria Ulfa  
NIM : 17620060  
Program Studi : Biologi  
Fakultas : Sains dan Teknologi  
Judul Penelitian : Pengaruh Cemarannya Abu Slag Aluminium terhadap Morfologi, Anatomi dan Kadar Klorofil Total Tanaman Pepaya (*Carica papaya* L.) di Desa Budugsidorejo Kec. Sumobito Kab. Jombang

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

Malang, 21 Desember 2021  
yang membuat pernyataan,



Fitria Ulfa  
NIM. 17620060

## **PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI**

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

**Pengaruh Cemaran Abu Slag Alumunium terhadap Morfologi, Anatomi dan Kadar Klorofil Total Tanaman Pepaya (*Carica papaya* L.) di Desa Budugsidorejo Kec. Sumobito Kab. Jombang**

Fitria Ulfa, Tyas Nyonita Punjungsari, M. Imamudin

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

**ABSTRAK**

Limbah peleburan logam alumunium berupa kemasan karung abu slag di Desa Budugsidorejo, Sumobito, Jombang yang difungsikan sebagai material pembangunan atau perbaikan konstruksi lingkungan seperti peninggi jalan, tanggul sungai, serta pondasi rumah secara tidak langsung menyebabkan berbagai perubahan khususnya pada tanaman. Tanaman pepaya (*Carica papaya* L.) merupakan salah satu tanaman terdampak yang telah memperlihatkan beberapa perubahan morfologi, sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh dari cemaran abu slag alumunium terhadap morfologi, anatomi dan kadar klorofil total tanaman tersebut. Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kualitatif dengan parameter uji morfologi (warna, panjang, diameter, dan jumlah cabang pada akar serta warna, panjang, lebar dan jumlah jari pada daun). Parameter anatomi (ketebalan epidermis dan karakter jaringan angkut (xilem dan floem) pada akar serta ketebalan jaringan epidermis adaksial abaksial dan jaringan mesofil pada bagian daun). Parameter kadar klorofil total dilakukan pada bagian daun. Hasil pengamatan kemudian dianalisis secara diskriptif kualitatif. Metode yang digunakan dalam pengambilan sampel tanah dan sampel tanaman adalah metode *purposive sampling*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perubahan pada morfologi, anatomi, dan kadar klorofil total tanaman pepaya (*Carica papaya* L.) yang tumbuh di atas tumpukan abu slag alumunium jika dibandingkan dengan tanaman kontrol, sehingga dapat diketahui bahwa abu slag alumunium dapat mempengaruhi morfologi, anatomi dan kadar klorofil total tanaman pepaya (*Carica papaya* L.).

Kata kunci: *alumunium, pepaya, morfologi, anatomi, klorofil*

**The Effect of Aluminium Slag Ash Following on The Morphology, Anatomy,  
and Total Chlorophyll of Papaya (*Carica papaya* L.) in Budugsidorejo,  
Sumobito, Jombang**

Fitria Ulfa, Tyas Nyonita Punjungsari, M. Imamudin

Biology Program Study, Faculty of Science and Technology, The State Islamic  
University of Maulana Malik Ibrahim Malang

**ABSTRACT**

Aluminum metal smelting waste in the form of slag ash sack packaging in Budugsidorejo, Sumobito, Jombang which is functioned as construction material for improvement of environmental construction such as road enhancement, river embankments, and house foundation indirectly causes various changes, especially in plants. Papaya plant (*Carica papaya* L.) is one of the affected plants that has shown some morphological changes, so it is necessary for conducting research to determine the effect of aluminum slag ash contamination on the morphology, anatomy and total chlorophyll content of the plant. This research is a qualitative descriptive study with morphological test parameters (color, length, diameter, and number of branches of the roots, as well as color, length, width and number of fingers of the leaves). Anatomical parameters are epidermal thickness and the character of the transport tissue (xylem and floem) of the roots and the thickness of adaxial abaxial epidermal tissue and mesophyll tissue of the leaves. Parameter of total chlorophyll content are carried out on the leaves. The results of research then analyzed by qualitative and descriptive method. While, for taking soil and plant samples are using the purposive sampling method. The result shows that there are changes in morphology, anatomy and total chlorophyll content of Papaya plant (*Carica papaya* L.) growing on a pile of aluminum slag ash when compared to control plant. So, it can be inferred that aluminum slag ash can affect the morphology, anatomy and total chlorophyll content of Papaya plant (*Carica papaya* L.).

*Key words:* aluminum, papaya, morphology, anatomy, chlorophyll

## المخلص

تأثير تلوث رماد خبث الألومنيوم على التشكل، تشريح والإجمالي المحتوى الكلوروفيل نباتات البابايا (جارجا بابايا ل.) في قرية بودوك سيدوريجو، سومويتو، جومباتج

قسم علم الحية كلية العلوم والتكنولوجيا جامعة مولنا مالك ابراهيم مالانج

الكلمات المفتاحيات : مورفولوجيا البابايا الألومنيوم وعلم التشريح الكلوروفيل

نفايات صهر معدن الألومنيوم على شكل أكياس تغليف من رماد الخبث في قرية بودوك سيدوريجو، سومويتو جومبانغ التي تعمل كمواد بناء أو تحسين البناء البيئي مثل رافعات الطرق وسدود الأنهار وأساسات المنازل حيث تؤدي إلى تغييرات مختلفة، خاصة في النباتات. نبات البابايا (*Carica papaya L.*) هو إحدى النباتات المصابة التي أظهرت بعض التغييرات الشكلية، لذلك من الضروري إجراء بحث لتحديد تأثير تلوث رماد خبث الألومنيوم على التشكل، تشريح والإجمالي المحتوى الكلوروفيل النبات. هذا البحث عبارة عن دراسة وصفية نوعية مع معايير الاختبار الصرفي (اللون والطول والقطر وعدد الفروع على الجذور وكذلك اللون والطول والعرض وعدد الأصابع على الأوراق). تم إجراء اختبار محتوى الكلوروفيل الكلي على الأوراق، المعلمات التشريحية (سمك البشرة وخصائص نسيج النقل (نسيج الخشب واللحاء) في الجذور وكذلك سمك النسيج الوبائي المحوري وأنسجة الميزوفيل في الأوراق). ثم تحلل نتائج الملاحظات وصفيًا نوعيًا، الطريقة المستخدمة في أخذ عينات التربة والنبات هي طريقة أخذ العينات هادفة، وأظهرت النتائج أن هناك تغييرات في التشكل، التشريح، تشريح والإجمالي المحتوى الكلوروفيل البابايا (*Carica papaya L.*) التي تنمو على كومة من رماد خبث الألومنيوم مقارنة بالنباتات الضابطة، لذلك يمكن ملاحظة أن رماد خبث الألومنيوم يحتوي على تأثير على نمو نباتات البابايا (*Carica papaya L.*).

## KATA PENGANTAR

*Assalamua'alaikum Wr. Wb.*

*Alhamdulillah*, puji syukur kehadiran Allah SWT atas berkah, rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengaruh Cemar Abu Slag Alumunium terhadap Morfologi, Anatomi dan Kadar Klorofil Total Tanaman Pepaya (*Carica papaya* L.) di Desa Budugsidorejo Kec. Sumobito Kab. Jombang” sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Sarjana (S1) pada Program Sarjana Fakultas Sains dan Teknologi Program Studi Biologi Universitas Islam Negeri (UIN) Malang. Shalawat serta salam, selalu tercurahkan kepada junjungan Nabi akhir zaman, Nabi Muhammad SAW yang menjadi suri tauladan bagi seluruh umat Islam, sehingga dapat mengenal agama yang dirahmati oleh Allah SWT yakni agama Islam.

Berkat bimbingan dan bantuan dari berbagai pihak baik secara moral, spiritual, maupun material, penulisan skripsi dapat terselesaikannya dengan baik. Oleh karena itu, ucapan terima kasih khususnya kepada:

1. Prof. Dr. H.M. Zainuddin, M.A. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Sri Harini, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Evika Sandi Savitri, M.P. selaku Ketua Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Tyas Nyonita Punjungsari, M.Sc. selaku dosen pembimbing I yang telah dengan sabar dalam membimbing dan meluangkan waktunya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir.
5. Dr. H. M. Imamudin, Lc., M.A selaku dosen keagamaan yang juga dengan sabar dalam membimbing penulis dalam mengintegrasikan ayat-ayat al-Qur'an dengan kajian Biologi.
6. Seluruh Bapak/Ibu dosen Program Studi Biologi yang telah membimbing dan memberikan ilmu yang sangat bermanfaat selama masa perkuliahan.

7. Kedua orang tua, ayahanda Solikin dan ibunda Nur Khuzaimah yang selalu memberikan dukungan baik moril maupun materil serta do'a kepada penulis.
8. Seluruh teman Program Studi Biologi angkatan 2017 yang selalu memberikan semangat satu sama lain.
9. Seluruh teman santri putri Pondok Pesantren Darul Ulum al-Fadholi yang selalu menemani selama masa belajar dan mengabdikan, serta
10. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu yang selalu membantu melancarkan dan memudahkan penelitian.

Semoga amal baik yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan dari Allah SWT. Skripsi ini telah ditulis secara cermat dan sebaik-baiknya, namun apabila ada kekurangan, saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan.

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*

Malang, November 2021

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN .....	v
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
المخلص .....	ix
KATA PENGANTAR .....	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GAMBAR .....	xv

### BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Hipotesis.....	6
1.5 Manfaat Penelitian .....	6
1.6 Batasan Masalah.....	6

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Islam Terkait Penelitian.....	8
2.2 Kandungan Kimia dalam Tanah.....	11
2.3 Logam Berat .....	13
2.4 Alumunium (Al).....	15
2.4.1 Dross Alumunium .....	16
2.4.2 Abu Slag Alumunium .....	16
2.5 Pengaruh Logam Berat Alumunium terhadap Pertumbuhan Tanaman .....	17
2.5.1 Respon Morfologi Tanaman terhadap Cekaman Alumunium .....	18
2.5.2 Respon Anatomi Tanaman terhadap Cekaman Alumunium .....	20
2.5.3 Respon Kadar Klorofil Total Tanaman terhadap Cekaman Alumunium .....	21
2.6 Gejala Defisiensi Unsur Hara .....	24
2.7 Tanaman Pepaya ( <i>Carica papaya</i> L.).....	25
2.7.1 Morfologi Tanaman Pepaya ( <i>Carica papaya</i> L.).....	26
2.7.2 Syarat Tumbuh Tanaman Pepaya ( <i>Carica papaya</i> L.).....	30

### BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian.....	33
3.2 Waktu dan Tempat.....	33

3.3	Alat dan Bahan .....	34
3.3.1	Alat .....	34
3.3.2	Bahan .....	35
3.4	Prosedur Penelitian .....	35
3.4.1	Penentuan lokasi sampling .....	35
3.4.2	Pengambilan sampel uji .....	36
3.4.3	Uji kimia tanah .....	37
3.4.4	Pengamatan morfologi akar dan daun .....	43
3.4.5	Pengamatan anatomi akar dan daun .....	45
3.4.6	Pengujian kadar klorofil total daun .....	43
3.5	Teknik Analisis Data .....	47

#### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1	Pengaruh Abu Slag Alumunium terhadap Morfologi Tanaman Pepaya ( <i>Carica papaya</i> L.) .....	48
4.1.1	Morfologi Akar Lateral Tanaman Pepaya ( <i>Carica papaya</i> L.) .....	48
4.1.2	Morfologi Daun Tanaman Pepaya ( <i>Carica papaya</i> L.) .....	51
4.2	Pengaruh Abu Slag Alumunium terhadap Anatomi Tanaman Pepaya ( <i>Carica papaya</i> L.) .....	55
4.2.1	Anatomi Akar .....	55
4.2.2	Anatomi Daun .....	61
4.3	Pengaruh Abu Slag Alumunium terhadap Kadar Klorofil Total Daun Tanaman Pepaya ( <i>Carica papaya</i> L.) .....	66
4.4	Analisis Kimia Tanah .....	68
4.5	Kajian Integrasi Keislaman terkait Hasil Penelitian .....	78

#### **BAB V PENUTUP**

5.1	Kesimpulan .....	78
5.2	Saran .....	78

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	79
<b>LAMPIRAN</b> .....	90

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.2. Kriteria Penilaian Analisis Tanah .....	12
2.6. Fungsi Unsur Hara Makro dan Gejala Kekurangannya.....	25
4.1.1. Hasil pengamatan morfologi akar lateral tanaman pepaya ( <i>Carica papaya</i> L.).....	49
4.1.2. Hasil pengamatan morfologi daun tanaman pepaya ( <i>Carica papaya</i> L.).....	52
4.2.2.1. Nilai ketebalan jaringan epidermis daun tanaman pepaya.....	63
4.2.2.2. Nilai ketebalan jaringan mesofil daun tanaman pepaya.....	65
4.3. Hasil uji kadar klorofil total daun pepaya ( <i>Carica papaya</i> L.).....	67
4.4. Hasil analisis kimia tanah .....	69

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.4.2. Abu slag alumunium .....	17
2.5.1.1. Sistem perakaran tanaman jagung yang kurang berkembang akibat keracunan larutan Al .....	18
2.5.1.2. Pengamatan ujung akar <i>Urochloa brizantha</i> kultivar Xaraés di bawah miroskop elektron .....	19
2.5.1.3. Morfologi daun tanaman Marigold ( <i>Tagetes erecta</i> L.) setelah 25 hari pengolahan air limbah batik dengan konsentrasi berbeda .....	20
2.5.3.1. Histolokalisasi ujung akar Al dengan pewarna Chrome Azurol S sebagai respon logam Al .....	21
2.5.3.2. Peningkatan vakuolasi sel akar primer jagung terhadap 50 $\mu$ M AlCl <sub>3</sub> dalam 0.1 mM CaCl <sub>2</sub> selama 24 jam .....	22
2.5.3.3. Penampang epidermis akar tanaman <i>Calliandra calothyrsus</i> dalam merespon logam Al .....	22
2.5.3.4. Ketebalan epidermis daun kapas dengan perlakuan .....	24
2.7.1.1. Akar tanaman Pepaya ( <i>Carica papaya</i> L.) .....	27
2.7.1.2. Batang tanaman Pepaya ( <i>Carica papaya</i> L.) .....	28
2.7.1.3. Daun tanaman Pepaya ( <i>Carica papaya</i> L.) .....	29
2.7.1.4. Bunga dan Buah tanaman Pepaya ( <i>Carica papaya</i> L.) .....	30
3.2. Peta lokasi penelitian .....	34
3.4.2. Skema pengambilan sampel tanah dan akar lateral .....	36
3.5. Diagram alir tahapan penelitian .....	46
4.1.1. Akar lateral Pepaya ( <i>Carica papaya</i> L.) .....	49
4.1.2. Daun Pepaya ( <i>Carica papaya</i> L.) .....	52
4.2.1.1. Ketebalan jaringan epidermis akar .....	56
4.2.1.2. Jaringan pengangkut pada akar pepaya ( <i>Carica papaya</i> L.) .....	58
4.2.2.1. Ketebalan jaringan epidermis adaksial dan abaksial daun pepaya ( <i>Carica papaya</i> L.) .....	62
4.2.2.2. Ketebalan jaringan mesofil daun pepaya ( <i>Carica papaya</i> L.) .....	65

## DAFTAR LAMPIRAN

1. Hasil Analisis Kimia Tanah .....	90
2. Dokumentasi Penelitian .....	90
3. Pengamatan Morfologi Akar dan Daun Pepaya ( <i>Carica papaya</i> L.).....	91
4. Pengamatan Anatomi Akar dan Daun.....	101
5. Perhitungan Kandungan Klorofil Total Daun Pepaya ( <i>Carica papaya</i> L.) .	113
6. Form Cek Plagiasi.....	116
7. Bukti Konsultasi Pembimbing Biologi .....	117
8. Bukti Konsultasi Pembimbing Agama.....	118

## DAFTAR SINGKATAN

Simbol/Singkatan	Keterangan
A	Absorbansi
ATP	Adenosina trifosfat
DNA	<i>Deoxyribo Nukleic Acid</i>
RNA	<i>Ribo Nucleic Acid</i>
CO <sub>2</sub>	Karbon dioksida
µm	Mikrometer
µl	Mikroliter
g	Gram
kg	Kilogram
mg	Miligram
ml	Mililiter
cm <sup>3</sup>	Centimeter kubik
L	Liter
M	Molar
Pjg.	Panjang
AlCl <sub>3</sub>	Aluminium klorida
KCl	Kalium klorida
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Natrium sulfat
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ammonium sulfat
NaOH	Natrium hidroksida
NaOCl	Sodium hypochlorite
NaHCO <sub>3</sub>	Natrium bikarbonat
NH <sub>4</sub>	Amonium
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Asam sulfat
PO <sub>4</sub>	Fosfat
CuSO <sub>4</sub>	Tembaga (II) sulfat
±	Sekitar/kurang lebih
Ppm	Part per million
DM	Demineralisasi
pH	power of Hydrogen

## **BAB I PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Allah SWT menegaskan dalam Al-Qur'an Surah Ar-Rūm (30) ayat 41 yang berbunyi:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ  
٤١ –

Artinya: *“Telah nampak kerusakan di darat dan di laut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, supaya Allah merasakan kepada mereka sebahagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (ke jalan yang benar)”*. (Q.S. Ar-Rūm ayat 41)

Allah SWT telah menyebutkan melalui ayat tersebut bahwa banyak kehancuran yang telah terjadi di bumi akibat dari perbuatan manusia, sehingga Allah perlihatkan dampaknya agar manusia mengetahui dan kembali ke jalan yang semestinya. Kerusakan yang terjadi di lingkungan bukan hanya akan menyulitkan manusia, namun juga makhluk hidup lainnya. Salah satu kerusakan lingkungan yang seringkali terjadi adalah keberadaan limbah industri yang dibuang ke lingkungan bebas tanpa melalui proses pengelolaan yang benar sehingga berdampak mencemari dan merusak lingkungan. Sebagaimana yang dinyatakan oleh Hidayat (2015), peningkatan jumlah industri pabrik seringkali menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan akibat pencemaran yang berasal dari limbah buangan industri yang tidak dikelola sesuai dengan prosedur.

Salah satu limbah cemaran yang sering menjadi polutan dalam lingkungan adalah limbah dengan kandungan unsur logam berat. Limbah logam berat pada lingkungan tidak hanya berasal dari limbah industri, tetapi juga limbah domestik dan limbah dari aktivitas pertanian (Budiastuti, 2016). Menurut Sarie (2019), logam berat menjadi golongan zat pencemar karena memiliki sifat yang tidak

dapat diuraikan secara biologis. Widaningrum (2007) menuturkan bahwa penggunaan produk berbahan kimia yang mengenai tanah secara langsung, limbah buangan, penimbunan debu polusi, dan hujan dapat mengakibatkan zat logam berat memasuki tanah.

Tumbuhnya tanaman pada tanah berkonsentrasi logam berat tinggi, lambat laun dapat menimbulkan proses pertumbuhan dan perkembangan yang terganggu terutama pada produksi biomassa tanaman dan konsentrasi pigmen fotosintesis (Ali, 2012; Murti & Maryani, 2020). Akar juga akan menyerap zat-zat logam berat bersama air dan hara mineral lainnya yang tersimpan dalam tanah, sehingga menyebabkan logam berat masuk ke dalam jaringan akar, batang, daun, bahkan buah dan biji (Darmawan, 2012). Sanitá di Troppi & Gabbrielli (1999) menuturkan bahwa efek fitotoksik logam berat pada tumbuhan dapat diamati melalui gejala visual seperti kondisi daun yang klorosis, nekrosis dan layu. Doganlar, *et al.*, (2012) juga menambahkan bahwa salah satu respon tanaman dalam menghadapi logam berat dapat ditinjau melalui bentuk morfologi daun seperti munculnya trikoma dan lapisan lilin yang berperan untuk menahan logam berat masuk dan menyebar ke dalam jaringan tumbuhan.

Aluminium merupakan salah satu jenis material logam yang banyak digunakan dalam industri mesin dan otomotif. Beberapa tahun terakhir, Al telah menggantikan Fe (Besi) di industri karena mudah diproses dan juga memiliki kapabilitas yang lebih baik dalam mengawetkan makanan, sehingga Al menjadi salah satu logam yang paling umum digunakan sebagai kemasan minuman dan makanan. Kendati demikian, sifat Al yang tidak dapat diuraikan secara biologis, pada akhirnya akan menyumbang resiko tinggi terhadap lingkungan yang

tercemar (Doganlar, *et al.*, 2012 & Sinaga, 2016). Keberadaan produk berbahan dasar Al yang selalu bertambah di masyarakat akan menyebabkan munculnya sampah atau barang bekas berbahan Al dalam jumlah melimpah. Xiao, *et al.*, (2011) beserta Saraswati & Razif (2020) menuturkan bahwa kelimpahan tersebut membuat industri peleburan alumunium mengumpulkan kembali produk habis masa pakai untuk kembali diolah dan dilebur di peleburan sekunder yang menghasilkan logam Al sekunder atau disebut sebagai abu slag.

Desa Budugsidorejo Kecamatan Sumobito Kabupaten Jombang menjadi salah satu lokasi pembuangan limbah abu slag alumunium secara ilegal dari sentra industri peleburan alumunium di Kecamatan Kesamben dan Sumobito Kabupaten Jombang. Abu slag alumunium yang dikemas dalam karung sak didatangkan dan digunakan sebagai pengukuh tanggul sungai dan saluran irigasi, material urugan fondasi rumah serta sebagai material pelebar dan peninggi jalan di area persawahan (Rini, 2019; Rahmadi, 2018 & Syafi'i, 2018). Hasil pengamatan dan observasi lapang pada Desa Budugsidorejo menunjukkan bahwa dampak dari timbunan abu slag alumunium masih dapat terlihat meskipun penimbunan tidak lagi dilakukan setelah lima tahun terakhir. Dampak tersebut dapat dilihat dari beberapa tumbuhan dengan morfologi tidak normal salah satunya yakni tanaman pepaya dengan morfologi daun klorosis, keriting dan efek terbakar pada tepi. Terganggunya pertumbuhan dan perkembangan tumbuhan tersebut menjadi salah satu indikator bahwa sisa logam Al dalam abu slag masih dapat mempengaruhi komponen tanah dan mengakibatkan sifat kontaminan bagi tanah.

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa tanah yang dicampur dengan Al 50 dan 100 mg Al/kg membuat tanaman Buncis (*Phaseolus vulgaris*

L.) mengalami penurunan panjang akar dan tidak memiliki pola percabangan (Legesse, *et al.*, 2017). Gejala keracunan yang cukup terlihat nyata dari penelitian Steiner, *et al.*, (2015) pada tanaman *Jatropha curcas* L. dengan pemberian konsentrasi tertinggi 1.100, dan 1.480  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Al, setelah 75 hari perlakuan akar mengalami penghambatan pemanjangan, penebalan di ujung, pengurangan jumlah akar lateral, dan menguningnya akar. Daun muda tampak lebih kecil, klorosis, bintik-bintik nekrotik kecil di bagian tepi dengan kondisi berliku. Daun tua mengalami klorosis marginal yang berkembang ke tengah lamina.

Dampak terhadap kadar klorofil total daun juga dilaporkan oleh Karimaei (2016) dari tanaman bayam dengan perlakuan 100 dan 200  $\mu\text{M AlCl}_3$  yang menunjukkan kadar klorofil total secara signifikan menurun. Batista, *et al.*, (2013) & Ozygit (2013) selanjutnya memaparkan hasil penelitian dari pengaruh toksisitas Al terhadap bentuk anatomi tanaman kapas yang menunjukkan bahwa selubung daun tanaman yang terinduksi Al 75 dan 300  $\text{mol L}^{-1}$  memiliki epidermis uniseriate (beruntun tunggal) dilapisi dengan lapisan kutikula tipis, serta sel-sel epidermis dan korteks kurang berkembang, ukuran sel palisade dan bunga karang yang juga menurun. Begitu pula bagian akar mengalami penebalan pada dinding sel dan kerusakan epidermis atau *outer* korteks yang diikuti dengan matinya sel.

Oleh karena beberapa uraian pada paragraf sebelumnya, maka penelitian ini perlu dilakukan untuk mengetahui respon tanaman pepaya terhadap kontaminan abu slag alumunium. Pemilihan tanaman pepaya sebagai objek penelitian dikarenakan tanaman pepaya merupakan salah satu tanaman yang dapat tumbuh pada segala musim, sehingga dapat ditemukan setiap saat. Selain itu, tanaman pepaya juga memiliki banyak manfaat dan kegunaan yang juga dikonsumsi oleh

masyarakat. Adanya informasi mengenai pengaruh abu slag terhadap morfologi, anatomi dan kadar klorofil selanjutnya dapat membantu petani pepaya untuk mengambil langkah lanjutan pencegahan akumulasi logam berat Al dalam tanaman pepaya yang dapat membahayakan kesehatan masyarakat yang mengkonsumsinya.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagaimana berikut:

1. Bagaimana morfologi akar dan daun tanaman pepaya yang tumbuh di lahan tercemar abu slag alumunium di Desa Budugsidorejo Kec. Sumobito Kab. Jombang?
2. Bagaimana anatomi akar dan daun tanaman pepaya yang tumbuh di lahan tercemar abu slag alumunium di Desa Budugsidorejo Kec. Sumobito Kab. Jombang?
3. Bagaimana kadar klorofil daun tanaman pepaya yang tumbuh di lahan tercemar abu slag alumunium di Desa Budugsidorejo Kec. Sumobito Kab. Jombang?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagaimana berikut:

1. Untuk mengetahui morfologi akar dan daun tanaman pepaya yang tumbuh di lahan tercemar abu slag alumunium khususnya di Desa Budugsidorejo Kec. Sumobito Kab. Jombang.
2. Untuk mengetahui anatomi akar dan daun tanaman pepaya yang tumbuh di lahan tercemar abu slag alumunium khususnya di Desa Budugsidorejo Kec. Sumobito Kab. Jombang.

3. Untuk mengetahui kadar klorofil daun tanaman pepaya yang tumbuh di lahan tercemar abu slag alumunium di Desa Budugsidorejo Kec. Sumobito Kab. Jombang.

#### **1.4 Hipotesis**

Hipotesis dalam penelitian ini adalah sebagaimana berikut:

1. Terdapat perubahan morfologi daun dan akar tanaman pepaya karena pengaruh cemaran abu slag alumunium.
2. Terdapat perubahan anatomi daun dan akar tanaman pepaya karena pengaruh cemaran abu slag alumunium.
3. Terdapat penurunan kadar klorofil daun tanaman pepaya karena pengaruh cemaran abu slag alumunium.

#### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagaimana berikut:

1. Mengetahui pengaruh abu slag alumunium terhadap respon morfologi, anatomi daun dan akar serta kadar klorofil total daun tanaman pepaya.
2. Memberikan informasi tentang pengaruh atau dampak limbah abu slag alumunium terhadap pertumbuhan tanaman pepaya.
3. Memberikan informasi bahwasannya masih terdapat permasalahan tanah lahan akibat cemaran abu slag alumunium kepada masyarakat sekitar sehingga dapat dilakukan tindakan lanjutan yang tepat sasaran.
4. Mencegah terjadinya tindakan pemanfaatan abu slag alumunium secara berkelanjutan yang bukan sebagaimana mestinya.

#### **1.6 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagaimana berikut:

1. Morfologi dan anatomi tanaman pepaya yang diteliti adalah bagian daun dan akar, sedangkan uji kadar klorofil total hanya pada daun.
2. Sampel tanah dan tanaman terdampak yang diteliti diambil dari Ds. Budugsidorejo Kec. Sumobito Kab. Jombang dengan ketinggian permukaan 26 m dpl.
3. Sampel tanah dan tanaman yang digunakan sebagai kontrol diambil dari Dsn. Bandungsari Ds. Bandung Kec. Diwek Kab. Jombang dengan ketinggian permukaan 51 m dpl.
4. Kimia tanah yang dianalisis adalah pH dan unsur hara NPK.
5. Sampel daun dan akar tanaman pepaya yang digunakan diambil dari tanaman pepaya yang tumbuh di atas timbunan karung abu slag alumunium.
6. Usia tanaman pepaya yang diteliti yakni 8 bulan (fase generatif) dengan kategori diameter batang tiang (ukuran diameter 10-20 cm).
7. Pengambilan sampel daun dan akar dilakukan ketika tumbuhan sedang aktif berfotosintesis yakni sekitar pukul 10.00-11.00 WIB.
8. Varietas pepaya yang digunakan adalah varietas hawai atau solo (*Carica papaya* L. var. Solo).
9. Pengamatan anatomi daun dan akar menggunakan mikroskop binokuler dan Optilab Advance

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Kajian Islam Terkait Penelitian

Allah SWT menciptakan manusia dengan segala ketersediaan kebutuhan yang dapat mencukupi kehidupannya. Sebagaimana yang disampaikan oleh Ibnu Jarir dalam kitab *Tarikh al-Thobari* yang membahas tentang tahapan penciptaan alam berdasarkan firman Allah dalam Surah as-Sajdah ayat 4 dan penjelasan Hadits Nabi Muhammad SAW, bahwa langit dan bumi beserta isinya Allah ciptakan dalam enam masa kemudian pada masa terakhir barulah Allah ciptakan Nabi Adam (manusia) (Atabik, 2015). Hal tersebut menunjukkan betapa Allah sangat memperhatikan makhluk-Nya termasuk manusia hingga Allah lebih dahulu menciptakan bumi beserta isinya sebelum menciptakan manusia. Namun, bukan berarti menjadikan manusia dapat bertindak semaunya, tapi Allah menjadikan manusia sebagai *khalifah* atau pemimpin yang justru diperintahkan untuk menjaganya dan bukan sebaliknya. Sebagaimana kalam Allah SWT dalam Al-Qur'an Surah Al-Kahfi ayat 7-8 yang berbunyi:

إِنَّا جَعَلْنَا مَا عَلَى الْأَرْضِ زِينَةً لَّهَا لِنَبْلُوَهُمْ أَيُّهُمْ أَحْسَنُ عَمَلًا - ٧ وَإِنَّا لَجَاعِلُونَ مَا عَلَيْهَا  
صَعِيدًا جُرُزًا - ٨

Artinya: “*Sesungguhnya Kami telah menjadikan apa yang di bumi sebagai perhiasan baginya, agar Kami menguji mereka siapakah di antara mereka yang terbaik perbuatannya (7) Kami itu benar-benar akan menjadikan (pula) apa yang di atasnya menjadi tanah rata lagi tandus (8).*” (Q.S. Al-Kahfi ayat 7-8)

Ayat tersebut menyampaikan bahwa bumi dan segala isinya telah Allah ciptakan sebagai perhiasan yang dapat mencukupi kebutuhan manusia. Melalui perhiasan tersebut, Allah menguji manusia sejauh mana dapat menjaganya. Bagi manusia yang lalai dan *dzalim*, maka tidak segan-segan akan Allah ratakan

kembali menjadi tanah yang tandus dan hilang kemanfaatannya. Hal tersebut serupa dengan rusaknya komponen tanah akibat tercemar logam berat yang menyebabkan kesuburan tanah menjadi berkurang, sehingga menurunkan produktivitas tanaman yang semestinya dapat memberikan banyak manfaat bagi manusia, sebagaimana kalam Allah SWT dalam Al-Qur'an Surah Al-A'raf ayat 58 yang berbunyi:

وَالْبُلْدُ الطَّيِّبُ يَخْرُجُ نَبَاتُهُ بِإِذْنِ رَبِّهِ وَالَّذِي خَبثَ لَا يَخْرُجُ إِلَّا نَكِدًا كَذَلِكَ نُصَرِّفُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ  
يَشْكُرُونَ - ٥٨

Artinya: “Dan tanah yang baik, tanaman-tanamannya tumbuh subur dengan izin Tuhan; dan tanah yang buruk, tanaman-tanamannya yang tumbuh merana. Demikianlah Kami menjelaskan berulang-ulang tanda-tanda (kebesaran Kami) bagi orang-orang yang bersyukur” (Q.S. Al-A'raf ayat 58)

Terjemahan ayat tersebut menyatakan akan suatu sebab dan akibat dari kondisi tanah yang menjadi media tumbuh tanaman. Tanah yang baik akan menumbuhkan tanaman dengan baik karena di dalamnya mengandung banyak nutrisi yang membantu pertumbuhan tanaman, sehingga mampu memproduksi hasil tanam yang berkualitas pula. Hal tersebut juga dinyatakan oleh Baja (2012) bahwa tanah yang berkualitas baik bergantung pada sifat biologi, fisik, dan kimia tanah, sehingga dapat menumbuhkan tanaman dengan baik. Situmeang (2020) juga mengungkapkan bahwa kualitas tanah dapat dilihat dari kemampuan tanah untuk mendukung hasil tanaman secara berkelanjutan (*suistanable*). Jika kualitas tanah menurun maka kualitas tanaman yang tumbuh juga akan menurun, karena sesungguhnya Allah SWT juga telah menyampaikan dalam Al-Qur'an Surah Ar-Rahman ayat 5-9 tentang keseimbangan ekosistem yang berjalan secara harmonis dengan komponen-komponen di dalam yang saling berinteraksi di dalamnya

(Ahmad, 2020). Keseimbangan tersebut akan tercapai jika tidak melampaui neraca keadilan yang telah Allah tetapkan, layaknya komposisi unsur hara serta komponen lainnya dalam tanah dengan konsentrasi yang telah ditetapkan sesuai dengan kebutuhannya. Allah SWT berfirman dalam Al-Qur'an Surah Ali-Imran ayat 191 yang berbunyi:

الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَاطِلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ - ١٩١

Artinya: “(yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, duduk, atau dalam keadaan berbaring, dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata). “Ya Tuhan kami, tidaklah Engkau menciptakan semua ini dengan sia-sia; Maha Suci Engkau, lindungilah kami dari azab neraka”. (Q.S. Ali-Imran ayat 191)

Melalui ayat tersebut, Allah SWT mengingatkan bahwa tiada satupun ciptaan-Nya yang diciptakan dengan percuma. Sebagaimana yang disampaikan oleh Ahmad, dkk. (2020) mengenai salah satu hukum Biologi yakni, Hukum Struktur mengikuti Fungsi yang artinya tidak ada suatu struktur yang tidak memiliki fungsi, dengan kata lain bagaimanapun bentuk struktur tersebut pasti memiliki fungsi. Ayat tersebut juga dapat diintegrasikan dengan suatu bentuk perubahan morfologi, fisiologi dan juga anatomi suatu tumbuhan yang mendapatkan cekaman lingkungan sebagai bentuk respon atau adaptasi tumbuhan terhadap lingkungannya. Adanya suatu bentuk perubahan tersebut memiliki fungsi sebagai respon atau adaptasi untuk bertahan hidup. Oleh karena itu, dalam Al-Qur'an Surah Al-A'la ayat 9 yang artinya: “Oleh sebab itu berikanlah peringatan, karena peringatan itu bermanfaat (9)”, sekali lagi menyampaikan akan seruan Allah SWT tentang sebuah peringatan kepada manusia agar berhenti tidak membuat kerusakan, karena manusia akan merasakan akibat dari yang dilakukannya sendiri.

Semakin manusia menjaga lingkungannya, maka semakin banyak pula manfaat yang akan didapatkannya.

## **2.2 Kandungan Kimia dalam Tanah**

Poewowidodo (1992) mengungkapkan bahwa sifat tanah baik biologi, kimia, dan fisik sama-sama memiliki kaitan kuat dalam menentukan kesuburan tanah yang mendukung pertumbuhan tanaman. Sifat kimia tanah menjadi salah satu sifat tanah yang juga memiliki peranan penting dalam proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Kimia tanah memiliki komponen yang terdiri atas unsur hara makro dan mikro, pH tanah, kejenuhan basa, kapasitas tukar kation (KTK), dan kandungan bahan organik lainnya. Unsur hara makro terdiri dari unsur P, N, K, Mg, Ca, S, dan CHO (Balasubramanian, 2017), sedangkan unsur hara mikro tersusun atas unsur Cl, Cu, Fe, Na, Mn, B, Mo, Co, dan Zn. Unsur-unsur tersebut merupakan unsur yang harus ada dalam tanah sebagai nutrisi bagi tanaman sesuai dengan kadar dan peruntukannya.

Gunawan (2019); Javed (2011) dan Dubey (2018) menjelaskan bahwa pH tanah merupakan salah satu komponen kimia tanah yang memiliki peran fundamental untuk menentukan daya tanaman dalam menyerap unsur hara tanah. Grattan (2012) & Tim Penyusun, (2007) menyatakan bahwa pada umumnya unsur hara dapat diserap tanaman dengan baik pada pH netral atau kisaran pH 5,5 – 7. Lebih lanjut, Gunawan (2019) & Marschner (1995) menyebutkan bahwa mikroorganisme dan jamur di dalam tanah juga dapat berkembang secara optimal pada pH > 5,5. Jika pH tanah berada di bawahnya maka aktivitasnya dapat terhambat dan merusak tanaman baik dengan memaksakan kekurangan nutrisi atau racun ion. Grattan (2012) menambahkan bahwa tanah mineral yang sangat

asam akan mengakibatkan aktivitas ion hidrogen ( $H^+$ ) meningkat yang memberikan efek racun bagi tanaman dan mempengaruhi mekanisme transpor ion dalam melintasi membran sel seperti ATPase yang terikat membran.

Javed (2011) & Dubey (2018) menjelaskan bahwa serapan logam berat dari tanah akan meningkat seiring dengan penurunan pH tanah, sehingga pH tanah yang rendah dapat memicu naiknya kadar logam di dalam tanah. Berkenaan dengan hal tersebut, Gunawan (2019) juga menyampaikan bahwa tanaman tidak dapat menyerap unsur N, P, K dan zat hara lain secara optimal dalam kondisi tanah yang ber-pH rendah. Asngad (2013) menyebutkan bahwa unsur hara makro N, P, K justru berperan dalam merangsang pertumbuhan tanaman secara keseluruhan, meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK), dan membentuk senyawa kompleks dengan ion logam yang meracuni tanaman seperti, aluminium, besi dan mangan. Tabel 2.2. merupakan kriteria penilaian analisis tanah berdasarkan Balitbangtan Bogor (Rochayati, 2018):

**Tabel 2.2. Kriteria penilaian analisis tanah**

Parameter Tanah	Nilai				
	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
C (%)	<1	1-2	2-3	3-5	>5
N (%)	<0,1	0,1-0,2	0,21-0,5	0,51-0,75	>0,75
C/N	<5	5-10	11-15	16-25	>25
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> HCl 25% (mg/100g)	<15	15-20	21-40	41-60	>60
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Bray (ppm P)	<4	5-7	8-10	11-15	>15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> Olsen (ppm P)	<5	5-10	11-15	16-20	>20
K <sub>2</sub> O HCl 25% (mg/100 g)	<10	10-20	21-40	41-60	>60
KTK/CEC (me/100 g tanah)	<5	5-16	17-24	25-40	>40
Ca (me/100 g tanah)	<0,3	0,4-1	1,1-2,0	2,1-8,0	>8

Tabel 2.2. Lanjutan

Parameter Tanah	Nilai				
	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
Mg (me/100 g tanah)	<0,1	0,1-0,3	0,4-0,5	0,6-1,0	>1
K (me/100 g tanah)	<0,1	0,1-0,3	0,4-0,7	0,8-1,0	>1
Na (me/100 g tanah)	<20	20-40	41-60	61-80	>80
Kejenuhan Basa (%)	<5	5-10	10-20	20-40	>40
Kejenuhan Al (%)	<5	5-10	11-20	20-40	>40
Cadangan Mineral (%)	<1	1-2	2-3	3-4	>4

(Rochayati, 2018)

### 2.3 Logam Berat

Logam berat merupakan istilah yang diperuntukkan bagi unsur-unsur transisi dengan massa jenis atom  $> 6 \text{ g/cm}^3$  (Widaningrum, 2007). Berdasarkan konteks ilmu kimia logam berat didefinisikan untuk logam transisi dengan berat jenis  $> 5 \text{ g/cm}^3$  dan nomor atom  $> 20$ . Menurut kacamata biologi, logam berat dimaknai sebagai unsur logam yang dapat bersifat racun baik bagi tanaman maupun hewan. Tanaman yang terpapar oleh logam berat dalam tingkat beracun akan menyebabkan berbagai perubahan fisiologis dan metabolisme. Selain itu, tanaman juga memiliki kemampuan yang sama dalam menyerap logam esensial maupun non esensial di dalam tanah (Handayanto, 2017). Logam berat menjadi golongan zat pencemar karena sifatnya yang tidak dapat terurai (*non degradable*) dan sulit diabsorpsi. Penambahan polutan logam berat ke tanah tentu akan merugikan tanaman yang tumbuh di atasnya dan organisme-organisme dalam tanah. Komponen polutan dengan komponen asli dari tanah melakukan transfer energi antar populasi dalam komunitas tanah yang ditandai dengan adanya suatu

interaksi positif maupun negatif di dalamnya. Pengaruh keberadaan logam berat akhirnya akan sampai pada tingkatan rantai makanan tertinggi yakni manusia maupun hewan (Sarie, 2019).

Liu & Bomke (2004) membagi sifat pencemaran logam berat menjadi tiga jenis, yakni sifat toksik tinggi yang terdiri dari unsur-unsur logam seperti Tembaga (Cu), Timbal (Pb), Seng (Zn) dan Kadmium (Cd), sifat toksik sedang antara lain Alumunium (Al), Nikel (Ni), Cobalt (Co), dan Crome (Cr), sedangkan yang bersifat toksik rendah adalah unsur Besi (Fe) dan Mangan (Mn). Karamina (2018) menyatakan bahwa logam berat yang mencemari tanah secara terus menerus akan menjadikan kondisi di dalam tanah menjadi tidak seimbang yang kemudian terserap oleh akar dan akan berlanjut terdistribusi ke bagian tanaman atasnya seperti batang dan daun jika pertahanan akar telah melemah.

Arisusanti (2013) & Jarup (2003) menjelaskan bahwa akar tanaman akan menyerap logam berat dalam bentuk ion-ion yang larut dalam air seperti unsur hara yang ikut masuk bersama aliran air. Logam berat yang telah masuk ke dalam jaringan tumbuhan selanjutnya akan mempengaruhi keseimbangan hormon akar dan mempengaruhi morfogenesis, juga jumlah sel dalam jaringan tersebut. Karmina (2007) menambahkan bahwa logam berat juga dapat mencemari tanah dengan meracuni proses biologi meliputi berbagai proses yang dikatalis oleh mikroba tanah. Menurut Prijambada (2014), perubahan pH pada lingkungan mikro tanah, kelarutan dan mobilitas organik tanah, serta ketersediaan logam bagi tumbuhan melalui spesiasi logam, dan ekskresi senyawa pengkhelet logam ternyata juga ditentukan oleh keberadaan mikroba dalam tanah.

Widaningrum (2007) menjelaskan bahwa kandungan logam berat dalam tanah akan mempengaruhi kandungan logam berat pada tanaman yang tumbuh di atasnya, kecuali terjadi interaksi yang menjadikan penyerapan logam berat terhambat untuk masuk ke jaringan tanaman. Akumulasi logam berat dalam tanaman juga bergantung pada pH tanah, jenis logam berat, unsur kimia tanah, dan spesies tanaman yang sensitif terhadap logam berat tertentu. Logam berat dapat menjerap masuk ke dalam tanah akibat dari penggunaan bahan kimia yang mengenai tanah secara langsung, hujan atau pengendapan, penimbunan debu, pengikisan tanah dan limbah buangan. Logam berat yang terakumulasi secara berlebihan di dalam tanah akan menyebabkan turunnya kualitas dan keamanan pangan nabati akibat kadar logam berat yang tinggi di dalamnya.

Ratnawulan (2019) menambahkan bahwa melalui rantai makanan, pernapasan, dan penetrasi kulit dapat menyebabkan masuknya logam berat ke dalam tubuh manusia. Menurut Tanti, dkk. (2017) logam berat yang masuk ke dalam tubuh manusia dan tetap tinggal dalam jangka waktu lama akan terakumulasi dan melakukan interaksi dengan enzim, protein, DNA dan metabolit lainnya yang berdampak buruk terhadap tubuh jika dalam konsentrasi yang berlebih.

#### **2.4 Alumunium (Al)**

Menurut Pasley (2003) & Tsakiridis (2012), alumunium merupakan unsur ketiga yang paling melimpah di kerak bumi setelah oksigen dan silikon. Alumunium menyumbang sekitar 8% (berat) dari kerak bumi. Alumunium telah menjadi logam industri yang relatif baru yang telah diproduksi dalam jumlah komersial selama lebih dari 100 tahun. Industri produksi alumunium juga

menghasilkan hasil samping yang disebut dross alumunium dengan kandungan sejumlah besar logam yang dapat diperoleh kembali (hingga sekitar 20-70%).

#### **2.4.1 Dross Alumunium**

Dross merupakan campuran heterogen dari gumpalan besar, oksida halus dan potongan kecil logam. Dross alumunium berasal dari kombinasi logam bebas dan zat non logam (misalnya alumunium oksida dan garam), alumunium nitride dan karbida juga mungkin ada, serta logam yang berasal dari bahan cair. Dross alumunium harus disimpan di lingkungan kering karena reaksi karbida atau nitride alumunium dan kalsium dapat membentuk asetilen dan amonia yang bersifat racun bagi lingkungan. Dross dapat dipisahkan menjadi “dross putih” yang berasal dari peleburan primer tanpa campuran garam dan “dross hitam” yang berasal dari peleburan sekunder. Dross putih mengandung 20-45% logam alumunium yang dapat diperoleh kembali dari hasil skimming alumunium cair. Berbeda dengan dross putih, dross hitam biasanya hanya mengandung logam alumunium sebanyak 10-20%, campuran garam fluks sebanyak 40-55%, dan alumunium oksida sebanyak 20-50% (Hwang, 2006 & Nakajima, 2007).

#### **2.4.2 Abu Slag Alumunium**

Limbah slag merupakan hasil samping dari proses peleburan dross atau padatan alumunium yang diolah kembali di dalam tungku pembakaran akibat tidak mencapai titik didih. Limbah slag masih tergolong dalam B3 kategori bahaya 2 dalam PP 101 tahun 2014 kode B313-2 dari kegiatan industri peleburan alumunium. Abu slag memiliki ukuran bervariasi antara 10-55  $\mu\text{m}$  dengan berat jenis sebesar 3,96  $\text{gram/cm}^3$  yang berwarna abu-abu gelap (Gambar 2.3). Abu slag

aluminium memiliki bau menyengat layaknya bau logam berbentuk seperti pasir namun mudah terbang terbawa angin (Saraswati & Razif, 2020).

Hasil penelitian Saraswati & Razif (2020) menyatakan bahwa slag aluminium sebagian besar terdiri dari  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Na_2O$ ,  $Fe_2O_3$  dan senyawa lainnya. Hasil analisis karakteristik kimia slag aluminium menunjukkan bahwa Al menjadi logam dengan kandungan tertinggi yaitu sebesar 25,5%, karena sampel yang diuji merupakan limbah dari pembakaran aluminium dan diikuti dengan unsur Mg sebanyak 6.69%, Si sebanyak 3.4%, Fe sebanyak 1.58% dan C sebanyak 3.6%.



(Reddy, 2016)



(Dokumentasi Pribadi, 2021)

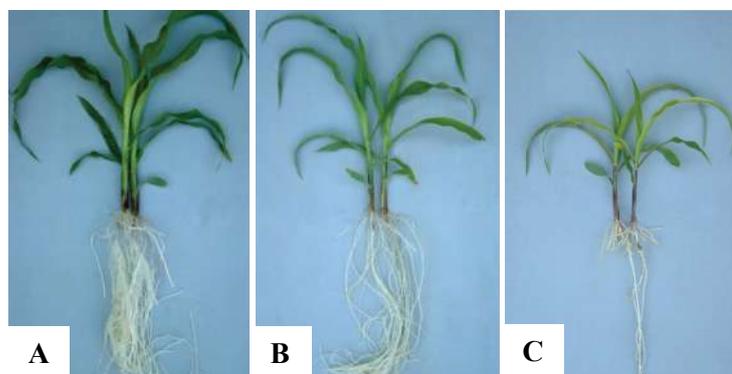
**Gambar 2.4.2. Abu slag aluminium**

## **2.5 Pengaruh Logam Berat Aluminium terhadap Pertumbuhan Tanaman**

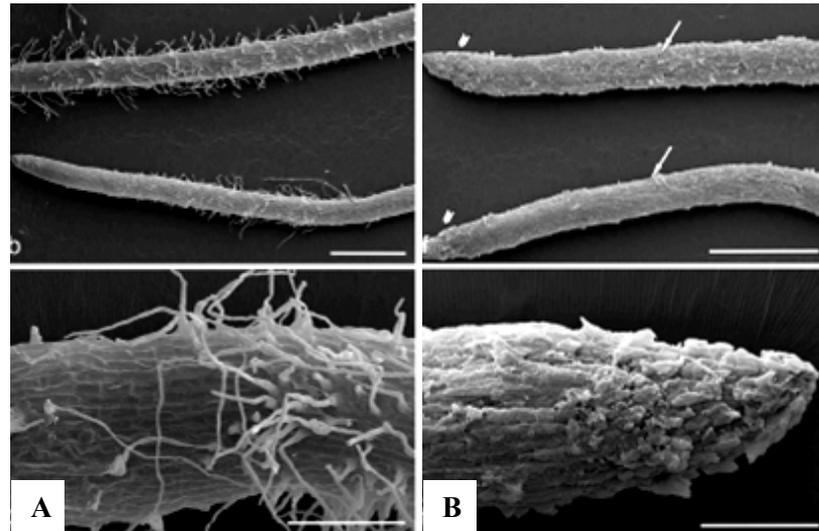
Ion-ion logam berat yang masuk dalam tumbuhan dengan konsentrasi tinggi akan memicu suatu respon fisiologis berupa pembentukan protein stress (*phytochelatins*), perubahan aktivitas enzimatis dan penurunan laju transpirasi (Hidayati, 2013). Setiadi (2015) & Silva, *et al.*, (2020) menyatakan bahwa aluminium merupakan salah satu golongan unsur yang bersifat toksik bagi tanaman serta membahayakan proses morfo-fisiologi dan biokimia, sehingga menghambat perkembangan tanaman.

### 2.5.1 Respon Morfologi Tanaman terhadap Cekaman Alumunium

Akar merupakan bagian organ tanaman yang sangat penting peranannya. Akar memiliki tugas mengangkut air dan hara mineral dari media tanam untuk disalurkan ke bagian tajuk tanaman, maka akar menjadi organ tanaman yang paling rentan terhadap suatu cekaman lingkungan (Fenta, *et al.*, 2014). Keberadaan Al di dalam tanah dengan jumlah berlebih dapat menyebabkan kerusakan akar, sehingga akan menghambat penyerapan air dan mineral yang dibutuhkan tanaman. Kandungan Al  $>3$  me/100gr akan menyebabkan akar mengalami *root curling*. Hal tersebut terjadi karena keberadaan Al di dalam tanah yang diserap oleh akar akan bekerja menghambat pembelahan sel pada akar, menyebabkan penghambatan pemanjangan batang utama, penebalan pada bagian ujung akar, pengurangan jumlah akar lateral, dan menguningnya akar (Gambar 2.5.1.1.). Perubahan drastis pada morfologi akar akibat toksisitas Al pada umumnya dilihat dari kondisi akar yang bengkok, melengkung dan juga rambut akar yang mati atau tidak tumbuh (Gambar 2.5.1.2.). Akibatnya, penyerapan hara mineral dan air juga ikut terganggu (Lux, 2004; Setiadi, 2015; Steiner, *et al.*, 2015 & Batista, *et al.*, 2013).



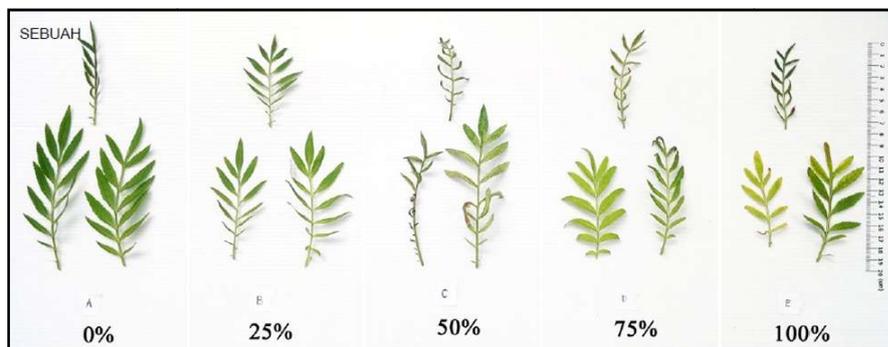
**Gambar 2.5.1.1. Sistem perakaran tanaman jagung yang kurang berkembang akibat keracunan larutan Al. A. Kontrol, B. 75  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Al, C. 300  $\mu\text{mol L}^{-1}$  Al (Batista, *et al.*, 2013)**



**Gambar 2.5.1.2. Pengamatan ujung akar *Urochloa brizantha* kultivar Xaraés di bawah miroskop elektron.** A. Tanpa Al terdapat rambut akar pada ujung akar, B. 100 µm Al tidak terdapat rambut akar (Furlan, *et al.*, 2018)

Gejala morfologi tanaman akibat stres yang diinduksi Al pada daun secara langsung berkaitan dengan kondisi akar yang rusak sehingga terbatas dalam melakukan penyerapan nutrisi dan hara mineral dalam tanah. Respon morfologi pada daun mirip dengan defisiensi fosfor, yakni berupa kerdil pada daun, perubahan warna ungu pada batang, daun, dan urat daun diikuti oleh ujung daun yang menguning dan mati (Gambar 2.5.1.3.) (Raman, *et al.*, 2006), dan yang menyerupai kekurangan kalsium dapat berupa daun muda yang menggulung atau berguling dan titik tumbuh atau tangkai daun mati (Roy, *et al.*, 1988). Indikasi lain yang terlihat dari keracunan Al adalah munculnya bintik-bintik nekrotik kecil di tepi daun muda dan klorosis di tepi dan tengah daun tua. Daun muda akan tampak lebih kecil dan berliku (Steiner, 2012 & Steiner, *et al.*, 2015). Menurut Mukti & Maryani (2020), klorosis dan nekrosis kemungkinan besar berkaitan dengan defisiensi magnesium yang merupakan unsur penyusun utama klorofil.

Namun, Steiner, *et al.* (2015) menginformasikan bahwa jumlah akumulasi Al terbanyak berada pada bagian akar dibandingkan pada daun atau pucuk.



**Gambar 2.5.1.3. Morfologi daun tanaman marigold (*Tagetes erecta* L.) setelah 25 hari pengolahan air limbah batik (mengandung Al) dengan konsentrasi berbeda (Mukti & Mariyani, 2020)**

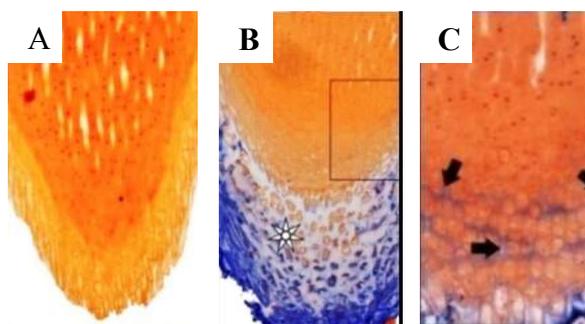
## **2.5.2 Respon Kadar Klorofil Total Daun Tanaman terhadap Cekaman Alumunium**

Keterbatasan pertumbuhan tanaman akibat stres logam berat Al dapat menyebabkan defisiensi unsur hara, akibatnya beberapa proses fisiologi tidak dapat bekerja secara maksimal. Menurut Sopandie (2013) tingkat penghambatan pertumbuhan akar menjadi salah satu parameter yang baik dalam membedakan resistansi berbagai genotipe terhadap toksisitas Al, karena akar merupakan target dari toksisitas Al. Hal tersebut dijelaskan oleh Arisusanti (2012) bahwa ion alumunium akan tertimbun pada bagian permukaan akar dan bagian luar membran plasma kemudian mempengaruhi metabolisme dari komponen-komponen dinding sel (hemiselulosa dan asam ferulik). Terjerapnya ion Al dalam akar selanjutnya akan menghambat unsur hara esensial untuk diserap oleh tumbuhan, dengan begitu aktivitas terpenting seperti fotosintesis ikut terganggu dan secara tidak langsung pigmen klorofil juga terpengaruh. Dampak tersebut dilaporkan oleh

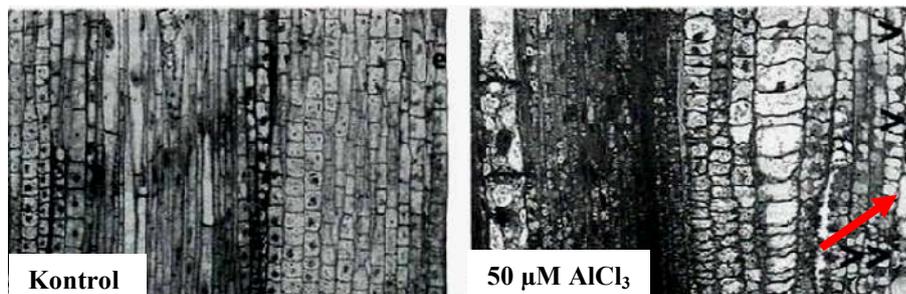
Karimaei (2016) bahwa jumlah klorofil total tanaman bayam dari perlakuan 100 dan 200  $\mu\text{M}$   $\text{AlCl}_3$  secara signifikan menurun.

### 2.5.3 Respon Anatomi Tanaman terhadap Cekaman Alumunium

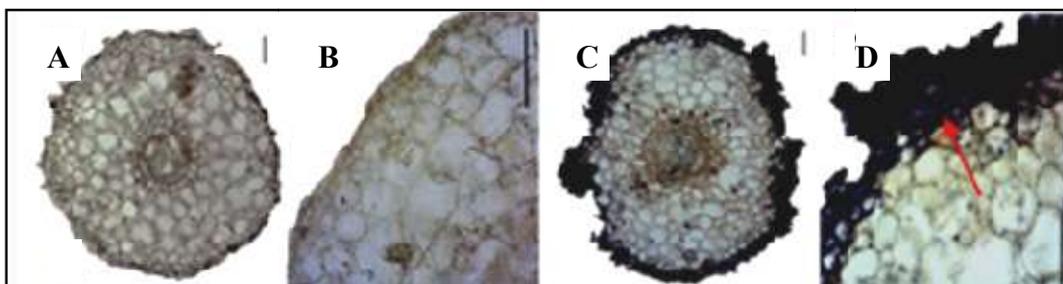
Secara anatomi tanaman yang terinfeksi Al dalam jumlah tinggi akan merespon dengan dibentuknya lapisan yang menutupi epidermis di ujung akar tanaman (Kopittke *et al.* 2021 & Furlan, 2018). Akumulasi Al secara terus menerus akan menghambat perpanjangan akar akibat terjadi penebalan dinding sel (Gambar 2.5.3.1.) dan akumulasi gelembung (vakuola) kecil di sekitar aparatus golgi (Gambar 2.5.3.2.), sehingga akar akan terlihat lebih pendek dan tebal. Tingginya konsentrasi Al juga akan menyebabkan kerusakan epidermis dan *outer* korteks yang diikuti dengan matinya sel (Firmansyah, 2010). Alumunium mengganggu pembelahan sel dan pemanjangan sel di ujung akar dan zona pemanjangan, sehingga mengganggu pemanjangan akar pada tanaman (Pidjath, *et al.*, 2021). Akar menjadi retak, berwarna lebih coklat atau gelap (Gambar 2.5.3.3.); bercabang dan rambut akar berkurang hingga ujung melengkung, yang mengurangi serapan air dan hara, (Vardar & Ünal, 2007; Azura *et al.* 2011).



**Gambar 2.5.3.1. Histolokalisasi ujung akar kedelai Al dengan pewarna Chrome Azurol S sebagai respon logam Al. A. Kontrol, B. Perlakuan Al 100  $\mu\text{m}$ . C. Perbesaran ujung akar. Pewarnaan biru menunjukkan reaksi positif dengan pewarna Chrome Azurol S. Panah hitam menunjukkan akumulasi Al di dinding sel kaliptra/tudung akar. (Silva, *et al.*, 2020).**



**Gambar 2.5.3.2. Peningkatan vakuolasi sel akar primer jagung terhadap 50  $\mu\text{M}$   $\text{AlCl}_3$  dalam 0.1 mM  $\text{CaCl}_2$  selama 24 jam.** khususnya di daerah apikal akar primer. Sel-sel epidermis dan kortikal sebagian besar lebih pendek dan lebar dibandingkan dengan sel-sel epidermis kontrol (Ciamporova, 2002)



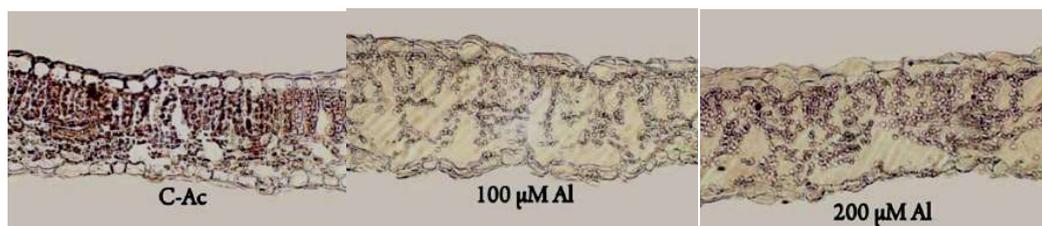
**Gambar 2.5.3.3. Penampang epidermis akar tanaman *Calliandra calothyrsus* dalam merespon logam Al.** A. Kontrol perbesaran 100x. B. Kontrol perbesaran 400x. C. 4 mM Al perbesaran 100x . D. Perbesaran 400x. (Pidjath, *et al.*, 2021)

Aluminium menghambat pengambilan magnesium di dalam akar dengan memblokir transportasi membran dan enzim situs pengikatan logam (Pandey *et al.*, 2013). Akibatnya terdapat bercak nekrotik pada daun terutama disebabkan oleh terganggunya proses fisiologis seperti penurunan metabolisme karbon, penurunan klorofil, dan penurunan fiksasi karbon (Guo, *et al.*, 2016). Bennet dan Breen (1993) dalam hipotesis penelitiannya menyatakan urutan stimulus toksisitas Al pada tanaman ialah dari tanggapan oleh sel tudung akar, transduksi sinyal, dan respon fisiologi dalam meristem akar. Bagian yang memungkinkan mengalami dampak dari toksisitas Al adalah dinding sel (apoplas), membran plasma atau di sitoplasma (simplas).

Ciamporova (2002), dalam penelitiannya menegaskan bahwa konsentrasi Al yang tinggi mampu menginduksi pembentukan retakan pada permukaan akar yang dihasilkan dari disintegrasi dan kematian sel-sel epidermis, hipodermis, dan lapisan kortikal. Cidera permukaan akar terbatas pada daerah apikal antara 0,5 mm dari ujung (tudung akar) hingga 15 mm, sedangkan daerah yang menebal secara lokal yakni antara 15-20 mm dari pucuk akar. Bagian vesikel banyak menunjukkan pengendapan bahan polisakarida ke dalam dinding sel melalui eksositosis ekstrim dalam sel epidermis dan kortikal akar kedelai yang diberi perlakuan Al. Sintesis dan akumulasi callose merupakan respon cepat tanaman dalam menghadapi toksisitas Al. Endapan gelap di dinding sel meristem akar jagung dianalisis akibat adanya Al bersama dengan unsur lain seperti P, S, Ca, Zn, dan Mg setelah 4 jam.

Respon sel tumbuhan dalam menghadapi cekaman akan berbeda-beda, tergantung pada tahap perkembangan dan jenis jaringannya. Degenerasi struktur sel mungkin dapat merusak sel-sel suatu tanaman atau bahkan tidak berpengaruh sama sekali. Ozygit (2013) memaparkan hasil dari penelitian pengamatan anatomi daun tanaman kapas yang diberi perlakuan  $AlCl_3$  dengan konsentrasi 100 dan 200  $\mu M$  bahwa ukuran sel palisade dan bunga karang menurun karena pH tanah 4.5 menjadi asam. Adanya pengurangan ketebalan parenkim spons turut menjadikan ketebalan lamina berkurang. Dampak anatomi perlakuan konsentrasi 100  $\mu M$   $AlCl_3$  mengakibatkan ketebalan epidermis adaksial menurun, sedangkan pada konsentrasi 200  $\mu M$   $AlCl_3$  ketebalan epidermis menjadi meningkat namun strukturnya tidak teratur. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa pada kedua konsentrasi, ketebalan epidermis abaksial sama-sama berkurang dibandingkan

dengan kontrol (Gambar 2.5.3.4). Ozygit (2013) juga menambahkan bahwa terjadi penambahan jumlah stomata dari kedua sisi epidermis tanaman perlakuan, namun sebaliknya untuk jumlah pembukaan stomata Vardar & Meral (2007) beserta Pidjath, *et al.*, (2021) menuturkan bahwa akibat rusaknya kloroplas dan tilakoid, pembukaan stomata dan aktivitas fotosintesis menjadi turun.



**Gambar 2.5.3.4. Ketebalan epidermis daun kapas dengan perlakuan  $\text{AlCl}_3$**  (Ozygit, 2013)

## 2.6 Gejala Defisiensi Unsur Hara

Unsur hara merupakan komponen penting yang memiliki peran besar dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Keberadaan unsur hara di dalam tanah dengan konsentrasi rendah akan mengganggu proses fisiologi dan morfologi tanaman serta menimbulkan gejala defisiensi, karena unsur hara menjadi faktor yang mutlak dibutuhkan oleh tanaman untuk menunjang daur hidupnya mulai dari fase vegetatif hingga fase generatif (Tim Penyusun, 2007). Rajiman (2020) mengartikan gejala defisiensi sebagai penampakan fisik tanaman yang disebabkan terganggunya metabolisme akibat jumlah unsur hara yang tidak terpenuhi. Gejala defisiensi dapat terlihat pada daun, batang, cabang, buah bahkan pada seluruh bagian tumbuhan, tergantung pada jenis unsur yang terganggu. Tabel 2.6. merupakan tabel unsur hara makro beserta gejala kekurangannya pada tanaman.

**Tabel 2.6. Fungsi unsur hara makro dan gejala kekurangannya**

Unsur Hara	Fungsi	Gejala Kekurangan	Gejala Defisiensi
Nitrogen (N)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memperbaiki perbaikan vegetasi tanaman</li> <li>• Membantu pembentukan klorofil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daun menguning dan jaringan tanaman mengering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proses pembungaan berjalan lambat</li> </ul>
Fosfor (P)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Berperan dalam pembelahan sel tanaman</li> <li>• Mempercepat proses pembentukan bunga</li> <li>• Memperkuat batang tanaman tahan penyakit</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daun mengalami perubahan warna menjadi kemerah-merahan</li> <li>• Buah kecil dan cepat matang</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pertumbuhan tanaman menjadi terhambat</li> </ul>
Kalium (K)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Membantu transportasi hasil fotosintesis</li> <li>• Merangsang perkembangan akar dan bunga</li> <li>• Meningkatkan daya tahan terhadap kekeringan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Daun menjadi keriting dan tampak bercak-bercak merah</li> <li>• Menyebabkan daun mati</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Akar sulit menyerap N karena terlalu banyak diikat oleh P</li> </ul>
Kalsium (Ca)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merangsang pertumbuhan akar dan batang</li> <li>• Menetralkan keasaman media tanam</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klorosis pada daun muda</li> <li>• Mati kuncup</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pada musim kemarau, tanaman sering mengalami dehidrasi</li> </ul>
Magnesium (Mg)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Membantu pembentukan klorofil</li> <li>• Membantu penyerapan unsur P</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Klorosis pada daun tua</li> <li>• Tampak bercak-bercak cokelat di daun</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kekurangan Mg dalam jumlah banyak akan menyebabkan keracunan</li> </ul>

(Tim Penyusun, 2007)

## 2.7 Tanaman Pepaya (*Carica papaya* L.)

Tanaman pepaya (*Carica papaya*) merupakan salah satu tanaman buah asal Amerika Tengah dari famili Caricaceae. Tanaman pepaya dapat tumbuh baik dalam iklim tropis maupun sub tropis, sehingga tanaman pepaya dibudidayakan hampir di seluruh bagian dunia (Saran & Ravish, 2019 & Febjislami, 2018).

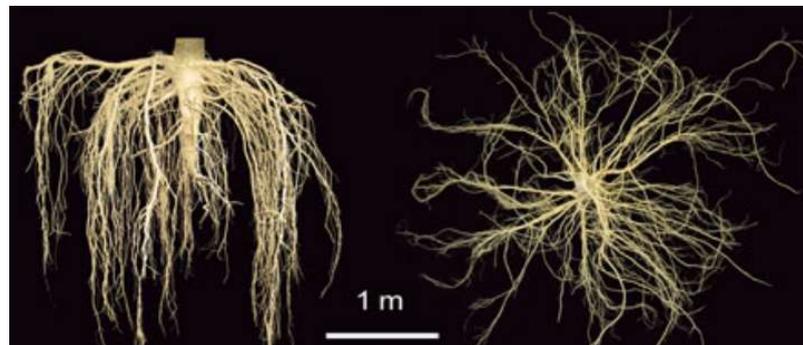
Indonesia adalah salah satu negara tropis dengan hampir semua daerahnya dapat ditumbuhi tanaman pepaya, oleh karena itu berbagai jenis atau varietas, baik secara bentuk maupun rasa buah pepaya dapat ditemui di Indonesia (Sujiprihati & Ketty, 2009), seperti pepaya california, pepaya bangkok, pepaya hawaii, pepaya gunung, pepaya cibinong, dan masih banyak lagi lainnya (Kurnia, 2018). BPS (2019) mencatat bahwa kenaikan jumlah produksi buah pepaya di Indonesia selalu mengalami peningkatan per tahunnya. Febjislami (2018), menyebutkan bahwa hal tersebut juga didukung oleh karakter tanaman pepaya yang tidak tergolong dalam tanaman musiman, sehingga dapat dipanen setiap saat. Selain itu, Hamzah (2014) & Kurnia (2018) menegaskan bahwa pemanfaatan tanaman pepaya tidak hanya pada buahnya saja, namun daun bunga dan bijinya juga dapat dimanfaatkan sebagai sayuran maupun obat herbal dan kebutuhan lainnya.

### **2.7.1 Morfologi Tanaman Pepaya (*Carica papaya* L.)**

#### **1. Akar**

Hamzah (2014) mendeskripsikan akar pepaya memiliki sistem perakaran tunggang, terdiri dari satu atau dua akar primer dengan panjang mencapai 0.5-1 m, pada bagian atas muncul akar sekunder dan bercabang secara mendatar tumbuh ke semua arah mencapai kedalaman 50 cm atau bahkan sampai 60-150 cm dari pusat perakaran (Gambar 2.7.1.1.). Menurut Jimenez (2019), akar yang sehat berwarna krem keputihan dan tidak terdapat latisifer (sel penghasil lateks). Mengenai ukuran, jumlah dan distribusi akar bergantung pada profil tanah yang ditumbuhi. Akar muda menunjukkan epidermis, korteks dan endodermis yang terdiferensiasi dengan baik. Tanah gembur akan menunjang pertumbuhan akar secara optimal

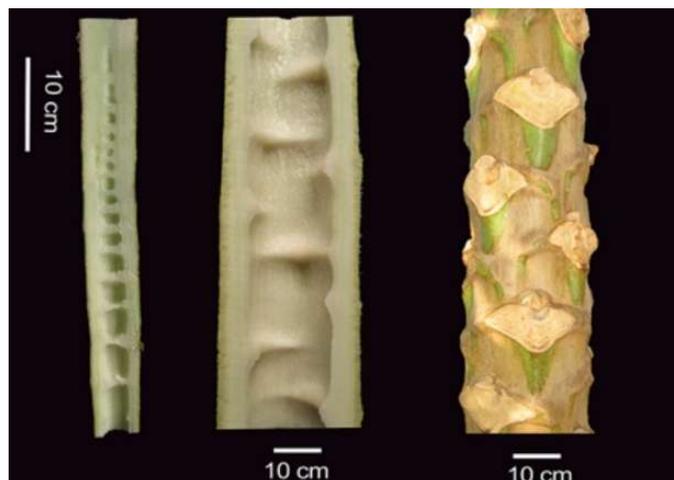
dan juga ketersediaan air dalam tanah yang tidak kekurangan maupun kelebihan saat musim kemarau dan musim hujan.



**Gambar 2.7.1.1. Akar tanaman Pepaya (*Carica papaya* L.)**  
(Jimenez & Marco, 2014)

## 2. Batang

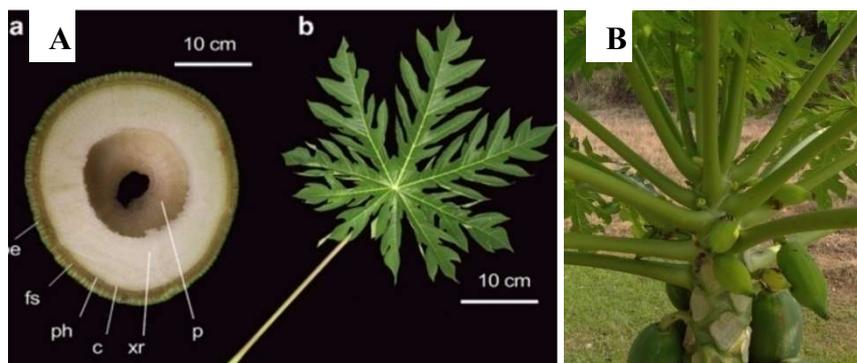
Batang pepaya termasuk dalam golongan herba semi-kayu, lurus, tunggal dan berbentuk silindris dengan rongga di bagian tengah serta memiliki bekas daun yang menonjol (Gambar 2.7.1.2.). Tanaman pepaya menunjukkan dominasi apikal yang kuat dan umumnya tidak bercabang kecuali meristem apikalnya dihilangkan atau ditebang. Selama satu tahun pertama, tanaman pepaya mampu tumbuh dengan cepat mencapai 1-3 m dan terus tumbuh hingga 10 m (Silva, *et al.*, 2007 ; Jimenez & Marco, 2014). Diameter batang dewasa bervariasi mulai dari 10 – 30 cm di pangkal sampai 5-10 cm di tajuk. Ruas bawah kompak dan lebih lebar karena berfungsi untuk menopang seluruh berat tanaman. Seiring berjalannya waktu, batang muda akan menebal, serat bagian luar menghasilkan kolenkim, meninggalkan ruang lebar yang selanjutnya ditempati oleh parenkim periderm, sehingga kekakuan bergeser ke lapisan dalam dan melakukan ekspansi batang (Jimenez & Marco, 2014).



**Gambar 2.7.1.2. Batang tanaman Pepaya (*Carica papaya* L.)**  
(Jimenez & Marco, 2014)

### 3. Daun

Daun pepaya merupakan daun tunggal berbentuk menjari lima sampai sembilan lobus menyirip dengan lebar sekitar 40-60 cm, tersusun dalam pola spiral dan tumbuh mengumpul di ujung batang. Bilah daun berbentuk bifasial dan memiliki panjang 30-105 cm, tangkai berongga dengan arah pertumbuhan horizontal (Gambar 2.7.1.3.). Jaringan epidermis dan parenkim palisade tersusun oleh satu lapisan sel, sedangkan jaringan mesofil spons tersusun atas empat hingga enam lapisan sel. Daun pepaya hanya memiliki stomata pada bagian permukaan bawah (hipostomatik) dengan anomositik atau anisositik. Daun yang diterangi sinar matahari akan memiliki kepadatan stomata  $\pm 400/\text{mm}^2$  dan dapat beradaptasi pada kondisi lingkungan baik cahaya, air, dan panas (Jimenez & Marco, 2014; Ming, 2008). Menurut Ming (2008), tanaman pepaya menghasilkan dua hingga empat daun per minggu yang tumbuh bergantian secara spiral di pucuk batang. Tanaman dewasa yang sehat akan memiliki 15-30 daun yang tumbuh terbatas pada 2 meter bagian ujung batang.



**Gambar 2.7.1.3. Daun tanaman Pepaya (*Carica papaya* L.)** A. Setangkai daun pepaya. B. Susunan spiral (Jimenez & Marco, 2014)

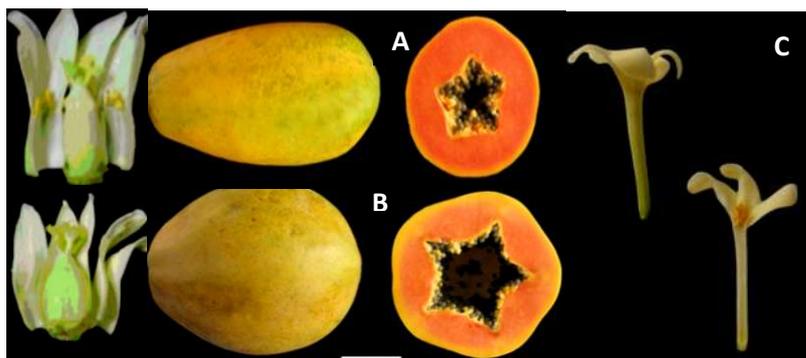
#### 4. Bunga dan Buah

Bunga pepaya merupakan aktinomorfik yang muncul pada ketiak daun. Tanaman pepaya memiliki tiga jenis kelamin bunga, yakni bunga jantan, betina dan hermaphrodit. Tanaman pepaya memiliki tiga jenis kelamin bunga, yakni bunga jantan, betina dan hermaphrodit. Tanaman betina dan hermaphrodit dapat menghasilkan bunga sebanyak 2-15. Tanaman jantan menghasilkan pembungaan yang panjang berisi puluhan sampai ratusan bunga. (Jimenez & Marco, 2014). Bunga hermaphrodit terdiri atas lima kelopak bunga berwarna putih kekuningan, lima pasang kepala sari, dan satu ovarium. Kelopaknya menyatu pada bagian bawah membentuk tabung corolla dan bagian atas kelopak terbuka bebas dan sedikit bengkok. Buah yang terbentuk dari bunga hermaphrodit akan berbentuk lonjong dan daging tebal (Gambar 2.7.2.4.) (Storey, 1953 & Hamzah, 2014).

Bunga betina juga memiliki lima kelopak bebas dan hanya memiliki putik atau bakal buah. Buah yang akan dihasilkan ialah buah dengan bentuk bulat dan daging cenderung tipis. Berbeda dengan bunga hermaphrodit dan jantan yang bersifat ambivalen (mengalami pembalikan jenis kelamin atas perubahan musiman), bunga betina bersifat stabil terhadap fluktuasi lingkungan, sehingga

bunganya tidak mengalami pembalikan kelamin (Gambar 2.7.2.4.) (Storey, 1976; Hamzah, 2014).

Bunga jantan tergolong dalam bunga majemuk bertangkai panjang dengan bentuk tabung dan saling melekat bagian bawahnya. Bunga jantan yang mekar juga terdiri atas lima helai kelopak, namun bunga jantan tidak dapat menghasilkan buah karena hanya memiliki benang sari (Gambar 2.7.2.4.) (Storey, 1953; Hamzah, 2014). Hal tersebut dikuatkan dengan pernyataan Kalie (2008) bahwa bunga jantan hanya berfungsi sebagai penyerbuk bunga betina. Bunga pepaya banyak diproduksi pada ujung batang dan mekar antara pukul 7 dan 9 pagi.



**Gambar 2.7.1.4. Bunga dan buah tanaman Pepaya (*Carica papaya* L.)**  
A. Hermaprodit. B. Betina. C. Jantan (Jimenez & Marco, 2014)

### 2.7.2 Syarat Tumbuh Tanaman Pepaya (*Carica papaya* L.)

Pepaya merupakan tanaman yang telah lama menjadi tanaman penting bagi masyarakat di daerah tropis karena dapat berbuah sepanjang tahun. Lingkungan yang mendukung dapat menghasilkan buah matang dari tanaman pepaya sekitar umur satu tahun (Storey, 1953), hal tersebut juga dikuatkan oleh pernyataan Office of The Gene Technology (2008), bahwa tanaman pepaya dapat menghasilkan buah dengan baik selama dua tahun, setelahnya tingkat

produktivitasnya akan menurun. Silva *et al.*, (2007) & Sujiprihati (2009) menuturkan bahwa pepaya tumbuh paling baik pada tanah yang kaya organik, dengan kondisi kandungan air yang sedang. Suhu lingkungan yang ideal yakni sekitar 25-30°C. Suhu di bawah 16°C atau di atas 36°C akan memperlambat pertumbuhan tanaman pepaya. Office of The Gene Technology (2008) menyatakan bahwa tanaman pepaya dianggap relatif tahan terhadap cekaman kekeringan. Tanaman pepaya akan merespon defisit air dengan menginduksi absisi daun, akibatnya laju fotosintesis menurun namun tanaman akan meningkatkan zat terlarut mineral seperti Na, K, dan Cl yang berperan pada penyesuaian osmotik.

Nilai pH tanah yang paling baik yakni 6-6,5. Nilai pH di bawah 5,5 dapat diatasi dengan pemberian kalsium karbonat, sedangkan jika nilai pH berada di atas 8,0 dapat diperbaiki dengan pemberian belerang atau sulfur (S) (Saran & Ravish, 2019). Office of The Gene Technology (2008), menambahkan bahwa beberapa tingkat nutrisi tanah yang direkomendasikan untuk budidaya tanaman pepaya yakni P > 30 mg/kg, K > 3.0 me/100 g, Mg > 1.0 me/100 g. Selain itu, menurut Joseph (2008), tanah liat yang berat atau tanah dengan salinitas tinggi sebaiknya dihindari. Jumlah air yang tersedia dalam tanah juga dapat mempengaruhi kualitas buah. Kelembaban tanah yang tinggi akan menghasilkan buah berukuran besar namun daging lembek, sedangkan tanah kering akan menghasilkan buah berdaging keras atau padat saat masak dan berukuran kecil.

Buisson & David (1993) menyatakan bahwa tanaman pepaya tergolong dalam tanaman yang menyukai sinar matahari. Hal tersebut dibenarkan oleh Silva *et al.*, (200) bahwa buah terbaik berkembang di bawah sinar matahari penuh

dalam 4-5 hari terakhir hingga matang sepenuhnya. Sujiprihati & Ketty (2009) menyebutkan bahwa ketinggian yang optimum untuk pertumbuhan tanaman pepaya berkisar antara 200-500 mdpl dengan curah hujan sekitar 1.000-2.000 mm/tahun. Ketinggian melebihi 500 mdpl akan menghambat pertumbuhan dan menghasilkan buah yang kurang manis, selain itu tanaman pepaya akan rentan terserang penyakit karena kelembapan udara yang tinggi.

## **BAB III METODE PENELITIAN**

### **3.1 Rancangan Penelitian**

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kualitatif dengan menggunakan metode survei dan analisis di laboratorium. Sampel tanaman dan tanah pada masing-masing titik sampling diambil kemudian dilakukan pengamatan morfologi, anatomi akar maupun daun serta kadar klorofil total daun tanaman terdampak serta pengujian kimia tanah di laboratorium. Objek penelitian tanaman pepaya yang digunakan sebanyak 2 tanaman yang tumbuh tepat di atas abu slag alumunium dan 1 tanaman diambil dari lahan bebas limbah dan cemaran sebagai tanaman kontrol, masing-masing sampel uji diambil sebanyak 3 sampel. Pengambilan sampel tanah dan sampel tanaman menggunakan metode *purposive sampling*. Bersamaan dengan pengambilan sampel tanah, dilakukan pengamatan morfologi akar dan daun.

### **3.2 Waktu dan Tempat**

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli hingga September 2021. Pengambilan sampel tanah dan pengamatan morfologi tanaman pepaya dilaksanakan di Desa Budugsidorejo Kecamatan Sumobito Kabupaten Jombang khususnya di kawasan pematang sawah yang menjadi tempat penimbunan abu slag alumunium dengan luas wilayah  $\pm 200$  m x 50 m (Gambar 3.2.), sedangkan untuk pengamatan anatomi dan uji kadar klorofil total dilakukan di Laboratorium Fisiologi Tumbuhan dan Laboratorium Fisiologi Hewan Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pengujian kimia tanah dianalisis di Laboratorium UPT Pengembangan Agribisnis Tanaman Pangan dan Hortikultura Bedali, Lawang.



**Gambar 3.2.** Peta lokasi penelitian (Google earth, 2021)

### 3.3 Alat dan Bahan

#### 3.3.1 Alat

Beberapa alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah plastik sampel, label, penggaris, cetok, pisau, tisu, pH meter, timbangan analitik, botol vial 5 ml dan 20 ml, *object & cover glass*, pipet tetes, alu & mortar, silet gillet, jarum pentul, *hand mikrotom* botol kocok 50 ml & 100 ml, tabung reaksi, erlenmeyer 100 ml bertera, gelas ukur, *digestion tube & block digestion*, labu didih 250 ml, buret 10 ml, labu semprot 500 ml, mikropipet ukuran 100-1000  $\mu$ l, tabung *ependorf* ukuran 2 ml, blue tip ukuran 1000  $\mu$ l, vortex, pengaduk magnetik, cuvet ukuran 1,5 ml, mesin pengocok, kertas saring W 91, pipet volume, sentrifus,

inkubator, spektrofotometer, spektrofotometer UV-VIS, mikroskop stereo, mikroskop binokuler komputer, dan Optilab Advance.

### 3.3.2 Bahan

Beberapa bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah komposit, akar lateral, daun tanaman pepaya urutan ketiga dari pucuk, aquades, KCl 1 M, campuran selen p.a., aqua DM, asam sulfat pekat, standar 20 ppm N, deret standar 0-20 ppm N, standar pokok 1.000 ppm N, larutan sangga Tartrat, larutan Na-fenat, natrium hipoklorit 5%, pengeskrak  $\text{NaHCO}_3$  0,5 M pH 8,5, pereaksi pewarna P, standar induk 100 ppm  $\text{PO}_4$ , standar induk 1.000 ppm  $\text{PO}_4$ , pereaksi P pekat, deret standar  $\text{PO}_4$  (0-20 ppm), pengekrak Olsen, larutan standar 200 ppm K, larutan induk 1.000 ppm K (Titrisol), larutan deret standar K, etanol 96%, asam borat ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) 10 mM dingin, larutan FAA, alkohol 100 %, xilol, safranin 1%, dan gliserin.

## 3.4 Prosedur Penelitian

### 3.4.1 Penentuan lokasi sampling

Lokasi pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan metode *purposive sampling* pada dua titik atau stasiun yang dapat mewakili kondisi tercemar Al dan satu stasiun pada lingkungan normal sebagaimana berikut:

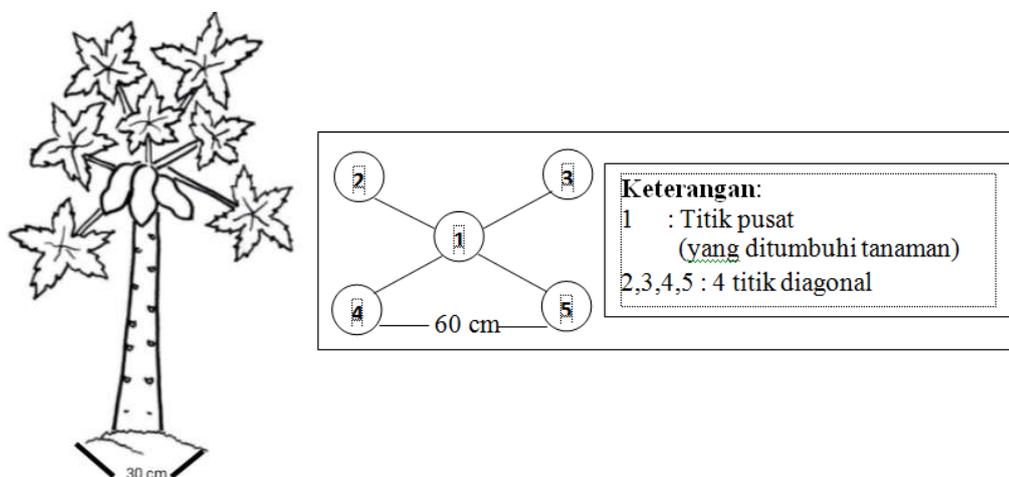
- a) Lokasi ulangan 1 berada di pematang sawah dan tepi sungai yang terletak pada titik koordinat S 7°5'00.582" dan E 112°36'8.549" dengan titik tumbuh tanaman sampel tepat berada pada tumpukan karung abu slag.
- b) Lokasi ulangan 2 berada di tepi sungai dan belakang rumah warga setempat pada titik koordinat S 7°4'98.631" dan E 112°36'8.598" dengan titik tumbuh tanaman sampel tepat berada pada tumpukan karung abu slag.

- c) Lokasi kontrol berada di perkebunan bebas, jauh dari jalan raya dan pencemaran tepatnya di Dusun Bandungsari Desa Bandung Kecamatan Diwek Kabupaten Jombang pada titik koordinat S 7°5'83.098" dan E 112°26'2.673" dengan titik tumbuh tanaman sampel pada tanah normal.

### 3.4.2 Pengambilan sampel uji

Pengambilan sampel uji tanah, akar dan daun dilakukan dengan cara:

- a) Sampel tanah: digali tanah pada kedalaman 0-30 cm tepat pada titik tumbuh tanaman uji dan empat arah diagonal ke samping dengan jarak 0-60 cm (Gambar 3.4.2) kemudian sampel tanah dari kelima titik tersebut dikompositkan dengan cara dicampur dan diaduk secara merata untuk diambil sebanyak 0,5 g. Sampel tanah selanjutnya dimasukkan ke dalam plastik dan diberi label (Simanjuntak, 2021).



**Gambar 3.4.2. Skema pengambilan sampel tanah dan akar lateral**  
(Pinterest, 2021)

- b) Sampel akar: dilakukan dengan menggali tanah sedalam 0-30 cm untuk diambil akar lateral sebanyak 3 akar dari masing-masing tanaman. Pengambilan sampel akar dilakukan secara hati-hati agar ujung akar tidak terputus, selanjutnya akar

dipotong menggunakan pisau baru (tidak berkarat) dan dimasukkan ke dalam plastik berlabel. Pengambilan sampel akar diambil dari 3 tanaman pepaya yang berbeda (Lampiran 2) (Simanjuntak, 2021).

- c) Sampel daun: diambil dari daun urutan ketiga dari pucuk sebanyak 3 tangkai dari masing-masing tanaman. Pengambilan sampel daun diambil dari 3 tanaman pepaya yang berbeda (Lampiran 2) (Tuna, dkk., 2015).

### 3.4.3 Uji kimia tanah

Uji kimia tanah yang dilakukan terdiri atas pengukuran pH tanah dan unsur esensial N, P, K dengan prosedur sebagaimana berikut (Sulaeman, dkk., 2005).

#### 1. pH H<sub>2</sub>O dan pH KCl tanah

Pengukuran pH tanah dilakukan dengan menimbang 2 kali masing-masing 10 g sampel tanah untuk dimasukkan ke dalam 2 botol kocok, dimasukkan 50 ml aqua DM ke botol yang satu (pH H<sub>2</sub>O) dan 50 ml KCl 1 M ke dalam botol lainnya (pH KCl). Larutan kemudian dikocok menggunakan mesin pengocok selama 30 menit. Pengukuran pH tanah dilakukan menggunakan pH meter yang telah dikalibrasi dengan larutan *buffer* pH 7 dan pH 4.

#### 2. N (Nitrogen) total metode N-Kjeldahl

Pengukuran N total dilakukan dengan beberapa tahapan seperti berikut.

##### a) Destruksi

Dihaluskan asam sulfat pekat (95-97%) dan campuran selen p.a. (campur dari 1,55 g selen, 96,9 g Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> anhidrat dan 1,55 g CuSO<sub>4</sub> anhidrat).

##### b) Spektrofotometri

##### b.1) Standar 0

Diencerkan ekstrak blanko dengan air aqua DM menjadi 50 ml.

b.2) Standar pokok 1.000 ppm N

Ditimbang serbuk  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  p.a. yang telah dioven selama 4 jam pada suhu  $100^\circ\text{C}$  sebanyak 4,7143 g. Serbuk selanjutnya dimasukkan ke dalam labu ukur 1 L dan ditambah aqua DM hingga mencapai garis 1 L dan kocok hingga homogen.

b.3) Standar 20 ppm N

Dipipet 2 ml standar pokok 1.000 ppm N dan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 ml untuk diencerkan dengan standar 0 hingga mencapai batas 100 ml.

b.4) Deret standar 0-20 ppm N

Dipipet standar N 20 ppm sebanyak 0; 1; 2; 4; 6; 8; dan 10 ml dan masing-masing dimasukkan ke dalam tabung reaksi untuk ditambah standar 0 hingga semuanya mencapai batas 10 ml. Semua campuran kemudian dikocok sampai homogen.

b.5) Larutan Na-fenat

Ditimbang serbuk NaOH p.a. sebanyak 100 g dan dimasukkan ke dalam labu ukur 1 L untuk dilarutkan bersama 500 ml aqua DM (diaduk secara perlahan-lahan). Jika larutan telah dingin, ditambahkan 125 g serbuk fenol dan diaduk hingga homogen. Larutan kemudian diencerkan lagi dengan aqua DM hingga mencapai 1 L.

b.6) Larutan Sangga Tartrat

Ditimbang serbuk NaOH p.a. sebanyak 50 g dan dimasukkan ke dalam labu ukur 1 L untuk dilarutkan bersama 500 ml aqua DM (diaduk secara perlahan-lahan). Jika larutan telah dingin selanjutnya ditambahkan dengan 50 g serbuk Na-Tartrat dan diaduk hingga homogen. Larutan kemudian diencerkan dengan aqua DM hingga mencapai 1 L.

b.7) Natrium hipoklorit (NaOCl) 5%.

c) Perlakuan Sampel

c.1) Destruksi Contoh

Ditimbang contoh tanah dengan ukuran  $< 0,5$  mm sebanyak 0,5 g dan dimasukkan ke dalam *digest tube*. Campuran selen sebanyak 1 g dan asam sulfat pekat sebanyak 3 ml kemudian ditambahkan untuk proses destruksi selama 3-4 jam hingga mencapai suhu  $350^{\circ}\text{C}$ . Proses destruksi akan berakhir ketika uap putih keluar dan menghasilkan ekstrak jernih. Tabung kemudian diangkat dan didinginkan. Campuran kemudian diencerkan dengan aqua DM hingga mencapai 50 ml, dihomogenkan dengan cara dikocok, lalu diendapkan selama semalam. Ekstrak yang diperoleh akan digunakan untuk mengukur kandungan N.

c.2) Pengukuran N dengan Spektrofotometer

Dipipet masing-masing 2 ml deret standar dan ekstrak untuk dimasukkan ke dalam tabung reaksi. Larutan sangga Tartrat dan Na-fenat ditambahkan berturut-turut masing-masing sebanyak 4 ml, kemudian dikocok dan didiamkan selama 10 menit. Larutan ditambah lagi NaOCl 5% sebanyak 4 ml kemudian dikocok lagi. Pengukuran kandungan N dilakukan setelah 10 menit (sejak pemberian pereaksi) dengan menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 636 nm.

d) Perhitungan

$$\begin{aligned} \text{Kadar Nitrogen (\%)} &= \text{ppm kurva} \times \text{ml ekstrak} / 1.000 \text{ ml} \times 100 / \text{mg contoh} \times \text{fp} \times \text{fk} \\ &= \text{ppm kurva} \times 50 / 1.000 \times 100 / 500 \times \text{fp} \times \text{fk} \\ &= \text{ppm kurva} \times 0,01 \times \text{fp} \times \text{fk} \end{aligned} \quad (3.1)$$

Keterangan:

Ppm kurva: kadar contoh yang didapat dari kurva hubungan antara kadar deret standar dengan pembacanya setelah dikoreksi blanko.

- 100 : konversi ke %  
fp : faktor pengenceran  
fk : faktor koreksi kadar air =  $100/(100 - \% \text{ kadar air})$

### 3. P (Fosfor) tersedia metode Olsen

Pengukuran P tersedia dilakukan dalam beberapa tahapan sebagaimana berikut.

#### a) Pereaksi

##### a.1) Pengekstrak $\text{NaHCO}_3$ 0,5 M pH 8,5

Dilarutkan  $\text{NaHCO}_3$  sebanyak 42 g kedalam aqua DM hingga mencapai 1 L. Nilai pH larutan ditetapkan menjadi 8,5 dengan ditambahkan NaOH.

##### a.2) Pereaksi P pekat

Dilarutkan  $(\text{NH}_4)_6 \text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  sebanyak 12 g ke dalam labu ukur 1 L dengan pengencer aqua DM sebanyak 100 ml, dan ditambahkan lagi  $\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6$  0,5 K sebanyak 0,277 g dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  pekat sebanyak 140 ml secara perlahan-lahan. Campuran kemudian ditambahkan aqua DM hingga mencapai 1 L.

##### a.3) Pereaksi pewarna P

Dicampurkan asam askorbat sebanyak 1,06 g, pereaksi P pekat sebanyak 100 ml dan  $\text{H}_2\text{SO}_4$  4N sebanyak 25 ml untuk diencerk bersama aqua DM hingga mencapai 1 L.

##### a.4) Standar induk 1.000 ppm $\text{PO}_4$ (Titrisol)

Dipindahkan larutan standar induk  $\text{PO}_4$  Titrisol dari ampul ke dalam labu ukur 1 L, kemudian diimpitkan dengan aqua DM hingga mencapai tanda garis dan selanjutnya dikocok sampai homogen.

##### a.5) Standar induk 100 ppm $\text{PO}_4$

Dipipet larutan standar induk 1.000 ppm  $\text{PO}_4$  sebanyak 10 ml dan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 ml, diimpitkan dengan aqua DM hingga mencapai tanda garis kemudian dikocok sampai homogen.

a.6) Deret standar  $\text{PO}_4$  (0-20 ppm)

Dipipet larutan standar 100 ppm  $\text{PO}_4$  berturut-turut sebanyak 0; 2; 4; 8; 12; 16; dan 20 ml dan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 ml untuk diencerkan dengan pengestrak Olsen hingga mencapai 100 ml.

b) Perlakuan Sampel

Ditimbang contoh tanah dengan ukuran  $< 2$  mm sebanyak 1 g, kemudian dituangkan dalam botol kocok dan ditambah pengestrak Olsen sebanyak 20 ml untuk dihomogenkan selama 30 menit. Disaring larutan hingga jernih, dan ulangi penyaringan jika larutan masih keruh. Ekstrak dipipet 2 ml dan dimasukkan ke dalam tabung reaksi untuk selanjutnya bersama deret standar ditambahkan 10 ml pereaksi pewarna P. Campuran kemudian dihomogenkan dengan cara dikocok dan didiamkan selama 30 menit. Absorbansi larutan diukur dengan menggunakan spektrofotometer pada panjang gelombang 889 nm.

c) Perhitungan

Kadar  $\text{P}_2\text{O}_5$  teredia (ppm) metode Olsen

$$= \text{ppm kurva} \times \text{ml ekstrak} / 1.000 \text{ ml} \times 1.000 \text{ g (g contoh)}^{-1} \times \text{fp} \times 142/190 \times \text{fk}$$

$$= \text{ppm kurva} \times 20 / 1.000 \times 1.000 / 1 \times 142/190 \times \text{fk}$$

$$= \text{ppm kurva} \times 20 \times 142/190 \times \text{fk} \quad (3.2)$$

Keterangan:

Ppm kurva : kadar contoh yang didapat dari kurva hubungan antara kadar deret standar dengan pembacanya setelah dikoreksi blanko.

142/190 : faktor konversi bentuk  $\text{PO}_4$  menjadi  $\text{P}_2\text{O}_5$

fp : faktor pengenceran

fk : faktor koreksi kadar air =  $100/(100 - \% \text{ kadar air})$

#### 4. K (Kalium) potensial metode ASS

Perhitungan K potensial dilakukan dengan beberapa tahapan seperti berikut.

##### a) Pereaksi

##### a.1) HCl 25%

Diencerkan 675,68 ml HCl pekat (37%) dengan aqua DM menjadi 1 L.

##### a.2) Standar induk 1.000 ppm K (Titrisol)

Dipindahkan larutan standar induk K Titrisol dari dalam ampul ke dalam labu ukur 1.000 ml kemudian diimpitkan dengan aqua DM hingga mencapai tanda garis, lalu dihomogenkan dengan cara dikocok.

##### a.3) Standar 200 ppm K

Dipipet standar induk 1.000 ppm K sebanyak 50 ml dan dimasukkan ke dalam labu ukur 250 ml, kemudian diimpitkan dengan aqua DM sampai dengan tanda garis lalu dihomogenkan dengan cara dikocok.

##### a.4) Deret standar K (0; 2; 4; 8; 12; 16; dan 20 ppm)

Dipipet standar 200 ppm K berturut-turut sebanyak 0; 1; 2; 4; 6; 8; dan 10 ml dan dimasukkan ke dalam labu ukur 100 ml. Masing-masing kemudian ditambahkan dengan HCL 25% sebanyak 5 ml dan aqua DM hingga mencapai tanda garis, selanjutnya dikocok sampai homogen.

##### b) Perlakuan Sampel

Ditimbang contoh tanah dengan ukuran  $< 2$  mm sebanyak 2 g, lalu dimasukkan ke dalam botol kocok dan ditambahkan HCl 25% sebanyak 10 ml. Larutan selanjutnya dikocok menggunakan mesin kocok selama 5 jam. Larutan dipindahkan ke dalam tabung reaksi untuk disentrifuse. Absorbansi deret standar

K dan ekstrak contoh encer kemudian langsung diukur menggunakan spektrofotometer secara emisi.

c) Perhitungan

Kadar K potensial ( $\text{mg K}_2\text{O } 100 \text{ g}^{-1}$ )

$$= \text{ppm kurva} \times 10 \times 94/78 \times \text{fk} \quad (3.3)$$

Keterangan:

ppm kurva : kadar contoh yang didapat dari kurva hubungan antara kadar deret standar dengan pembacanya setelah dikoreksi blanko.

Fp : faktor pengenceran (20)

fk : faktor koreksi kadar air =  $100/(100 - \% \text{ kadar air})$

#### **3.4.4 Pengamatan morfologi akar dan daun**

Pengamatan morfologi akar dilakukan dengan cara menggali tanah hingga kedalaman  $\pm 30$  cm untuk diambil sampel akar lateral kemudian dipotong untuk diamati morfologinya meliputi warna, panjang, diameter, dan jumlah cabang menggunakan penggaris. Pengamatan morfologi daun dilakukan pada daun urutan ketiga dari pucuk dan diamati karakter fisiknya seperti warna, panjang, lebar, dan jumlah jari menggunakan penggaris, kemudian didokumentasikan. Pengamatan pada warna dilakukan dengan menggunakan aplikasi *Color Grab*. Pengamatan dilakukan pada tiga tanaman pepaya yang berbeda sebagai bentuk perbandingan.

#### **3.4.5 Pengamatan Anatomi Akar dan Daun**

Pengamatan anatomi akar dan daun dilakukan dengan cara sebagaimana berikut:

##### **3.4.5.1 Anatomi Akar**

Pembuatan preparat untuk pengamatan anatomi akar dilakukan dengan memotong secara melintang akar lateral yang telah dicuci bersih dengan aquades sebelumnya, setipis mungkin menggunakan silet *Gillet*. Langkah selanjutnya

untuk pengamatan anatomi akar, irisan melintang akar disimpan ke dalam botol vial ukuran 10 ml yang telah berisi larutan FAA (Formaldehid: Asam Asetat: Etil Alkohol 70% = 5:5:90) selama 24 jam. Irisan akar kemudian dicuci dengan alkohol 70% sebanyak dua kali. Larutan alkohol 70% dalam botol vial kemudian diambil dan diganti dengan pewarna safranin 1% dalam alkohol 70% selama 48 jam. Tahap selanjutnya zat warna diganti dengan alkohol 70% beberapa kali hingga bersih, lalu dilakukan dehidrasi bertingkat dengan cara memasukkan alkohol 70% ke dalam botol kemudian 80%, 90%, dan 100% secara bergantian masing-masing selama 2 menit. Langkah berikutnya ialah *dealkoholisasi* dan *clearing* menggunakan alkohol:xilol (3:1), alkohol:xilol (1:1), alkohol:xilol (1:3), xilol murni I dan xilol murni II masing-masing selama 2 menit (Sutikno, 2016). Sampel diletakkan di atas *object glass* dan ditetesi gliserin 50%, lalu ditutup dengan *cover glass* dan diberi label untuk selanjutnya diamati di bawah mikroskop binokuler komputer dengan perbesaran 40x dan 100x. Hasil pengamatan selanjutnya diukur pada bagian ketebalan jaringan epidermis menggunakan Image Raster 3 yang telah dikalibrasikan dan diamati karakter jaringan pengangkut floem dan xilem.

#### 3.4.5.2 Anatomi Daun

Pembuatan preparat anatomi daun dilakukan dengan memotong daun pepaya bagian tengah dengan ukuran 1 cm x 1 cm. Daun selanjutnya diselipkan di tengah-tengah umbi wortel yang telah dipotong sesuai dengan ukuran lubang *hand mikrotom* untuk memudahkan proses pengirisan. Pemotongan dilakukan berkali-kali hingga didapatkan irisan setipis mungkin. Irisan diletakkan di atas *object glass* yang telah ditetesi gliserin untuk selanjutnya ditutup dengan *cover glass*.

Pengamatan anatomi daun dilakukan di bawah mikroskop binokuler yang tersambung kamera Optilab Advance dengan perbesaran 400x untuk selanjutnya diukur ketebalan epidermis adaksial dan abaksial serta ketebalan mesofilnya menggunakan Image Raster 3 yang telah dikalibrasikan.

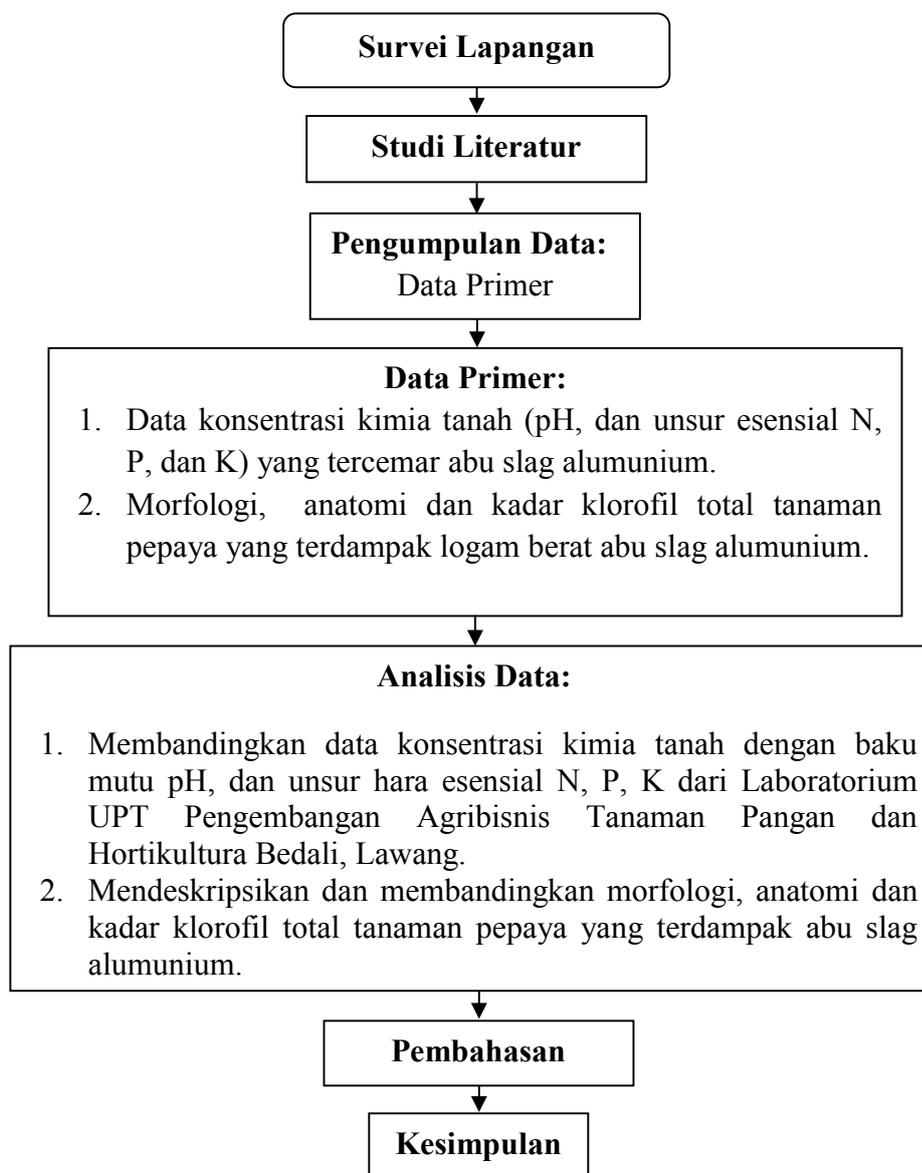
#### **3.4.6 Pengujian Kadar Klorofil Daun**

Pengujian kadar klorofil total daun pepaya dilakukan dengan menggunakan metode *International Rice Research Institute* yang telah dimodifikasi oleh Balitbo Bogor (Prastyo, 2015). Diambil bagian daun urutan ketiga dari pucuk kemudian disimpan dalam plastik sampel dan diberi label. Daun dibersihkan dengan aquades kemudian dikeringkan dengan tisu dan ditimbang seberat 0.1 gram (masing-masing tanaman diambil sebanyak 9 sampel, yakni dari 3 helai daun berbeda dengan tiga kali ulangan). Masing-masing sampel selanjutnya digerus hingga halus dengan mortar dingin kemudian ditambahkan 0,5 ml asam borat ( $H_3BO_3$ ) 10 mM dingin. Daun yang telah digerus halus dimasukkan ke dalam tabung *ependorf* ukuran 1,5 ml untuk *disentrifuge* selama 5 menit dengan kecepatan 1.4000 rpm. Pelet diambil dari *ependorf*, untuk dipindahkan ke dalam tabung *ependorf* yang baru dan ditambahkan etanol absolut hingga volume mencapai 1,5 ml, lalu dikocok menggunakan vortex. Ekstrak klorofil kemudian diinkubasi di dalam ruang gelap selama 30 menit pada suhu 4°C. Supernatan hasil *sentrifuge* dimasukkan ke dalam cuvet 2 ml untuk diukur absorbansinya menggunakan spektrofotometer dengan panjang gelombang 649 nm dan 665 nm. Sebagai sampel blanko, digunakan etanol 96%. Pengukuran masing-masing sampel dilakukan sebanyak tiga kali untuk diambil nilai rata-rata. Perhitungan kadar klorofil

menggunakan metode Wintermans dan De Mots (1965) dalam Gibson (2017) dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kandungan Klorofil Total} = (20 \times A.649) + (6,10 \times A.665) \text{ mg/L} \quad (3.4)$$

Tahapan atau prosedur kerja dalam penelitian ini secara singkat dapat dilihat pada diagram alir penelitian pada Gambar 3.5. sebagaimana berikut.



**Gambar 3.5. Diagram alir tahapan penelitian**

### **3.4 Teknik Analisis Data**

Hasil pengamatan morfologi, anatomi pada akar dan daun serta dan kadar klorofil total daun dianalisis secara deskriptif kualitatif untuk mengetahui perbedaan setiap parameter uji akibat dari cemaran pengaruh abu slag alumunium, untuk analisis kimia tanah yang meliputi pH dan unsur hara N, P, K mengikuti baku mutu dari Laboratorium UPT Pengembangan Agribisnis Tanaman Pangan dan Hortikultura Bedali, Lawang.

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

### **4.1 Pengaruh Abu Slag Alumunium terhadap Morfologi Tanaman Pepaya (*Carica papaya* L.)**

Pengamatan morfologi tanaman pepaya (*Carica papaya* L.) dilakukan pada dua organ tanaman, yakni pada bagian akar lateral dan daun urutan ketiga dari atas yang berasal dari dua tanaman pepaya yang berbeda di Desa Budugsidorejo Sumobito dan satu tanaman kontrol dari Desa Bandung Kabupaten Jombang. Melalui pengamatan ketiga tanaman pepaya tersebut diharapkan dapat diketahui perbedaan morfologi antara tanaman pepaya yang hidup pada lingkungan normal dan tanaman pepaya yang hidup pada lingkungan tercemar abu slag alumunium.

#### **4.1.1 Morfologi Akar Lateral Tanaman Pepaya (*Carica papaya* L.)**

Morfologi akar lateral yang diamati dari tiga tanaman pepaya yang berbeda adalah bagian warna kulit akar, panjang, diameter, dan jumlah cabang. Hasil pengamatan morfologi akar lateral secara visual dapat dilihat lebih lanjut pada Gambar 4.1.1. Gambar perbesaran akar menunjukkan bahwa permukaan akar pada lokasi 1 dan lokasi 2 memiliki warna lebih gelap dibandingkan dengan warna akar tanaman kontrol seperti mengalami penebalan kulit akar. Perubahan morfologi tersebut diduga menjadi salah satu respon akar terhadap cekaman logam berat abu slag alumunium sebagai bentuk perlindungan pada jaringan-jaringan akar. Selain itu, gambar perbesaran akar yang ditampilkan pada Gambar 4.1.1. E. juga menunjukkan bahwa pada permukaan akar tanaman lokasi 1 terdapat kumpulan sel yang tidak terdiferensiasi yang tampak seperti bintil sel atau kalus yang diduga merupakan bekas rambut-rambut akar yang telah mati.

Namun, respon morfologi tersebut tidak ditemukan pada akar lateral kontrol dan akar lateral dari lokasi 2.



**Gambar 4.1.1.** Akar lateral tanaman Pepaya (*Carica papaya* L.). A. Kontrol B. Lokasi 1, C. Lokasi 2, D,E,F. Perbesaran 0.75 x dengan mikroskop stereo.

Hasil pengukuran yang disajikan dalam Tabel 4.1.1 menunjukkan bahwa terdapat beberapa perbedaan morfometri pada akar lateral baik pada panjang, diameter, jumlah cabang dan juga warna sebagaimana berikut.

**Tabel 4.1.1.** Hasil pengamatan morfologi akar lateral tanaman pepaya (*Carica papaya* L.)

Sampel	Ulangan	Warna	Panjang (cm)	Diameter (cm)	Jumlah cabang
Lokasi Kontrol	I	White (Hex:#8F2E5)	34	0,9	4
	II	White (Hex:#FFFAE2)	31	1,4	4
	III	Light grey (Hex:#D8D2D3)	36	0,6	-
		<b>Rata-rata</b>	<b>33,66</b>	<b>0,96</b>	<b>3</b>

**Tabel 4.1.1. Lanjutan**

<b>Sampel</b>	<b>Ulangan</b>	<b>Warna</b>	<b>Panjang (cm)</b>	<b>Diameter (cm)</b>	<b>Jumlah cabang</b>
Lokasi 1	I	<i>Dark brown</i> (Hex:# 883700)	27,4	1,3	5
	II	<i>Brown</i> (Hex:#BD6305)	29	0,6	3
	III	<i>Brown</i> (Hex:#BA5101)	25,1	0,4	2
		<b>Rata-rata</b>	<b>27,16</b>	<b>0,76</b>	<b>3</b>
Lokasi 2	I	<i>Dark brown</i> (Hex:#B04B01)	43,6	1	2
	II	<i>Brown</i> (Hex:#B46608)	30	0,6	3
	III	<i>Orange</i> (Hex:#C66804)	34,6	0,5	-
		<b>Rata-rata</b>	<b>36,06</b>	<b>0,7</b>	<b>2</b>

Hasil morfometri akar lateral tanaman pepaya dalam Tabel 4.1.1. menunjukkan bahwa pada kondisi lingkungan normal, akar tanaman pepaya memiliki bentuk morfologi dengan warna putih hingga putih keabu-abuan. Panjang akar lateral dengan rata-rata 33,66 cm, diameter rata-rata 0,96 cm dan jumlah cabang rata-rata adalah 3.

Berbeda dengan morfologi akar lateral tanaman kontrol, tanaman pepaya pada lokasi 1 memiliki kulit akar yang berwarna coklat hingga coklat gelap. Panjang akar lateral rata-rata yang lebih pendek yakni 27 cm dan diameter rata-rata yang juga lebih kecil yaitu 0,76 cm, sedangkan untuk rata-rata jumlah cabangnya sama yakni 3 cabang.

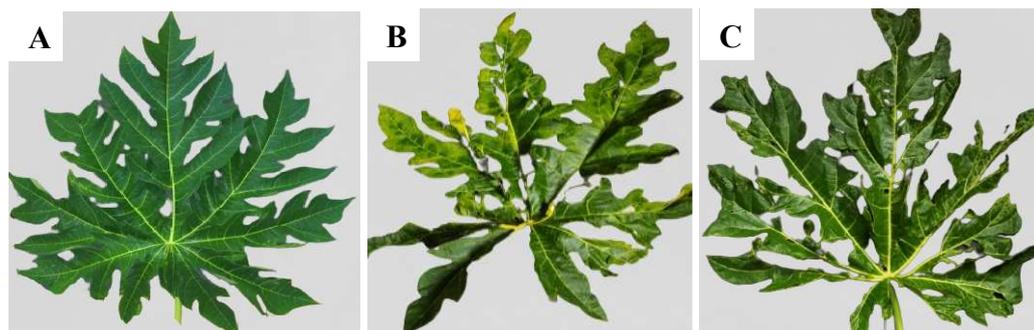
Morfologi akar lateral yang tampak pada tanaman lokasi 2 justru memiliki nilai panjang rata-rata 36 cm namun jumlah cabang rata-rata hanya sebanyak 2 cabang, warna kulit akar oranye, coklat hingga coklat gelap dan diameter rata-rata adalah 0,7 cm. Akar lateral pada lokasi 1 dan lokasi 2 juga tidak memiliki rambut akar sebanyak akar lateral tanaman kontrol. Melalui hasil pengamatan tersebut dapat diketahui bahwa ketiga tanaman pepaya yang diamati memiliki perbedaan

morfologi baik pada warna kulit akar, panjang, maupun diameter, sedangkan untuk perbedaan cabang akar lateral perbedaannya tidak begitu menonjol.

Penebalan pada kulit akar akan membantu meminimalisir abu slag aluminium ikut terserap oleh akar dan menyebar ke seluruh bagian tanaman. Hal tersebut diungkapkan oleh Emamverdian, *et al.*, (2015) bahwa akar akan mengakumulasi Al pada jaringan epidermis akar, sehingga morfologi akar akan tampak pendek dan menebal. Setiadi (2015) & Legesse, *et al.*, (2017) juga menambahkan bahwa akar yang terinfeksi Al akan mengalami penebalan pada bagian ujung, pengurangan jumlah akar lateral, menguningnya akar dan juga rambut akar yang mati atau tidak tumbuh sebagaimana yang ditunjuk oleh panah merah di atas yang menunjukkan adanya bintil-bintil seperti bekas rambut-rambut akar yang mati menjadi bentuk respon akar tanaman pepaya terhadap sifat toksik Al, akibatnya penyerapan hara mineral dan air juga ikut terganggu.

#### **4.1.2 Morfologi Daun Tanaman Pepaya (*Carica papaya* L.)**

Pengamatan morfologi daun yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi pengamatan pada warna, panjang, lebar dan jumlah jari daun dari daun pepaya urutan ketiga dari atas, karena pada posisi tersebut metabolisme daun berada pada tengah-tengah. Kondisi lingkungan yang berbeda mendorong terjadinya proses metabolisme tanaman yang juga berbeda, misalnya pada proses fotosintesis yang secara tidak langsung akan berkaitan dengan warna, panjang, lebar dan jumlah jari daun. Pengamatan morfologi daun tanaman pepaya dapat dilihat pada Gambar 4.1.2.1. berikut.



**Gambar 4.1.2. Daun tanaman Pepaya (*Carica papaya* L.). A. Kontrol, B. lokasi 1, C. lokasi 2.**

Hasil pengamatan morfologi daun pada Gambar 4.1.2. menunjukkan suatu perbedaan morfologi daun pepaya baik dari warna, bangun daun dan jari daun. Tampak pada daun kontrol, daun memiliki warna hijau tua dengan bangun daun normal tidak seperti bangun daun pada lokasi 1 dan lokasi 2 yang terlihat tidak normal karena mengalami pengeritingan, sehingga menyebabkan bangun daun terlihat tidak sempurna. Karakter daun lokasi 1 dan lokasi 2 tampak licin mengkilap dibandingkan dengan daun kontrol, selain itu daun lokasi 1 memiliki warna hijau yang kekuning-kuningan akibat mengalami klorosis. Kondisi tersebut juga dinyatakan oleh Steiner *et al.*, (2015) dari hasil penelitiannya yang menunjukkan daun tua tanaman *Jatropha curcas* L. juga mengalami klorosis marginal yang berkembang ke tengah lamina setelah 75 hari perlakuan dengan  $1.480 \mu\text{mol L}^{-1} \text{Al}$ .

**Tabel 4.1.2. Hasil pengamatan morfologi daun tanaman pepaya (*Carica papaya* L.)**

Sampel	Ulangan	Warna	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Jml. jari
Lokasi Kontrol	I	Dark green (Hex:#2A612A)	43	61,5	11
	II	Dark green (Hex:#244026)	40	72,3	11
	III	Dark green (Hex:#2B5129)	40	72,5	11
<b>Rata-rata</b>			<b>41</b>	<b>68,76</b>	<b>11</b>

**Tabel 4.1.2. Lanjutan**

<b>Sampel</b>	<b>Ulangan</b>	<b>Warna</b>	<b>Panjang (cm)</b>	<b>Lebar (cm)</b>	<b>Jml. jari</b>
Lokasi 1	I	<i>Glossy dark green yellow</i> (Hex:#75990D)	26	55	8
	II	<i>Glossy green</i> (Hex:#698D37)	38,5	51	9
	III	<i>Glossy dark green</i> (Hex:#356149)	36,2	58	9
		<b>Rata-rata</b>	<b>33,56</b>	<b>54,66</b>	<b>9</b>
Lokasi 2	I	<i>Glossy dark green</i> (Hex:#436B49)	36	54	7
	II	<i>Glossy dark green</i> (Hex:#356105)	38	53	10
	III	<i>Glossy green</i> (Hex:#7FA356)	35,8	54	9
		<b>Rata-rata</b>	<b>36,66</b>	<b>53,66</b>	<b>9</b>

Hasil pengamatan morfologi dan morfometri daun yang disajikan dalam Tabel 4.1.2. menggambarkan bahwa cemaran abu slag alumunium mempengaruhi warna, panjang, lebar dan jumlah jari daun. Daun tanaman pepaya yang tumbuh pada lingkungan normal memiliki warna daun hijau tua dengan panjang rata-rata 41 cm, lebar rata-rata 68,76 cm dan jumlah jari rata-rata sebanyak 11 jari. Daun pada lokasi 1 berwarna hijau tua kekuningan mengkilap, hijau mengkilap dan hijau tua mengkilap dan dengan nilai panjang dan lebar rata-rata yang lebih kecil berturut-turut yakni 33,56 cm dan 54,66 cm serta jumlah jari rata-rata sebanyak 9 jari, sedangkan daun pada lokasi 2 memiliki panjang rata-rata 36,66 cm, lebar rata-rata 53,66 cm dan jumlah jari rata-rata sebanyak 9 dengan warna hijau mengkilap hingga hijau tua mengkilap.

Perbedaan morfologi daun antara tanaman pepaya yang tumbuh pada lingkungan normal dengan tanaman pepaya yang tumbuh pada lingkungan tercemar abu slag Al dapat disebabkan oleh beberapa kemungkinan, yakni sebab dari pengaruh abu slag alumunium yang terakumulasi dalam jangka waktu lama

yang selanjutnya mencemari tanah dan mengakibatkan ketidakseimbangan kimia tanah ataupun sebab dari pengaruh partikel abu slag Al yang terbawa angin dan menempel langsung pada permukaan daun.

Menempelnya partikel abu slag alumunium pada permukaan daun secara berkelanjutan dapat memicu partikel abu slag untuk masuk ke dalam jaringan daun melalui stomata dan mengganggu metabolisme daun. Sebagaimana yang dinyatakan oleh Raharjo, dkk (2015) & Muthu, *et al.*, (2021) bahwa partikel dari bahan pencemar (polutan) yang menempel dan menetap di atas permukaan daun dapat menyumbat porus stomata sehingga mengganggu metabolisme tumbuhan misalnya pada transpirasi dan respirasi daun. Penyumbatan yang terjadi dalam jangka waktu lama akan membuat partikel polutan terserap ke dalam daun, sehingga kerusakan daun seperti kerusakan helaian daun, berkurangnya luas daun, penurunan jumlah stomata, peningkatan jumlah stomata tertutup, dan penghambatan laju fotosintesis pun dapat terjadi.

Menurut Mukti & Maryani (2020), klorosis kemungkinan besar berkaitan dengan defisiensi magnesium yang merupakan unsur penyusun utama klorofil, sedangkan warna mengkilap daun berasal dari lapisan lilin (kutikula) yang turut serta melindungi daun dari kehilangan air berlebih, sebagaimana yang dinyatakan oleh Yeats (2013); Alponsin (2017) & Panawala (2017) bahwa permukaan mengkilap pada daun berasal dari lapisan kutikula yang mencegah hilangnya air daun ketika intensitas cahaya dan panas terlalu tinggi serta sebagai penghalang fisik pertama yang menghalangi masuknya benda asing dari udara masuk ke dalam daun. Berkaitan dengan hal tersebut, maka kondisi udara lokasi penelitian dengan abu slag alumunium yang dijadikan sebagai penguruk dan peninggi jalan

sangat memungkinkan partikel abu slag alumunium terbawa oleh angin dan menempel pada permukaan daun.

Berkurangnya ukuran daun tanaman pepaya juga menjadi bentuk respon tanaman pepaya terhadap cekaman abu slag untuk mencegah pengeluaran energi berlebih melalui proses transpirasi dan respirasi, sehingga daun akan lebih tebal namun ukurannya lebih sempit. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Singh & Madhoolika (2009) bahwa akumulasi logam berat pada daun akan lebih mengurangi ekspansi sel dibandingkan pembelahan sel. Sama halnya dengan pernyataan Steiner, *et al.*, (2015) & Wiraatmaja (2017) yang mengungkapkan bahwa sebagai respon cekaman logam berat Al yang turut mengambat penyerapan unsur hara, daun muda akan tampak lebih kecil dan berliku. Menurut Gomes (2011), pengeritingan pada daun juga menjadi strategi untuk mengurangi daerah transpirasi pada permukaan, menjaga turgiditas stomata sebagai langkah mengurangi efek kekeringan.

#### **4.2 Pengaruh Abu Slag Alumunium terhadap Anatomi Tanaman Pepaya (*Carica papaya* L.)**

Pengamatan dari pengaruh abu slag alumunium terhadap anatomi tanaman pepaya (*Carica papaya* L.) dilakukan pada dua organ tanaman, yakni pada akar lateral dan daun urutan ketiga dari atas. Pemilihan kedua organ tersebut didasarkan karena akar dan daun merupakan bagian tanaman yang menjadi indikator suatu cemaran yang lebih mudah diamati dibandingkan dengan bagian organ lainnya.

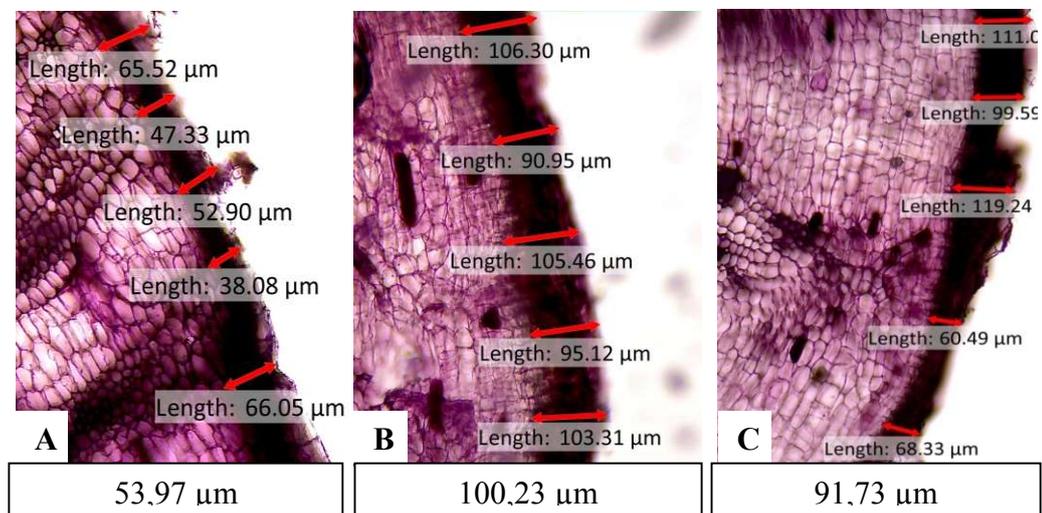
##### **4.2.1 Anatomi Akar**

Pengamatan anatomi akar yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh cemaran abu slag alumunium dilakukan dengan mengamati ketebalan jaringan

epidermis serta karakter jaringan pengangkut xilem dan floem. Pengamatan anatomi akar dilakukan di bawah mikroskop binokuler yang terhubung dengan kamera Outilab dengan perbesaran 100 kali.

#### 4.2.1.1 Ketebalan Jaringan Epidermis

Berdasarkan hasil pengamatan, terdapat perbedaan antara ketebalan jaringan epidermis akar tanaman kontrol dengan ketebalan jaringan epidermis tanaman tercemar abu slag alumium seperti yang dapat diamati pada Gambar 4.2.1.1.



**Gambar 4.2.1.1. Ketebalan jaringan epidermis akar perbesaran 100x. A) Lokasi kontrol B) Lokasi 1 C) Lokasi 2**

Gambar 4.2.1.1. menunjukkan terdapat peningkatan nilai ketebalan jaringan epidermis pada akar tanaman tercemar abu slag alumunium. Akar tanaman lokasi kontrol memiliki nilai rata-rata ketebalan 53,97 μm, sedangkan akar tanaman lokasi 1 dan lokasi 2 nilai ketebalannya lebih tinggi, yakni 100,23 μm dan 91,73 μm. Penebalan jaringan epidermis pada akar tanaman terdampak abu slag alumunium menjadi salah satu respon tanaman pepaya untuk melindungi jaringan-jaringan di bawahnya dari sifat toksik logam berat yang tersisa dalam abu slag

aluminium. Selain itu, penebalan jaringan epidermis tersebut juga menjadi indikator adanya sifat pencemar dari abu slag aluminium, akibatnya beberapa unsur hara mikro dalam tanah tidak dapat terserap dengan baik oleh akar tanaman pepaya.

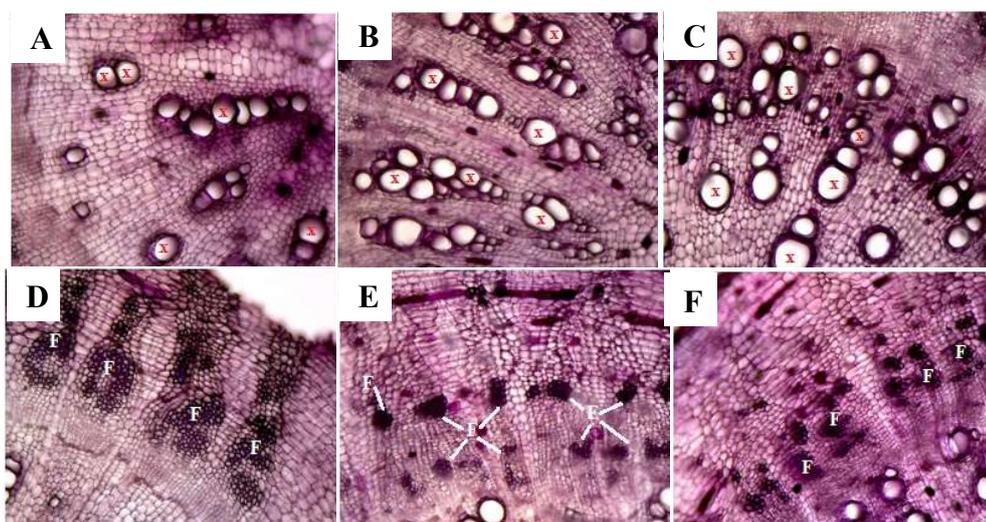
Hal tersebut sesuai dengan penjelasan Roychoudhury (2019) yakni, penebalan pada dinding sel epidermis merupakan suatu tindakan pencegahan terhadap efek merugikan dari logam berat karena dapat menurunkan konsentrasi sitosol logam berat. Selain itu Hidayati, dkk. (2017) juga menambahkan bahwa penebalan dinding sel juga dapat membantu menjaga keamanan hidrolis akar serta bertindak sebagai hambatan untuk kehilangan air oleh peristiwa refluks.

Seperti yang disampaikan oleh Firmansyah (2010), secara anatomis tanaman yang terinfeksi Al dalam jumlah tinggi akan merespon dengan dibentuknya lapisan yang menutupi epidermis di ujung akar tanaman dan berlanjut pada kerusakan epidermis dan *outer* korteks yang diikuti dengan matinya sel, sehingga menyebabkan penurunan viabilitas akar akibat ujung akar yang terikat kuat oleh Al. Kopittke *et al.* (2021) & Furlan (2018) menambahkan bahwa akumulasi Al yang tinggi di dalam area ujung akar dapat menyebabkan efek merusak pada epidermis akar dan sel akar kortikal, sehingga sebagaimana yang dinyatakan oleh Vardar & Ünal (2007), akar akan menjadi pendek, kaku, kerdil, retak, berwarna lebih coklat atau gelap seperti hasil pengamatan morfologi akar pada Gambar 4.1.1.

#### **4.2.1.2 Karakter Jaringan Pengangkut**

Pengamatan karakter jaringan pengangkut (xilem dan floem) akar dilakukan untuk mengetahui bentuk respon keduanya dalam keadaan tercekam logam berat

abu slag alumunium. Jaringan pengangkut xilem merupakan jaringan angkut yang bertugas dalam mengangkut air dan mineral dari tanah hingga menuju pucuk daun. Pengamatan karakter xilem dilakukan karena berhubungan dengan pengangkutan ion-ion yang berasal dari dalam tanah, terutama tanah tercemar logam berat abu slag alumunium. Hasil pengamatan karekter xilem akar tanaman pepaya dapat dilihat pada Gambar 4.2.1.2.



**Gambar 4.2.1.2. Jaringan pengangkut pada akar pepaya (*Carica papaya* L.) perbesaran 400x. ABC (Xilem), A. Kontrol, B. St. 1, C. St. 2. DEF (Floem), D. Lokasi kontrol, E. Lokasi 1, F. Lokasi 2**

Hasil pengamatan pada jaringan angkut xilem dan floem pada Gambar 4.2.1.2. menunjukkan suatu perbedaan bahwa keberadaan xilem pada akar tanaman lokasi 1 dan lokasi 2 terlihat lebih banyak dibandingkan dengan keberadaan xilem pada akar tanaman lokasi kontrol, sedangkan untuk jaringan angkut floem pada akar lokasi 1 dan lokasi 2 justru terlihat mengalami penurunan volume dibandingkan dengan volume jaringan angkut floem akar tanaman kontrol yang lebih besar. Perubahan karakter xilem berhubungan dengan ketersediaan air atau mineral dalam tanah yang tercemar abu slag alumunium, dan perubahan

karakter pada floem berkaitan dengan kondisi aktivitas fotosintesis pada daun yang juga mengalami perubahan morfologi yang dibuktikan dengan kadar klorofil total pada daun lokasi 1 dan lokasi 2 yang lebih rendah dibandingkan pada daun tanaman lokasi kontrol.

Menurut Ryser (2007); Dey (2016) & Tanentzap (2015), kontaminasi tanah oleh logam berat memiliki dampak yang berhubungan dengan air pada tanaman, karena logam mempengaruhi penyerapan dan transportasi. Penyerapan air dapat terhambat oleh permeabilitas hidrolik yang rendah dari akar yang terpapar logam berat akibat fungsi aquaporin yang terhambat, atau karena sebab penurunan pertumbuhan akar sebagai akibat dari pengurangan pemanjangan akar maupun rambut akar dan perubahan pola alokasi biomassa.

Qaderi (2019) menuturkan bahwa fungsi fisiologis xilem akan menjadi sangat rentan dengan kondisi lingkungan yang mencekam tanaman, karena kelangsungan hidup tanaman akan bergantung pada kemampuan xilem untuk mempertahankan pasokan air ke tajuk tanaman meskipun di bawah kondisi lingkungan yang bervariasi. Qaderi (2019) juga menjelaskan bahwa kondisi kekeringan dapat menginduksi terjadinya kavitasasi (pemecahan kolom air menjadi udara dan air) xilem yang dapat menyebabkan pembentukan emboli dalam saluran xilem yang dapat menghalangi saluran dan mencegah pergerakan air. Zwieniecki (2014) melanjutkan bahwa peristiwa emboli dapat diatasi dengan cara pembentukan saluran xilem baru untuk menjamin kontinuitas dan kapasitas sistem transportasi di bawah kondisi yang merugikan. Peningkatan jumlah saluran xilem menurut De Silva (2012) menjadi salah satu cara untuk mempertahankan konduktansi hidrolik

dengan mengurangi efek jalur panjang. Kerapatan saluran menjadi meningkat sebagai akibat berkurangnya luas daerah serapan akar akibat tekanan logam.

Qaderi (2019) juga menambahkan bahwa diameter yang lebih besar pada tanaman Angiospermae dapat memberikan konduktivitas yang lebih besar per area xilem. Hal tersebut menjadi bentuk adaptasi tanaman pepaya untuk meningkatkan efisiensi transportasi air akibat cekaman logam berat, karena Mahouachi (2006) menyebutkan bahwa tanaman pepaya tergolong dalam tanaman yang dapat bertahan pada batas waktu tertentu ketika ketersediaan air minim, sehingga tanaman pepaya dianggap sebagai spesies yang merespon kekeringan dengan cara melakukan penundaan dehidrasi.

Kim & Joonghyuk (2014) menjelaskan bahwa antara xilem dan floem memiliki tingkat koordinasi yang fundamental, yakni antara kapasitas hidrolis dan asimilasi fotosintesis karena kedua saluran tersebut berpotongan di stomata selama pertukaran air dan CO<sub>2</sub> pada permukaan daun. Epron, *et al.*, (2018) dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa suplai air yang berkurang akibat gangguan pada akar juga berdampak pada perubahan karakteristik floem yang menyebabkan jari-jari tabung floem menjadi lebih kecil dan lebih tipis, sehingga menurunkan kapasitas transportasi floem. Kondisi ini juga dikuatkan oleh pernyataan Paul, *et al.*, (2017) bahwa diameter xilem yang membesar secara negatif dapat mempengaruhi floem dengan memberi tekanan mekanis pada sel-selnya, yang mengakibatkan penurunan translokasi gula sehingga turut serta menurunkan ukuran jari-jari floem.

Hal tersebut sesuai dengan hasil penelitian yang menunjukkan morfologi floem akar pada tanaman tercekam abu slag aluminium memiliki ukuran yang

lebih kecil. Karakter floem tersebut juga berkaitan dengan penurunan kandungan klorofil total tanaman tercekam. Hasil pengamatan tersebut menunjukkan bahwa antara kondisi morfologi daun, laju fotosintesis dan morfologi jaringan angkut floem terdapat suatu keterkaitan yang saling mempengaruhi antara satu sama lain, sehingga perubahan morfologi pada daun ikut mempengaruhi kandungan total klorofil yang pada akhirnya juga mempengaruhi perubahan anatomi jaringan angkut yang bertugas dalam mengantarkan hasil fotosintesis ke seluruh bagian tumbuhan.

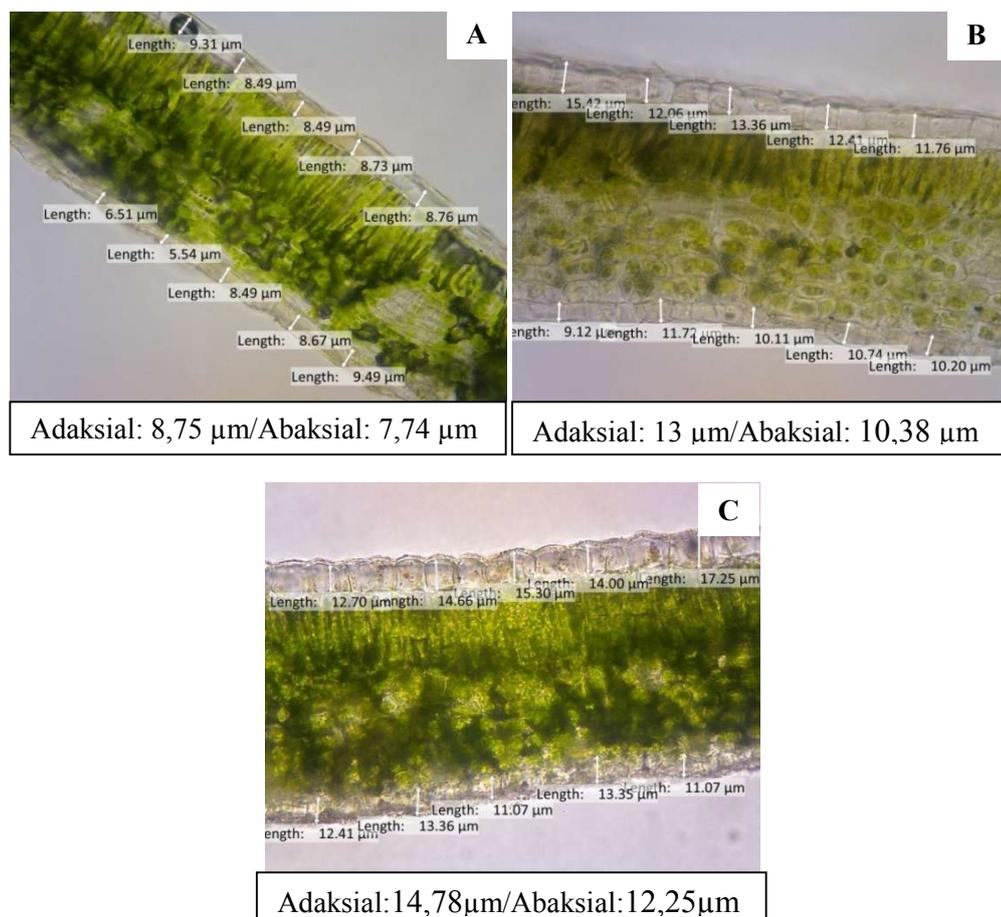
Kondisi tersebut juga dikuatkan oleh pernyataan Hidayati (2017) bahwa floem akan mengalami pengerutan sel akibat kurangnya ketersediaan air dari lingkungan yang menyebabkan penurunan kadar relatif daun, sehingga turgiditas sel daun juga ikut menurun. Pengerutan yang terjadi pada floem tentu turut menghambat pengangkutan hasil fotosintesis, karena tugas dari floem adalah mengangkut hasil fotosintesis dari daun untuk dikirimkan ke seluruh bagian tanaman. Selain itu, Holta (2013) menambahkan bahwa kapasitas transportasi jarak jauh floem harus sesuai dengan tingkat produksi senyawa karbon yang diasimilasi dalam fotosintesis di daun.

#### **4.2.2 Anatomi Daun**

Pengamatan anatomi daun pepaya (*Carica papaya* L.) yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh cemaran abu slag alumunium dilakukan dengan mengamati ketebalan jaringan epidermis adaksial dan epidermis abaksial serta ketebalan jaringan mesofil. Pengamatan anatomi daun dilakukan di bawah mikroskop binokuler yang dihubungkan dengan kamera Optilab dengan perbesaran 400 kali.

#### 4.2.2.1 Ketebalan Jaringan Epidermis

Berdasarkan hasil pengamatan dan pengukuran pada jaringan epidermis adaksial dan abaksial, terdapat perbedaan ketebalan antara daun tanaman lokasi kontrol dengan daun tanaman tercekam abu slag alumunium (tanaman lokasi 1 dan lokasi 2). Selain itu, perbedaan juga ditemukan pada karakter dari jaringan epidermis daun tanaman kontrol yang cenderung berbentuk persegi panjang, sedangkan jaringan epidermis daun tanaman tercekam abu slag Al cenderung berbentuk balok atau persegi, seperti yang dapat diamati pada Gambar 4.2.2.1.



**Gambar 4.2.2.1. Ketebalan jaringan epidermis adaksial dan abaksial daun tanaman pepaya. A. Lokasi kontrol, B. Lokasi 1, C. Lokasi 2**

**Tabel 4.2.2.1 Nilai ketebalan jaringan epidermis daun tanaman pepaya**

<b>Sampel</b>	<b>Adaksial</b>	<b>Abaksial</b>
Lokasi kontrol	9,31 $\mu\text{m}$	6,51 $\mu\text{m}$
	8,49 $\mu\text{m}$	5,54 $\mu\text{m}$
	8,49 $\mu\text{m}$	8,49 $\mu\text{m}$
	8,73 $\mu\text{m}$	8,67 $\mu\text{m}$
	8,76 $\mu\text{m}$	9,49 $\mu\text{m}$
<b>Rata-rata</b>	<b>8,75 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>7,74 <math>\mu\text{m}</math></b>
Lokasi 1	15,42 $\mu\text{m}$	9,12 $\mu\text{m}$
	12,06 $\mu\text{m}$	11,72 $\mu\text{m}$
	13,36 $\mu\text{m}$	10,11 $\mu\text{m}$
	12,41 $\mu\text{m}$	10,74 $\mu\text{m}$
	11,76 $\mu\text{m}$	10,20 $\mu\text{m}$
<b>Rata-rata</b>	<b>13 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>10,38 <math>\mu\text{m}</math></b>
Lokasi 2	12,7 $\mu\text{m}$	12,41 $\mu\text{m}$
	14,66 $\mu\text{m}$	13,36 $\mu\text{m}$
	15,30 $\mu\text{m}$	11,07 $\mu\text{m}$
	14 $\mu\text{m}$	13,35 $\mu\text{m}$
	17,25 $\mu\text{m}$	11,07 $\mu\text{m}$
<b>Rata-rata</b>	<b>14,78 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>12,25 <math>\mu\text{m}</math></b>

Hasil pengukuran ketebalan jaringan epidermis daun pepaya menunjukkan bahwa daun tanaman lokasi kontrol memiliki ketebalan bagian adaksial sebesar 8,75  $\mu\text{m}$  dan bagian abaksial sebesar 7,74  $\mu\text{m}$ . Ketebalan sisi adaksial daun tanaman lokasi 1 yakni 13  $\mu\text{m}$  dan abaksial 10,38  $\mu\text{m}$ , sedangkan pada daun tanaman lokasi 2 memiliki ketebalan jaringan epidermis atas 14,78  $\mu\text{m}$  dan epidermis bagian bawah 12,25  $\mu\text{m}$ . Kedua nilai ketebalan jaringan epidermis daun tanaman kontrol berada di bawah nilai ketebalan jaringan epidermis tanaman tercekam abu slag alumunium. Hal tersebut dapat mengindikasikan bahwa tanaman pepaya pada lokasi 1 maupun lokasi 2 telah melakukan suatu respon adaptif dengan meningkatkan ketebalan jaringan epidermis baik bagian atas maupun bagian bawah. Peningkatan ketebalan jaringan epidermis dapat terjadi untuk mengurangi kehilangan air berlebih oleh aktivitas transportasi air. Karakter sel epidermis antara tanaman lingkungan kontrol dengan tanaman tercemar juga

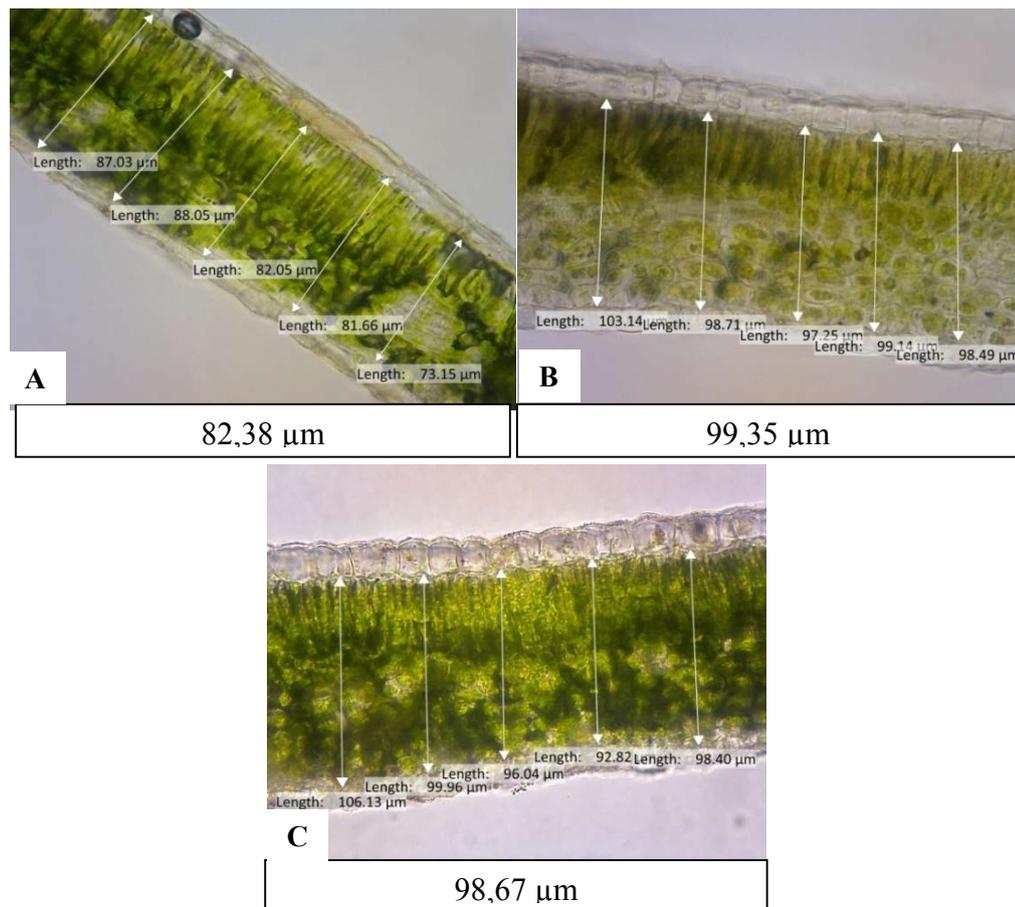
berbeda. Sel epidermis pada tanaman kontrol ukurannya lebih panjang, sedangkan sel epidermis daun tanaman tercemar abu slag alumunium ukurannya lebih pendek dan tebal.

Peningkatan ketebalan jaringan epidermis daun akibat cemaran abu slag alumunium dibenarkan oleh hasil penelitian Gomes (2011), bahwa menebalnya jaringan epidermis adaksial dan abaksial menjadi strategi untuk meminimalkan kehilangan air melalui transpirasi. Tingkat transpirasi yang lebih rendah dapat mengurangi peluang masuknya ion logam yang diserap akar untuk masuk ke dalam tanaman. Hasil penelitian Suharti (2017) juga membuktikan bahwa ketika ketersediaan air turun, terdapat penurunan ukuran secara horizontal pada sel epidermis atas dan bawah, namun diimbangi dengan peningkatan ukuran sel secara vertikal (menebal).

Berkaitan dengan ketebalan epidermis adaksial pada hasil pengamatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan epidermis abaksial, hasil penelitian Batool *et al.*, (2014) pada tanaman *Cyperus alopecuroides* Rottb. dalam merespon tekanan logam berat juga menunjukkan hal yang sama dengan ukuran sel epidermis abaksial yang lebih besar daripada sisi abaksialnya. Hal tersebut dibenarkan oleh Panawala (2017); Faizah (2019) & Tihuraa (2020) bahwa perbedaan ketebalan pada jaringan epidermis bagian atas dan bawah dapat dipengaruhi oleh keberadaan jaringan mesofil yang terletak di bawah jaringan epidermis adaksial, sehingga dalam kondisi stress lingkungan, epidermis adaksial bertugas dalam meminimalisir laju transpirasi agar efisiensi laju fotosintesis tidak terganggu.

#### 4.2.2.2 Ketebalan Jaringan Mesofil

Sama seperti hasil pengukuran jaringan epidermis, jaringan mesofil pada ketiga tanaman uji juga terlihat adanya perbedaan ketebalan yang dapat diamati pada Gambar 4.3.2.2 di bawah ini.



Gambar 4.2.2.2. Ketebalan jaringan mesofil daun tanaman pepaya (*Carica papaya* L.). A. Lokasi kontrol, B. Lokasi 1, C. Lokasi 2

Tabel 4.2.2.2. Nilai ketebalan jaringan mesofil daun tanaman pepaya

Lokasi Kontrol	Lokasi 1	Lokasi 2
87,03 $\mu\text{m}$	103,14 $\mu\text{m}$	106,13 $\mu\text{m}$
88,05 $\mu\text{m}$	98,71 $\mu\text{m}$	99,96 $\mu\text{m}$
82,05 $\mu\text{m}$	97,25 $\mu\text{m}$	96,04 $\mu\text{m}$
81,66 $\mu\text{m}$	99,14 $\mu\text{m}$	92,82 $\mu\text{m}$
73,15 $\mu\text{m}$	98,49 $\mu\text{m}$	98,40 $\mu\text{m}$
<b>Rata-rata: 82,38 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Rata-rata: 99,35 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Rata-rata: 98,67 <math>\mu\text{m}</math></b>

Ketebalan jaringan mesofil yang ditunjukkan dari hasil pengukuran ialah daun dari tanaman tercemar abu slag alumunium memiliki ketebalan yang lebih tinggi dibandingkan dengan jaringan mesofil daun dari tanaman kontrol. Nilai rata-rata ketebalan jaringan mesofil daun lokasi kontrol yakni 82,38  $\mu\text{m}$ , sedangkan untuk ketebalan jaringan mesofil daun lokasi 1 dan lokasi 2 berturut-turut ialah 99,35  $\mu\text{m}$  dan 98,67  $\mu\text{m}$ . Jaringan mesofil merupakan jaringan yang menentukan ketebalan helaian daun, sehingga hal tersebut berbanding lurus dengan pengamatan morfologi daun yang juga menunjukkan tingkat ketebalan antara daun lokasi 1 dan daun lokasi 2 lebih tinggi dibandingkan dengan daun kontrol. Meningkatnya ketebalan jaringan mesofil disebabkan karena berkurangnya luas permukaan daun akibat menurunnya kemampuan pembelahan sel yang juga berhubungan dengan penurunan unsur hara esensial akibat sifat toksik dari abu slag alumunium.

Liu, *et al.*, (2015) & Liu (2020) mengungkapkan bahwa jaringan mesofil yang lebih tebal berkontribusi dalam mempertahankan suhu internal dan status air yang lebih tinggi di daun, yang juga menjadi bentuk adaptasi terhadap ketersediaan air yang rendah pada suhu tinggi. Hal tersebut menunjukkan bahwa mesofil memainkan peran penting dalam mengurangi kerusakan jaringan dengan penyinaran matahari dan mempertahankan tingkat fotosintesis yang tinggi untuk bertahan hidup dalam lingkungan yang sub optimal.

#### **4.3 Pengaruh Abu Slag Alumunium terhadap Kadar Klorofil Total Daun Tanaman Pepaya (*Carica papaya* L.)**

Pengaruh abu slag alumunium terhadap kadar klorofil total daun tanaman pepaya dilakukan dengan pengujian kandungan klorofil total pada daun, karena klorofil merupakan komponen fundamental yang berperan dalam proses

fotosintesis, sehingga selanjutnya dapat diketahui keterkaitan antara morfologi daun yang berbeda dengan konsentrasi klorofil yang terdapat di dalamnya. Pengujian kandungan klorofil total dilakukan secara spektrofotometri dengan mengikuti metode Wintermans dan De Mots (1965). Hasil pengujian kandungan klorofil total daun tanaman pepaya dapat dilihat pada Tabel 4.2 sebagaimana yang ditampilkan berikut.

**Tabel 4.3. Hasil uji kadar klorofil total daun pepaya (*Carica papaya* L.)**

Sampel	Lokasi kontrol	Lokasi 1	Lokasi 2
Kadar klorofil total	98,95 g/ml	88,29 g/ml	90,29 g/ml

Hasil pengukuran kadar klorofil total daun pepaya (*Carica papaya* L.) pada tabel di atas memperlihatkan bahwa kadar klorofil total daun pada daerah kontrol lebih tinggi jika dibandingkan dengan kadar klorofil total pada lokasi 1 dan lokasi 2. Tanaman lokasi kontrol memiliki kadar klorofil total sebesar 98,95 g/ml, sedangkan pada tanaman lokasi 1 dan lokasi 2 secara berturut-turut adalah 88,29 g/ml dan 90,29 g/ml. Hal tersebut menunjukkan bahwa pada daerah tercemar abu slag alumunium, tanaman pepaya mengalami gangguan metabolisme dalam aktivitas fotosintesis.

Salah satu komponen utama yang terlibat dan berperan penting dalam aktivitas fotosintesis ialah klorofil. Setyanti (2013) menjabarkan bahwa terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi pembentukan klorofil yakni faktor genetik tanaman, ketersediaan air dan oksigen, intensitas cahaya, unsur hara, karbohidrat dan suhu. Selain itu, Arisusanti (2015) & Steiner, *et al.*, (2015) menuturkan bahwa ion alumunium yang terjerap dan terakumulasi pada permukaan akar juga akan menghambat aktivitas akar dalam menyerap unsur hara dalam tanah karena

adanya peningkatan ketebalan pada ujung akar yang diduga merupakan hasil dari akumulasi Al.

Mindari (2009) & Carlson (1993) lebih lanjut melaporkan bahwa pembuangan abu sisa pembakaran logam berat pada lingkungan bebas ternyata dapat menyebabkan penurunan konsentrasi N dan P tanah akibat nilai pH tanah yang menjadi meningkat (Tabel 4.4). Kondisi tersebut dibenarkan oleh pernyataan Sumarni, dkk. (2012) bahwa pada tanah basa, ion P akan bereaksi dengan Ca membentuk senyawa tidak larut sehingga menyebabkan ketersediaan unsur P dalam tanah menjadi rendah. Rahardjo & Ekwasita (2010) menyebutkan bahwa unsur P memiliki peran penting sebagai sumber energi pada setiap proses metabolisme tanaman, sebagaimana pernyataan lanjutan dari Sumarni, dkk. (2012) yang menjelaskan bahwa unsur P merupakan komponen enzim dan protein, ATP, DNA, RNA, dan fitin, yang masing-masing berperan penting dalam aktivitas fotosintesis.

Rendahnya jumlah klorofil menurut Pudiartono (2009); Cemda (2020); Sunada (2020); Roychoudhury (2019) & Irwan (2020) juga dapat disebabkan oleh defisiensi unsur N yang menjadi penyusun klorofil, yang berakibat menurunkan aktivitas fotosintesis, sehingga menyebabkan penghambatan perkembangan jaringan meristematis pada daun, seperti hasil pengamatan yang menunjukkan jumlah jari daun pepaya yang juga lebih sedikit dibandingkan dengan daun tanaman kontrol.

#### **4.4 Analisis Kimia Tanah**

Sifat toksik abu slag alumunium yang terakumulasi dalam tanah dengan jangka waktu lama menyebabkan kondisi kimia tanah berubah, sehingga

mengganggu pertumbuhan dan perkembangan tanaman yang tumbuh di atasnya.

Hasil analisis kimia tanah tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.4. berikut.

**Tabel 4.4. Hasil analisis kimia tanah**

No.	Contoh Tanah	Lokasi kontrol	Lokasi 1	Lokasi 2	Keterangan
1.	pH larut	6.25	7.87	7.59	Sangat rendah: < 4.0 Rendah: 4.1 – 5.5 Sedang: 5.6 – 7.5 Tinggi: 7.6 – 8 Sangat tinggi: > 8
2.	N (%)	0.13	0.16	0.17	Sangat rendah: < 0.1 Rendah: 0.11 – 0.2 Sedang: 0.21 – 0.5 Tinggi: 0.51 – 0.75 Sangat tinggi: > 0.75
3.	P (ppm)	32.0	6.9	12,4	Sangat rendah: < 5 Rendah: 5 – 10 Sedang: 11 -15 Tinggi: 16 -20 Sangat tinggi: > 20
4.	K (me)	0.13	0.19	0.13	Sangat rendah: < 0.1 Rendah: 0.1 – 0.3 Sedang: 0.4 – 0.5 Tinggi: 0.6 – 1.0 Sangat tinggi: > 1.0

Melalui Tabel 4.4. dapat diketahui bahwa lokasi penelitian kontrol memiliki nilai pH kategori sedang yakni 6,25 yang juga termasuk pH optimum bagi pertumbuhan tanaman pepaya, sedangkan untuk lokasi 1 dan lokasi 2 memiliki nilai pH tinggi yakni 7,87 dan 7,59 yang tidak sesuai dengan syarat tumbuh optimum tanaman pepaya. Hal tersebut dibenarkan oleh pernyataan Saran & Ravish (2019) bahwa nilai pH tanah yang baik bagi pertumbuhan tanaman pepaya ialah 6-6,5. Nilai pH tinggi pada lokasi 1 dan lokasi 2 diduga disebabkan oleh sifat toksik abu slag alumunium yang terakumulasi dalam tanah dengan jangka waktu lama. Kondisi tersebut dikuatkan dengan penjelasan dari Mindari (2009) &

Carlson (1993) bahwa pembuangan abu dengan penjelasan dari Mindari (2009) & Carlson (1993) bahwa pembuangan abu sisa pembakaran logam berat pada ekosistem darat dapat berdampak pada peningkatan nilai pH tanah, konsentrasi garam terlarut berlebih, penurunan konsentrasi N dan P tanah, sehingga menyebabkan ketidakseimbangan unsur hara tanah. Hal tersebut berhubungan dengan ketidaknormalan morfologi daun dan penurunan kadar klorofil total daun tanaman pepaya dari lokasi tercemar abu slag Al.

Sebagaimana pernyataan Pudiartono (2009); Rahardjo & Ekwasita (2010); Cemda (2020); Sunada (2020); Roychoudhury (2019) & Irwan (2020) yang menyatakan bahwa rendahnya kadar klorofil total pada daun dapat disebabkan oleh defisiensi unsur N dan P yang menjadi sumber energi dan penyusun klorofil, sehingga dapat menurunkan aktivitas fotosintesis dan berakibat pada penghambatan perkembangan jaringan meristematis daun, sebagaimana hasil pengamatan morfologi daun yang menunjukkan bangun tidak normal dan jumlah jari yang lebih sedikit dibandingkan dengan daun tanaman kontrol.

#### **4.5 Kajian Integrasi Keislaman Terkait Hasil Penelitian**

Perubahan-perubahan baik secara morfologi, anatomi maupun kadar klorofil total yang terjadi pada tanaman pepaya (*Carica papaya* L.) yang tumbuh pada lingkungan tercemar abu slag aluminium merupakan salah satu bentuk bukti adanya ketidakseimbangan yang terjadi di dalam ekosistem tersebut. Salah satu ketidakseimbangan yang dapat dilihat dari hasil penelitian adalah perubahan kadar kimia tanah seperti peningkatan pH tanah dan penurunan unsur hara esensial N, P, K. Perubahan kadar atau nilai yang tidak sesuai dengan kebutuhan semestinya menjadi salah satu penyebab tanaman pepaya melakukan perubahan mulai dari

morfologi, anatomi hingga kadar klorofil total sebagai respon atas lingkungan yang tidak sesuai. Allah SWT telah berfirman dalam al-Qur'an Surah al-Mulk ayat 3 yang berbunyi sebagai berikut.

الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ طِبَاقًا مَا تَرَى فِي خَلْقِ الرَّحْمَنِ مِنْ تَفَوُّتٍ فَارْجِعِ الْبَصَرَ هَلْ تَرَى مِنْ فُطُورٍ - ٣

Artinya: **“Yang menciptakan tujuh langit berlapis-lapis. Tidak akan kamu lihat sesuatu yang tidak seimbang pada ciptaan Tuhan Yang Maha Pengasih. Maka lihatlah sekali lagi, adakah kamu lihat sesuatu yang cacat?”**. (Q.S. Al-Mulk:67:3)

Penggalan ayat tersebut menegaskan bahwa Allah SWT menciptakan segala sesuatu dalam keadaan seimbang. Semua telah Allah SWT ciptakan dengan serasih dan seimbang sebagai bentuk kasih sayang Allah kepada ciptaan-Nya. Sebagaimana yang disampaikan oleh Shihab (2002) dalam *Tafsir al-Misbah* yang menyatakan bahwa kata *tafawut* mulanya memiliki makna berjauhan. Konsep berjauhan dalam hal ini yakni keseimbangan dan ketidakserasian. Allah SWT merupakan zat yang Maha Rahman, sehingga Allah menciptakan alam semesta beserta isinya dalam keadaan seimbang agar tercipta keserasian dan tidak terjadi kekacauan atau kerusakan di dalamnya. Maka, apabila terjadi kerusakan akibat ketidakseimbangan, hal tersebut merupakan ulah dari manusia yang berkedudukan sebagai ciptaan Allah paling sempurna karena dikaruniai akal dan pikiran. Seperti halnya ketidakseimbangan lingkungan yang terjadi di Desa Budugsidorejo Kec. Sumobito Kab. Jombang akibat cecaran abu slag alumunium yang menimbulkan beberapa kerusakan pada tanaman pepaya. Kerusakan lingkungan terjadi akibat adanya zat pencemar berupa logam berat alumunium berupa abu slag yang masuk ke dalam tanah hingga menyebabkan terhambatnya unsur hara untuk diserap oleh tanaman. Tanaman yang tidak mendapatkan unsur hara sesuai dengan

kebutuhannya akan mengalami penurunan dan perubahan dalam pertumbuhan dan perkembangannya. Hal tersebut juga telah Allah jelaskan dalam al-Qur'an Surah al-Hijr ayat 3 sebagaimana berikut.

وَالْأَرْضَ مَدَدْنَاهَا وَأَلْقَيْنَا فِيهَا رَوَاسِيَ وَأَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ شَيْءٍ مَّوْزُونٍ - ١٩

Artinya: “Dan Kami telah menghamparkan bumi dan Kami pancangkan padanya gunung-gunung serta **Kami tumbuhkan di sana segala sesuatu menurut ukuran**”. (Q.S. Al-Hijr:15:19)

Penggalan ayat di atas yang berbunyi, “*Kami tumbuhkan di sana segala sesuatu menurut ukuran*” dapat dihubungkan dengan konsep sebab akibat dalam penelitian ini, yakni adanya sifat toksik abu slag alumunium yang menyebabkan pencemaran dalam tanah dan udara, sehingga mengakibatkan kadar unsur hara tanah yang tidak sesuai ukuran atau kadar yang dibutuhkan tanaman pepaya (*Carica papaya* L.). Akibat hal tersebut, tanaman pepaya mengalami kerusakan-kerusakan seperti daun yang mengeriting dan menguning karena klorosis, ukuran jaringan epidermis dan jaringan mesofil yang berubah, serta kandungan total klorofil yang menurun akibat laju fotosintesis yang terganggu.

Arti kata *mauzun* dalam *Tafsir Fi Zhilalil-Qur'an Juz XVI* menjelaskan bahwa setiap tumbuhan yang Allah tumbuhkan di bumi diciptakan dalam penciptaan yang sangat teliti, rapi, dan tepat. Bersamaan dengan hal tersebut Shihab (2002) juga mengungkapkan bahwa sebagian ulama' memahami lafadz *wa an-batnā fihā min kulli syai'in mauzūnin* dengan makna bahwa berbagai macam tumbuhan di bumi telah ditumbuhkembangkan Allah SWT demi kelangsungan hidup serta telah ditetapkan masa pertumbuhan dan penuaian bagi setiap tanaman sesuai dengan jumlah dan kebutuhan makhluk hidup. Demikian pula, Allah menetapkan bentuknya sesuai dengan penciptaan dan habitat alamnya.

Sehubungan dengan kedua tafsir tersebut, maka terbukti bahwa kerusakan lingkungan yang terjadi merupakan akibat ulah tangan manusia. Bahkan Allah SWT telah menyatakan hal tersebut dalam al-Qur'an Surah Ali Imran ayat 182 yang berbunyi:

ذٰلِكَ بِمَا قَدَّمْتُمْ اَيْدِيكُمْ وَاَنَّ اللّٰهَ لَيْسَ بِظٰلِمٍ لِّلْعٰبِدِيْنَ - ١٨٢

Artinya: “Demikian itu disebabkan oleh perbuatan tanganmu sendiri, dan sesungguhnya Allah tidak menzalimi hamba-hamba-Nya”. (Q.S. Ali Imran:3:182)

Penyebutan kata *tanganmu* dalam kalimat: *disebabkan oleh perbuatan tanganmu sendiri* dalam Tafsir Al-Mishbah Volume 2 dijelaskan bahwa kebanyakan perbuatan manusia dilakukan dengan tangan yang merupakan salah satu organ yang melekat dengan dirinya sendiri, artinya perbuatan tersebut dilakukan atas kehendak pribadi. Selanjutnya kata *zhallām* dalam ayat tersebut berbentuk jamak, mengacu pada kata ‘*abīd*’ yang menunjukkan arti hamba-hamba-Nya, namun ditujukan kepada hamba-hamba yang bergelimang dosa, sedangkan untuk hamba-hamba-Nya yang taat atau berdosa namun menyadari kesalahan dan dosanya, dalam Al-Qur’an disebut dengan kata ‘*ibād*’. Ayat tersebut seakan-akan menyampaikan bahwa Allah tidak menganiaya setiap hamba yang berdosa. Hukuman tersebut merupakan suatu manifestasi sifat keadilan-Nya, karena Allah sama sekali tidak akan pernah berbuat curang kepada hamba-Nya (Shihab, 2002).

Melalui hasil penelitian ini terdapat tiga poin penting yang harus diperhatikan, yakni *muamalah ma’a Allah*, *muamalah ma’a an-Nās* dan *mu’amalah ma’a al-alam*. *Muamalah ma’a Allah* menuntut manusia sebagai seorang hamba untuk selalu mengingat Sang Penciptanya karena sejatinya

manusia diciptakan untuk beribadah kepada Allah. Sebagaimana kalam Allah SWT dalam al-Qur'an Surah Ali Imran ayat 190-191 yang berisi perintah agar manusia senantiasa mengingat Allah SWT dalam segala keadaan dan memikirkan akan penciptaan langit dan bumi yang diciptakan sebagai sarana untuk lebih mengenal Allah SWT (beribadah). Ahmad Musthafa Al-Maraghi dalam jurnal Sofia (2020) menafsirkan ayat di atas bahwa orang yang berakal adalah orang yang selalu menggunakan akalinya untuk memikirkan ciptaan dan rahasia-rahasia keagungan-Nya serta merasa bahwa Allah selalu mengawasinya dalam setiap waktu agar dapat mengambil hikmah serta faedah, sehingga dapat lebih mengenal dan mendekatkan diri kepada Allah SWT.

Bentuk keseimbangan dalam lingkungan merupakan salah satu bentuk Rahmat Allah kepada semua makhluk-Nya, sehingga tercipta suasana yang nyaman dalam melakukan segala aktivitas. Wujud ketidakseimbangan lingkungan yang diwakilkan oleh beberapa perubahan pada morfologi, anatomi dan kadar klorofil total tanaman pepaya di Desa Budugsidorejo menjadi bukti atas kelalaian manusia dalam menjaga lingkungannya. Al-Qur'an Surah Al-A'raf ayat 56 menjadi ayat yang menyampaikan teguran Allah akan peristiwa ini, yang berbunyi:

وَلَا تُفْسِدُوا فِي الْأَرْضِ بَعْدَ إِصْلَاحِهَا وَادْعُوهُ خَوْفًا وَطَمَعًا إِنَّ رَحْمَتَ اللَّهِ قَرِيبٌ  
مِّنَ الْمُحْسِنِينَ - ٥٦

Artinya: *“Dan janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi setelah (diciptakan) dengan baik. Berdoalah kepada-Nya dengan rasa takut dan penuh harap. Sesungguhnya rahmat Allah sangat dekat kepada orang yang berbuat kebaikan”*. (Q.S. Al-A'raf:7:56)

Betapa Allah adalah Dzat Maha Baik yang tidak pernah berhenti membuka pintu Rahmat kepada hamba-hamba-Nya. Cukuplah menjadi pelajaran dan bukti

bahwa Allah sangat menyayangi hamba-Nya sehingga Allah peringatkan agar segera memohon ampun (bertaubat) dan kembali berbuat kebaikan (tidak mencemari lingkungan). Bentuk kesadaran yang tinggi dengan menjauhi semua larangan Allah dan menjalankan semua yang diperintahkan-Nya akan mengantarkan manusia dalam ketaatan dan ketakwaan sebagai seorang hamba. Menjaga lingkungan dari segala bentuk kerusakan dengan tidak mencemarinya dari berbagai bentuk limbah atau cemaran tentu juga merupakan sebuah bentuk ketaatan yang bernilai ibadah.

Tidak hanya mengingatkan pada *muamalah ma'a Allah*, pencemaran logam berat Al dan dampaknya di Desa Budugsidorejo juga mengantarkan manusia agar selalu ingat akan hubungannya dengan sesama (*muamalah ma'a an-Nās*). Hubungan antara manusia satu dengan manusia lainnya adalah hubungan yang saling membutuhkan satu sama lain. Saling mengingatkan untuk senantiasa menjaga lingkungan dan tidak mencemarinya merupakan salah satu bentuk kepedulian kepada sesama. Memberikan informasi terkait perubahan bentuk morfologi, anatomi dan kadar klorofil total tanaman pepaya (*Carica papaya* L.) akibat cemaran abu slag Alumunium juga akan mengingatkan kepada sesama (manusia) akan pentingnya menjaga lingkungan, karena sejatinya sebaik-baik manusia adalah yang bermanfaat bagi sesamanya. Allah SWT mewahyukan dalam Al-Qur'an penggalan Surah Al-Maidah ayat 32 sebagaimana berikut.

...وَمَنْ أَحْيَاهَا فَكَانَتْ مَوْجِبَةً لِّوَجْهِ الْكَرِيمِ  
 فِي الْأَرْضِ لِمُسْرِفُونَ - ٣٢

Artinya: “...Barangsiapa memelihara kehidupan seorang manusia, maka seakan-akan dia telah memelihara kehidupan semua manusia. Sesungguhnya Rasul Kami telah datang kepada mereka dengan (membawa) keterangan-keterangan yang jelas. Tetapi kemudian banyak di antara mereka setelah itu melampaui batas di bumi”. (Q.S. Al-Maidah:5:32)

Sama halnya dengan perilaku mencemari lingkungan yang dilakukan sebagian manusia namun menimbulkan kerugian pada manusia yang lain. Menjaga kehidupan satu tumbuhan pepaya agar dapat tumbuh dengan baik juga berarti menjaga keberlangsungan kehidupan makhluk hidup lainnya, karena Rasulullah SAW juga bersabda dalam Hadits riwayat At-Tirmidzi sebagaimana berikut (Istianah, 2015).

الرَّاحِمُونَ يَرْحَمُهُمُ الرَّحْمَنُ، ارْحَمُوا مَنْ فِي الْأَرْضِ يَرْحَمْكُمْ مَنْ فِي السَّمَاءِ

Artinya: “Orang-orang yang penyayang niscaya akan disayangi pula oleh ar-Rahman (Allah). Sayangilah makhluk yang ada di bumi, niscaya makhluk yang ada di langit akan menyayangi kalian” (HR. Tirmidzi, dinyatakan hasan sahih oleh Tirmidzi dan disahihkan al-Albani)

Kondisi ini menunjukkan salah satu kunci utama dalam menjaga keseimbangan kehidupan ialah dengan menjaga dan melestarikan lingkungan tanpa merusak dan mencemarinya. Tidak mencemari lingkungan dengan suatu limbah apapun berarti telah menjaga keseimbangan yang ada dalam tanah baik untuk kehidupan mikroorganisme tanah, mikroba tanah, maupun unsur-unsur kimia dalam tanah. Kondisi tanah yang seimbang selanjutnya akan menjamin kehidupan makhluk hidup yang tumbuh di atasnya, misalnya tumbuh-tumbuhan yang juga bergantung akan status tanah yang sehat, sehingga mendukung proses pertumbuhannya maupun perkembangan tumbuhan. Tersedianya tumbuh-tumbuhan yang sehat selanjutnya akan dapat menjadi sumber penghidupan bagi makhluk hidup lainnya mulai dari hewan terkecil hingga terbesar dan tentunya juga untuk pemenuhan kebutuhan manusia, sehingga dari sini *muamalah ma'a al-alam* dapat tercapai karena melalui hal tersebut ekosistem yang seimbang dan stabil dapat tercipta. Maka dalam hal ini pula, sebagai makhluk berakal, saling mengingatkan

sesama juga menjadi sebuah keharusan agar amanah dari Allah SWT kepada *khalifah* di bumi (manusia) dalam menjaga dan merawat Rahmat dan Ciptaan-Nya dapat terwujud dengan baik. Sebagaimana di bawah ini Firman Allah SWT dalam al-Qur'an Surah an-Nisa' ayat 58 bahwa kekuasaan dan wewenang yang Allah berikan merupakan amanah yang harus dijalankan sebaik-baiknya.

إِنَّ اللَّهَ يَأْمُرُكُمْ أَنْ تُؤَدُّوا الْأَمَانَاتِ إِلَىٰ أَهْلِهَا وَإِذَا حَكَمْتُمْ بَيْنَ النَّاسِ أَنْ تَحْكُمُوا بِالْعَدْلِ إِنَّ اللَّهَ نِعِمَّا يَعِظُكُمْ بِهِ إِنَّ اللَّهَ كَانَ سَمِيعًا بَصِيرًا - ٥٨

Artinya: “*Sungguh, Allah menyuruhmu menyampaikan amanat kepada yang berhak menerimanya, dan apabila kamu menetapkan hukum di antara manusia hendaknya kamu menetapkannya dengan adil. Sungguh, Allah sebaik-baik yang memberi pengajaran kepadamu. Sungguh, Allah Maha Mendengar, Maha Melihat.*” (Q.S. an-Nisa':4:58)

Shihab (2002) dalam *Tafsir al-Mishbah*-nya menerangkan bahwa perintah ini benar-benar sangat ditekankan, karena ayat tersebut langsung menyebut lafadz Allah sebagai yang memerintahkan. Allah mengutus manusia agar menjalankan segala bentuk amanah dengan sempurna dan tepat waktu kepada *pemiliknya*, yakni yang berhak menerimanya, baik amanah dari Allah maupun amanah dari manusia, karena sesungguhnya agama juga mengajarkan bahwa amanah merupakan asas keimanan yang harus dijaga.

## **BAB V PENUTUP**

### **5.1 Kesimpulan**

Kesimpulan yang dapat diambil dari hasil penelitian dan pembahasan di atas adalah sebagai berikut:

1. Morfologi akar tanaman pepaya (*Carica papaya* L.) yang tumbuh pada lahan tercemar abu slag alumunium menunjukkan adanya perubahan warna dan penurunan panjang atau diameter, sedangkan pada daun menunjukkan perubahan warna serta penurunan panjang, diameter, dan jumlah jari daun.
2. Anatomi akar tanaman pepaya (*Carica papaya* L.) yang tumbuh pada lahan tercemar abu slag alumunium menunjukkan adanya peningkatan pada ketebalan jaringan epidermis dan jumlah jaringan pengangkut xilem, namun mengalami penurunan untuk jumlah dan ukuran pada jaringan pengangkut floem. Perubahan yang terlihat pada anatomi daun ialah peningkatan ketebalan jaringan epidermis adaksial dan abaksial serta peningkatan ketebalan pada jaringan mesofil.
3. Kadar klorofil total daun tanaman pepaya (*Carica papaya* L.) yang tumbuh pada lahan tercemar abu slag alumunium mengalami penurunan jika dibandingkan dengan daun tanaman kontrol.

### **5.2 Saran**

Saran untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengukuran akumulasi logam Al dari abu slag alumunium yang terdapat pada tanah, akar, daun, maupun organ lainnya, agar terdeteksi jumlah kadar Al yang mampu mempengaruhi perubahan morfologi, anatomi dan kadar klorofil daun tanaman pepaya (*Carica papaya* L.).

## DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, M., Eko, B. M. & Suyono. 2020. Kunci Tadabbur dan Integrasi Al-Qur'an dalam Pembelajaran Biologi: *Bioeduca: J. Pend. Bio.* 2(2):35-49.
- Ali, S., *et al.* 2012. The Influence of Silicon on Barley Growth, Photosynthesis and Ultra-Structure under Chromium Stress: *Elsevier.* (89):66–72.
- Alponsin, dkk. 2017. Studi Anatomi Daun Cantigi (*Vaccinium korinchense* Ridl.) pada Altitud Berbeda di Gunung Talang: *J. Metamorf.* 4(1):114-121.
- Al-Qur'anul Karim dan Terjemahannya versi Kemenag RI: <https://quran.kemenag.go.id/>
- Asngad, A. 2013. Inovasi Pupuk Organik Kotoran Ayam dan Enceng Gondok Dikombinasi dengan Bioteknologi Mikoriza Bentuk Granul: *J. MIPA.* 36(1):1-7.
- Atabik, A. 2015. Konsep Penciptaan Alam: Studi Komparatif-Normatif antar Agama-Agama: *J. Ilm. Aqd. dan Std. Keag.* 3(1):101-220.
- Azura, A.E. *et al.* 2011. Root Elongation, Root Surface Area and Organic Acid by Rice Seedling Under  $Al^{3+}$  and/or  $H^+$  Stress: *Amer. J. of Agric. and Sci.* 6(3):324-331.
- Baja, S. 2012. *Perencanaan Tata Guna Lahan dalam Pengembangan Wilayah-Pendekatan Spasial dan Aplikasinya.* CV. ANDI OFFSET: Yogyakarta.
- Bakshi, S. & Chumki, B. 2018. The Impact of Heavy Metal Contamination on Soil Health: *Burl. Dod. Sci. Publishing.* 2:1-33.
- Balasubramanian, A. 2017. *Chemicals Properties of Soils.* Centre for Advanced Studies in Earth Science: Myore.
- Batista, *et al.* 2014. Aluminum in Corn Plants: Influence on Growth and Morpho-anatomy of Root and Leaf: *R. Bras. Ci. Solo.* 37:177-187.
- Batool, R., *et al.* 2015. Physio-Anatomical Responses of Plants to Heavy Metals: *Springer Sci.* 79-96.
- Batool, R., *et al.* 2014. Structural and Functional Response to Metal Toxicity in Aquatic *Cyperus alopecuroides* Rottb.: *Limnolog.* 48:46-56.
- Bojórquez-Quintal *et al.* 2017. Aluminum, a Friend or Foe of Higher Plants in Acid Soils: *Front. in Plants Sci* 8:1-18.

- BPS. 2019. *Produksi Tanaman Buah-Buahan*. Badan Pusat Statistik: Jakarta.
- Budiastuti, P., Mursid, R., Nikie, A.Y.D. 2016. Analisis Pencemaran Logam Berat Timbal di Badan Sungai Babon Kecamatan Genuk Semarang: *J. Kes. Masy.* 4(5):2356-3346.
- Carlson, C.L & Domy C. A. 1993. Environmental Impacts of Coal Combustion Residues: *J. Envi. Qual.* 22:227-247.
- Cemda, A.R. & Wan A. B. 2020. The Characteristic of Palm Oil Seedlings Growth at Pre Nursery by Application of Bio-Urine of Goat: *Wahana Inovasi.* 9(2):142-153.
- Ciamporova, M. 2002. Morphological and Structural Respons of Plant Root to Aluminium at Organ, Tissue, and Cellular Levels: *Bio. Plantarum.* 45(2):161-171.
- Darmawan, B. 2012. Pengaruh Penggunaan Lumpur Limbah Industri Penyamakan Kulit terhadap Penyerapan Krom pada Tanaman Sawi: *Maj. Kulit, Karet dan Plastik.* 28(2):69-78.
- De Silva, N.D.G., Ewa C., & Peter R. 2012. Effects of Combined Drought and Heavy Metal Stresses on Xylem Structure and Hydraulic Conductivity in Red Maple (*Acer rubrum* L.): *J. of Exp. Bot.* 63(16):5957-5966.
- Dey, U. & Mondal, N.K. 2016. Ultrastructural Deformation of Plant Cell Under Heavy Metal Stress in Gram Seedlings: *Cog. Env. Sci.* 2:1-12.
- Doganlar, *et al.* 2012. Heavy Metal Pollution and Physiological Changes in The Leaves of Some Shrub, Palm and Tree Species in Urban Areas of Adana, Turkey: *Chemical Speciation & Bioavailability.* 24(2):65-78.
- Dubey, S., *et al.* 2018. Toxicity and Detoxification of Heavy Metals During Plant Growth and Metabolism: *Springer.* 1-24.
- Emamverdian, *et al.* 2015. *Review Article: Heavy Metal Stress and Some Mechanisms of Plant Defense Response: The Sci. World J.* 1-19.
- Epron, D. *et al.*, 2018. The Impact of Prolonged Drought on Phloem Anatomy and Phloem Transport in Young Beech Trees: *Tree Phy.* 1-10.
- Faizah, M. & Anggi I. Y. 2019. *Manfaat Biofertilizer dan Mikoriza terhadap Tanaman Kedelai*. Jombang: LPPM Universitas K.H. A. Wahab Hasbullah.
- Febjislami, S., dkk. 2018. Karakteristik Morfologi Bunga, Buah, dan Kualitas Buah Tiga Genotipe Pepaya Hibrida: *Bul. Agro.* 6(1):112-119.

- Fenta, B. A., *et al.*, 2014. Field Phenotyping of Soybean Roots for Drought Stress Tolerance: *J. Agro.* 4(3):418-435.
- Firmansyah, A. M. 2010. Respon Tanaman terhadap Alumunium: *J. Agri.* 6(2):807-818.
- Firnia, D. 2018. Dinamika Unsur Fosfor pada Tiap Horison Profil Tanah Masam: *J. Agro.* 10(1):45-52.
- Flores, V. R., *et al.* 2018. Heavy Metals Accumulation in Banana (*Musa spp.*) Leaves from Industrial Area in Rio de Janeiro: *The Elec. J. of Chem.* 10(4):364-366.
- Foy, C. D. 1978. The Physiology of Metal Toxicity in Plants: *Ann. Rev. Plan Phys.* 29:511-566.
- Furlan, *et al.* 2018. Aluminum-Induced Stress Differently Modifies Urochloa Genotypes Responses on Growth and Regrowth: Root-to-Shoot Al-Translocation and Oxidative Stress: *Theor. Exp. Plant Phys.*
- Gibson, M., Kasman, & Iqbal. 2017. Analisa Kualitas Klorofil Daun Jarak Kepyar (*Ricinus comunis* L.) sebagai Bahan Pewarna pada *Dye Sensitized Solar Cell* (DSSC). 16(2):31-40.
- Gomes, M. P., *et al.* 2011. Ecophysiological and Anatomical Changes Due To Uptake and Accumulation of Heavy Metal in *Brachiaria decumbens*: *Sci. Agri.* 68(5):566-573.
- Google Earth, 2021. Budugsidorejo Jombang. <https://earth.google.com/web/search/budugsidorejo+kabupaten+jombang/@7.50077913,112.37316196,24.20917427a,492.4148199d,35y,0h,0t,0r/data=CigiJgokCajFO4UYkh3AEZCSkWRynh7AGWF5e5GfJlxAIQLnoTVwA1xA>. Diakses 10 Mei 2021.
- Grattan, S. 2012. Soil pH Extremes. *CAB Int. Plants Stress Phys.*
- Gunawan, N. W. & Sri, W. B. R. 2019. Karakteristik Sifat Kimia Tanah dan Status Kesuburan Tanah pada Agroforestri Tanaman Sayuran Berbasis *Eucalyptus* Sp.: *J. Silvi. Trop.* 10(2):63-69.
- Guo, W., *et al.* 2016. Magnesium deficiency in Plants: An Urgent Problem: *The Crop J.* 4:83-91.
- Hamzah, A. 2014. *Bertanam Pepaya California*. PT AgroMedia Pustaka: Jakarta.
- Handayanto, E., dkk. 2017. *Fitoremediasi dan Phytomining Logam Berat Pencemar Tanah*. UB Press: Malang.

- Hidayat, B. 2015. Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat dengan Menggunakan Biochar: *J. Pert. Trop.* 2(1):51-61.
- Hidayati, N. 2013. Mekanisme Fisiologi Tumbuhan Hiperakumulator Logam Berat: *J. Tek. Ling.* 14(2):75-82.
- Hidayati, N., dkk. 2017. Pengaruh Kekeringan terhadap Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman Nyamplung (*Callophylum inophyllum* L.) dan Johar (*Cassia florida* Vahl.) dari Provenan yang Berbeda: *J. Pem. Tanaman Hut.* 11(2):99-111.
- Holtta, T., Miika K. & Eero M.. 2013. Scaling of Xylem and Phloem Transport Capacity and Resource Usage with Tree Size: *Front. in Plant Sci.: Plant Biophysics and Modeling.* 4:1-19.
- Hwang, J. Y., Huang, X. & Xu, Z. 2006. Recovery of Metals from Aluminium Dross and Saltcake: *J. of Min. and Materials Charac. and Eng.* 5(1):47-62.
- Irwan, Z. 2020. Kandungan Zat Gizi Daun Kelor (*Moringa oleifera*) berdasarkan Metode Pengeringan: *J. Kes. Manarang.* 6(1):69-77.
- Istianah. 2015. Upaya Pelestarian Lingkungan Hidup dalam Perspektif Hadis: *J. Riwayah.* 1(2):249-269.
- J. J. D'Amore, S. R. Al-Abed, K. G. Scheckel, & J. A. Ryan, 2005. "Methods for Speciation of Metals in Soils: A Review," *J. of Env. Qual.* 34(5):1707-1745.
- Jarup, L. 2003. Hazards of Heavy Metal Contamination. *Bri. Medi. Bul.* 68:167-182.
- Javed, M. T. 2011. *Mechanisms Behind pH Changes by Plant Roots and Shoots Caused by Elevated Concentration of Toxic Elements.* Stockholm University: Sweden.
- Jimenez, V. M. & Marco, G. 2019. *Biology of Papaya Plant.* University of Costa Rica: Liberia.
- Joseph, S. B. 2008. *Papaya Production.* The Ministry of Agriculture, Land and Marine Resources: Spanyol.
- Karamina, H., Murti, A.T. & Mudjoko, T. 2018. Analisis Kandungan Logam Berat Aluminium (Al) dan Timbal (Pb) pada Buah Jambu Biji Varietas Kristal (*Psidium guajava* L.) dan Tanah di Desa Bumiaji, Kota Batu: *J. Kult.* 17(3):744-749.

- Kim, H. K., Joonghyuk P. & Ildoo H. 2014. Investigating Water Transport Through The Xylem Network in Vascular Plants: *J. of Exp. Bot.* 65(7):1895-1904.
- Kochian, L. V. 1995. Cellular Mechanisms of Aluminium Toxicity and Resistance in Plants: *Ann. Rev. Plant Phy. Plant Mol. Biol.* 46:237-260.
- Kopittke, P. M. *et al.* 2021. Identification of the Primary Lesion of Toxic Aluminium in Plant Root: *Plant Phys.* 167:1402-1411.
- Kurnia, R. 2018. *Fakta Seputar Pepaya*. Bhuana Ilmu Populer: Jakarta.
- Legesse, *et al.*, 2017. Effect of Aluminum Toxicity on Root Growth and Morphology of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Genotypes: *Int. J. of Plant & Soil Sci.* 14(1):1-13.
- Liu, A. & Bomke, A. A. 2004. Effect of Cover Crops on Soil Aggregate Stability, Total Organic Carbon and Polysaccharides: *J. Soil Sci.* 69(1):2041-2048.
- Liu, W., Li Z. & Danhui Q. 2020. Variation in Leaf Traits at Different Altitudes Reflects The Adaptive Strategy of Plants to Environmental Changes: *Eco. and Evo.* 10:8166-8175.
- Liu, Y., *et al.* 2015. Epidermal Micromorphology and Mesophyll Structure of *Populus euphratica* Heteromorphic Leaves at Different Development Stage: *J. Plos One.* 10(9):1-16.
- Lupitasari, D., dkk. 2020. Pengaruh Cahaya dan Suhu Berdasarkan Karakter Fotosintesis *Ceratophyllum demersum* sebagai Agen Fitoremediasi: *Jurnal Kartika Kimia.* 3(1):33-38.
- Lux, A. A., *et al.* 2004. Differences in Structure of Adventitious Roots in *Salix* clones with Contrasting Characteristic of Cadmium Accumulation and Sensitivity: *Phys. Plantarum.* 120(4):537-545.
- Mahinroosta, M. & Ali A. 2018. Hazardous Aluminum Dross Characterization and Recycling Strategies: A Critical Review: *J. of Env. Manag.*
- Mahouachi, J., Ana R. S. & Manuel T. 2006. Responses of Papaya Seedlings (*Carica papaya* L.) to Water Stress and ReHydration: Growth, Photosynthesis and Mineral Nutrient Imbalance: *Plant and Soil.* 281:137-146.
- Mallick, N., & Rai, L.C. 2001. *Physiological Response of Non-Vascular Plants to Heavy Metals.* In: Prasad, M.N.V., Strzalka, K. (eds). *Physiology and Biochemistry of Metal Toxicity and Tolerance in Plants.* Kluwer Academic Publishers: The Netherlands.

- Marschner, H. 1995. *Mineral Nutrition of Higher Plants Second Edition*. Academic Press: USA.
- Mindari, W. 2009. Cekaman Garam dan Dampaknya pada Kesuburan Tanah dan Pertumbuhan Tanaman. UPN "Veteran" Jawa Timur: Surabaya.
- Ming, R., *et al.*, 2008. *Genomics of Papaya, a Common Source of Vitamins in the Tropics*. In: Moore PH, Ming R (eds) *Genomics of Tropical Crop Plant*. Springer Science: USA.
- Murti V. M. & Maryani. 2020. Anatomical Responses of Marigold (*Tagetes erecta* L.) Roots and Stems to Batik Wastewater: *The 6th International Conference on Biological Science ICBS 2019*. AIP Conference Proceedings 2260.
- Muthu, *et al.* 2021. Reviewing the Impact of Vehicular Pollution on Road-Side Plants-Future Perspectives: *Sustainability*. 13:1-14.
- Nakajima, K. *et al.* 2007. Material Flow Analysis of Aluminum Dross and Environmental Assessment for Its Recycling Process: *Mat. Trans.* 48(8):2219-2224.
- Office of The Gene Technology. 2008. *The Biology of Carica papaya L. (papaya, papaw, paw paw)*. Departement of Health and Ageing Office of the Gene Technology Regulator: Australia.
- Ozygit *et al.* 2013. Long-Term Effects of Alumunium and Cadmium on Growth, Leaf Anatomy, and Photosynthetic Pigments of Cotton: *Com. in Soil Sci. and Plant Anlys.* 44:3076-3091.
- Paembonan, S. A. 2020. *Silvika Ekofisiologi dan Pertumbuhan Pohon*. Fakultas Kehutanan Universitas Hasanuddin: Makassar.
- Panawala, L. 2017. Difference Between Upper and Lower Epidermis, <https://www.researchgate.net/publication/320583249>. Diakses 20 Oktober 2021.
- Pasley, R. S. 2003. *The Physical and Chemical Reclamation and Recycling of Elements from Black Alumunium Furnace Residue*. Brunel University: London.
- Paul, S., *et al.*, 2017. Effect of High Temperature on Yield Associated Parameters and Vascular Bundle Development in Five Potato Cultivars: *Scientia Horticulturae*.225:134-140.
- Pidjath, C., *et al.* 2021. Morpho-Physiological Changes of Four Tropical Tree Seedlings Under Aluminum Stress: *Biodiv.* 22(3):1211-1220.

- Pinterest. 2021. Gambar Sketsa Pohon Pepaya, <https://id.pinterest.cpm/pin/485051822338752316/>. Diakses 13 Desember 2021.
- Prastyo, K. A. 2015. Uji Konsentrasi Klorofil Daun Temu Mangga (*Curcuma mangga* Val.), Temulawak (*Curcuma xanthorrhiza*), dan Temu Hitam (*Curcuma aeruginosa*) dengan Tipe Kertas Saring yang Berbeda Menggunakan Spektrofotometer. *Seminar Nasional Konservasi dan Pemanfaatan Sumber Daya Alam*.
- Prijambada, I. D. 2014. *Peran Mikroorganisme dalam Penyerapan Logam Berat oleh Tanaman*. UGM Press: Yogyakarta.
- Pudyartono, P. 2009. Pengaruh Media Tanam dan Pemupukan Urea terhadap Pertumbuhan dan Produksi Sawi (*Brassica juncea* L.): *Sain. J. Ilmu-Ilmu Eksak*. 1(1):59-67.
- Qaderi, M. M., Ashley B. M. & Sage L. D. 2019. Environmental Factors Influence Plant Vascular System and Water Regulation: *Plant*. 8(65):1-23.
- Rahardjo, M. & Ekwasita R. P. 2010. Pengaruh Pupuk Urea, SP36, dan KCl terhadap Pertumbuhan dan Produksi Temulawak (*Curcuma xanthoriza* Roxb): *J. Lit*. 16(3):98-105.
- Rahmadi, R. 2018. Puluhan Tahun, Warga Jombang Hirup Aroma Limbah Beracun. <https://mongabay.co.id/2018/05/29/puluhan-tahun-warga-jombang-hirup-aroma-limbah-beracun/>. Diakses 9 Maret 2021.
- Rajiman. 2020. *Pengantar Pemupukan*. Deepublish: Yogyakarta.
- Ratnawulan. 2019. *Bioluminisensi Kunang-Kunang (Sifat Fisis dan Potensi Aplikasinya)*. CV IRDH: Purwokerto.
- Raman, H., Meixue Z. & Zhang, G. P. 2006. Aluminium Tolerance in Barley (*Hordeumvulgare* L.): Physiological Mechanisms, Genetics and Screening Methods: *J. of Zhejiang University SCIENCE B*. 7(10):769-787.
- Reddy, S. M. & Neeraja, D. 2016. Mechanical and Durability Aspects of Concrete Incorporating Secondary Aluminium Slag: *Sci. Direct*. 2:225-232.
- Rini, D. S. 2019. Dampak Pencemaran Limbah B3 Slag Alumunium Akibat Kegiatan Industri Peleburan Dross Alumunium di Jombang. <http://ecoton.or.id/2019/04/23/1600/>. Diakses 9 Maret 2021.
- Rochayati, S. 2018. *Interpretasi Data Hasil Analisis Tanah, Tanaman, dan Pupuk*. Balitbangtan Kementan: Bogor.

- Rout, G. *et al.* 2001. Aluminium Toxicity in Plants: A Review: *Agronom.* 21(1):3-21.
- Roy, A. K., *et al.* 1988. Some Aspects of Aluminum Toxicity in Plants: *The Bot. Rev.* 54:145-178.
- Roychoudgury, A. & Duegesh, K. T. 2019. *Molecular Plant Abiotic Stress: Biology and Biotechnology.* John Wiley & Sons: India.
- Ryser, P. 2007. Growth, Root and Leaf Structure, and Biomass Allocation in *Leucanthemum vulgare* Lam. (Asteraceae) as Influenced by Heavy-Metal-Containing Slag: *Plant Soil.* 301:315-324.
- Saran & Ravish C. 2019. *Advances in Papaya Cultivation.* Burleigh Dodds Science Publishing: UK.
- Saraswati, Komang, A. P. & Mohammad, R. 2020. Potensi Pemanfaatan Slag Alumunium sebagai Substitusi Semen dalam Proses Stabilisasi/Solidifikasi Limbah B3 dengan Kajian Pustaka: *J. Env.* 12(2):53-58.
- Sarie, H. 2019. Potensi Bahaya Kontaminasi Logam Berat di Lahan Bekas Tambang Batubara yang Digunakan Sebagai Lahan Pertanian: *Bul. LOUPE.* 15(2):37-41.
- Setyanti, Y. H., Anwar, & Slamet, W. 2013. Karakteristik Fotosintetik dan Serapan Fosfor Hijauan Alfalfa (*Medicago satva*) pada Tinggi Pemotongan dan Pemupukan Nitrogen yang Berbeda: *An. Agri. J.* 2(1):86-96.
- Shihab, Q. 2002. *Tafsir al-Mishbah Pesan, Kesan dan keserasian Al-Qur'an.* Lentera Hati Press: Jakarta.
- Signh, R. P. & M. Agrawal. 2009. Use of Sawage Sludge as Fertiliser Supplement for *Abelmoschus esculentus* Plants: Physiological, Biochemical and Growth Responses: *Int. J. Env. and Waste Manag.* 3(1):91-106.
- Silva, *et al.* 2007. Papaya (*Carica papaya* L.) Biology and Biotechnology: *Tree and Forestry Sci. and Bio.* 1(1):47-73.
- Silva, *et al.* 2020. Differential Accumulation of Aluminum in Root Tips of Soybean Seedlings: *Braz. J. of Bot.*
- Sumanjuntak, H. 2021. *Paradigma Rehabilitasi dan Reklamasi Kawasan Hutan.* Nas Media Pustaka: Yogyakarta.
- Sinaga, N. A. 2016. Pemanfaatan Limbah Alumunium sebagai Bahan Baku Aksesoris: *e-Proceeding of Art and Design.* 3(2):269-279.

- Situmeang, Y. P. 2020. *Biochar Bambu Perbaiki Kualitas Tanah dan Hasil Jagung*. Scopindo Media Pustaka: Surabaya.
- Soekamto, M. H. 2015. Kajian Status Kesuburan Tanah di Lahan Kakao Kampung Klain Distrik Mayamuk Kabupaten Sorong: *J. Agro*. 10(3):201-208.
- Sofia, W. N. 2020. Interpretasi Imam Al-Maraghi dan Ibnu Katsir terhadap QS. Ali Imran ayat 190-191: *J. of Islamic Edu*. 2(1):41-57.
- Sopandie, D. 2013. *Fisiologi Adaptasi Tanaman terhadap Cekaman Abiotik pada Agroekosistem Tropika*. IPB Press: Bogor.
- Steiner, *et al.* 2012. Effects of Aluminum on Plant Growth and Nutrient Uptake in Young Physic Nut Plants: *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*,. 33(5):1779-1788.
- Steiner, *et al.* 2015. Effects of Aluminum on Plant Growth and Nutrient Uptake in Young Physic Nut Plants: *SEMINA: CIENCIAS AGRARIAS*. 33(5):1779-1788.
- Storey, W.B. 1953. Genetics of Papaya: *The J. of Heredity*. 44(2):70-78.
- Suharti, Mukarlina & Dwi, G. 2017. Struktur Anatomi Akar, Batang dan Daun Gaharu (*Aquilaria malaccensis* Lamk.) yang Mengalami Cekaman Kekeringan: *J. Prot*. 6(2):38-44.
- Sujiprihati, S & Ketty S. 2009. *Budidaya Pepaya Unggul*. Penebar Swadaya Grup: Bogor.
- Suleman, dkk. *Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk*. Balai Penelitian Tanah: Bogor.
- Sumarni, N., dkk. 2012. Respons Tanaman Bawang Merah terhadap Pemupukan Fosfat pada Beberapa Tingkat Kesuburan Lahan (Status P-Tanah): *J. Hort*. 22(2):129-137.
- Sunada, I.W. 2020. Aplikasi Teknologi Inovasi Pupuk Organik Cair Bio-Inokulum Plus Guna Peningkatan Pertumbuhan dan Produksi Tanaman: *J. Bali Membangun Bali*. 1(1):47-62.
- Sutikno. 2016. *Buku Panduan Mikroteknik Tumbuhan (BIO 30603)*. UGM Press: Yogyakarta.
- Syafi', M. 2018. Ketika Limbah Abu Aluminium Menjadi Material Pengurug Jalan. <https://regional.kompas.com/read/2018/08/31/22043611/ketika-limbah-abu-aluminium-menjadi-material-pengurug-jalan?page=all>. Diakses 9 Maret 2021.

- Tanentzap, F. M. 2015. *Interactions Between Metal and Drought Stressors on Plant Water Relationships and Their Effects at Ecosystem Level*. Canada: The Faculty of Graduate Studies Laurentian University.
- Tanti, T., dkk. 2017. *Logam Berat dan Kesehatan*. UGM Press: Yogyakarta.
- Tihurua, E. F., Esthi L. A. & Kusuma R. 2020. Karakter Anatomi Daun sebagai Bentuk Adaptasi Tumbuhan Penyusun Zonasi *Mangrove* di Banggai Kepulauan, Provinsi Sulawesi Tengah: *J. Kelautan Trop*. 23(2):255-264.
- Tim Penyusun. 2007. *Media Tanam untuk Tanaman Hias*. Niaga Swadaya: Depok.
- Tsakiridis, P. E. 2012. Aluminium Salt Slag Characterization and Utilization- A Review: *J. of Hazard. Mat*. 1-10.
- Tuna, M.R., dkk. 2015. Uji Daya Hambat Ekstrak Daun Sirsak (*Annona muricata* L.) terhadap Pertumbuhan *Staphylococcus aureus* Secara *in Vitro*: *Pharmakon J. Ilm. Farm*. 4(4):2302-2493.
- USEPA. 1996. *Recent Developments for In Situ Treatment of Metals contaminated Soils*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response.
- Usman, A. F., Budimawan, & Prastawa B. 2015. Kandungan Logam Berat Pb-Cd dan Kualitas Air di Perairan Biringkassi, Bungoro, Pangkep: *J. Agro*. 4(9):103-107.
- Utama, M. Z. H. 2008. Mekanisme Fisiologi Toleransi Cekaman Aluminium Spesies Legum Penutup Tanah terhadap Metabolisme Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ), Amonium ( $\text{NH}_4^+$ ) dan Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ): *Bul. Agron*. 36(2):176-180.
- Valko, M. 2005. *Metals, Toxicity and Oxidative Stress*: Bentham Science Publishers Ltd. 12(10):1161-1208.
- Vardar, F. & Meral U. 2007. Aluminum Toxicity and Resistance in Higher Plants: *Advances in Molecular Biology* (1):1-12.
- Wahyuni, S., dkk. 2019. *Anatomi Fisiologi Tumbuhan*. UMM Press: Malang.
- Widaningrum, M. & Suismono. 2007. Bahaya Kontaminasi Logam Berat dalam Sayuran dan Alternatif Pencegahan Cemarannya: *Bul. Tek. Pascapanen Pert*. 3:1-12.

- Wiratmaja, I. W. 2017. Defisiensi dan Toksisitas Hara Mineral Serta Responnya terhadap Hasil. *Skripsi*. Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian UNUD. Denpasar.
- Wuana, R. A. & Felix, E. O. 2011. *Review Article: Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. Int. Scholarly Research Network Ecology*.
- Xiao, Y., *et al.* 2007. Aluminium Recycling and Environmental Issues of Salt Slag Treatment: *J. of Env. Sci. and Health, Part A*. 40(10):1861-1875.
- Xie, Y., *et al.* 2016. Effect of Heavy Metals Pollution on Soil Microbial Diversity and Bermudagrass Genetic Variation: *Front. in Plant Sci.* 7(755):1-12.
- Yeats, T. H. & Jocelyn, K. C. R. 2013. The Formation and Function of Plant Cuticles: *Plant Phys.* 163:5-20.
- Zwieniecki, M.A & Francesca Secchi. 2014. Threats to Xylem Hydraulic Function of Trees under 'New Climate Normal' Conditions: *Plant. Cell & Envi.*

## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Hasil Analisis Kimia Tanah

**LAPORAN HASIL ANALISA TANAH**  
LABORATORIUM UPT PENGEMBANGAN AGRIBISNIS TANAMAN PANGAN DAN HORTIKULTURA  
BEDALI - LAWANG

No	Asal Contoh Tanah	pH Larut		Bahan Organik			BO %	P2O5 Oksan ppm	Larut Asam Ac pH 7.1 N (me) K	KA	Tekstur		
		H2O	KCL	% C	% N	C/N					Pasir %	Debu %	Liat %
1	An. Fitriis Uifa												
1	Kontrol	6,25	-	-	0,13	-	-	32,0	0,13	-	-	-	-
2	St 1	7,67	-	-	0,16	-	-	6,9	0,19	-	-	-	-
3	St 2	7,59	-	-	0,17	-	-	12,4	0,13	-	-	-	-
	Rendah sekali	< 4.0	< 2.5	< 1.0	< 0.1	< 6		< 6	< 0.1				
	Rendah	4.1 - 5.5	2.6 - 4.0	1.1 - 2.0	0.11 - 0.2	5 - 10		5 - 10	0.1 - 0.3				
	Sedang	5.6 - 7.5	4.1 - 6.0	2.1 - 3.0	0.21 - 0.5	11 - 15		11 - 15	0.4 - 0.5				
	Tinggi	7.6 - 8	8.1 - 8.5	3.1 - 5.0	0.51 - 0.75	16 - 25		16 - 20	0.6 - 1.0				
	Tinggi Sekali	> 8	> 8.5	> 5.0	> 0.75	> 25		> 20	> 1.0				

Sidoarjo, 19 Agustus 2021

KASIPRODUKSI



**FARIDA, SP M Agr**  
NIP 19631207 198501 2 003



**SUMIYANTO ALL MSA**  
NIP.19640401-199003 1 017

ANALIS TANAH



**MARIA YULITA SP**  
NIP 19700713 210701 2 010

### Lampiran 2. Dokumentasi tanaman penelitian



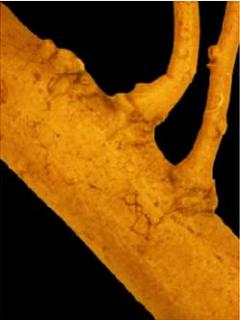
Lokasi kontrol

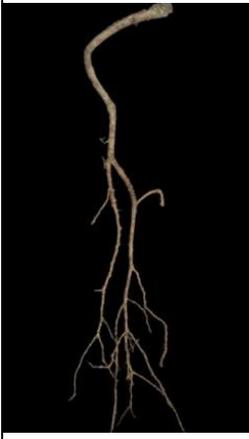
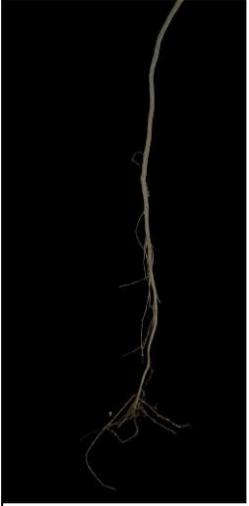
Lokasi 1

Lokasi 2

Lampiran 3. Pengamatan Morfologi Akar dan Daun Pepaya (*Carica papaya* L.)  
a) Morfologi Akar Lateral

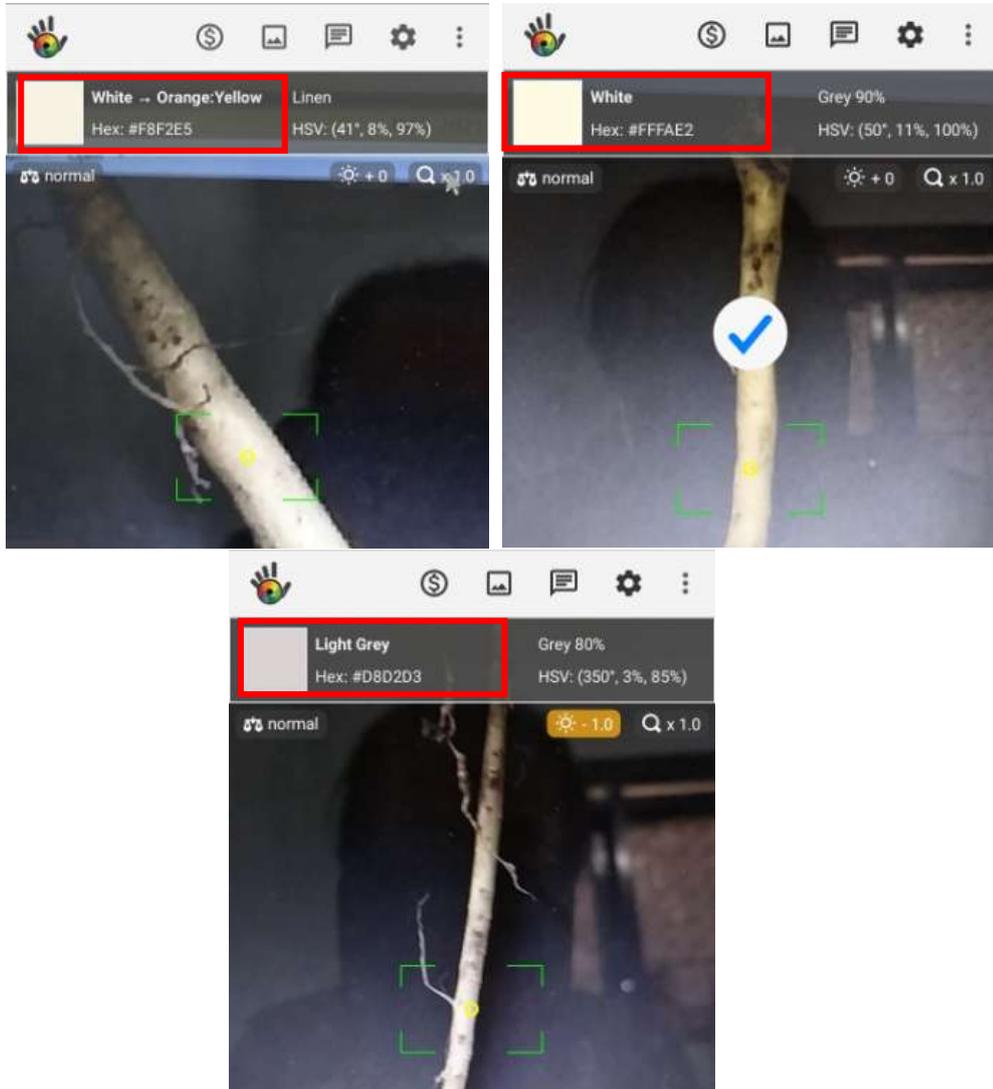
Sampel	Gambar		Wrn.	Pjg. (cm)	Diameter (cm)	Jml. Cbg.
	Utuh	Perbesaran				
Lokasi Kontrol			White (Hex: #8F2E5)	34	0,9	4
			White (Hex: #FFFAE2)	31	1,4	4
			Light grey (Hex: #D8D2D3)	36	0,6	-

Sampel	Gambar		Wrn.	Pjg. (cm)	Diam-eter (cm)	Jml. Cbg.
	Utuh	Perbesaran				
Lokasi 1			<i>Dark brown</i> (Hex: # 883700 )	27,4	1,3	5
			<i>Brown</i> (Hex:# BD6305)	29	0,6	3
			<i>Brown</i> (Hex:# BA5101)	25,1	0,4	3

Sampel	Gambar		Wrn.	Pjg. (cm)	Diameter (cm)	Jml. Cbg.
	Utuh	Perbesaran				
Lokasi 2			<i>Dark brown</i> (Hex: #B04B01)	30	0,6	3
			<i>Brown</i> (Hex: #B46608)	43,6	1,4	2
			<i>Orange</i> (Hex: #C66804)	34,6	0,5	-

## Kategori Warna Kulit Akar Pepaya menggunakan *Color Grab*

### 1. Lokasi Kontrol



### 2. Lokasi 1

CONVERT & MATCH		CONVERT & MATCH	
Conversions	Saddle Brown	Conversions	Tenne (Tawny)
<b>GENERAL</b>		<b>GENERAL</b>	
Interpretation	<b>Dark Brown:Orange</b>	Interpretation	<b>Brown:Orange</b>
Hex	#883700	Hex	#BD6305
RGB	R = 136 G = 55 B = 0	RGB	R = 189 G = 99 B = 5

☰ CONVERT & MATCH ✕

Conversions ▾ Tenne (Tawny)

---

GENERAL

Interpretation	<b>Brown:Orange</b>
Hex	#BA5101
RGB	R = 186 G = 81 B = 1

### 3. Lokasi 2

☰ CONVERT & MATCH ✕	☰ CONVERT & MATCH ✕
Conversions ▾ Rust	Conversions ▾ Golden Brown
GENERAL	GENERAL
Interpretation <b>Dark Brown:Orange</b>	Interpretation <b>Brown:Orange</b>
Hex #B04B01	Hex #B46608
RGB R = 176 G = 75 B = 1	RGB R = 180 G = 102 B = 8

☰ CONVERT & MATCH ✕

Conversions ▾ Amazon Orange

---

GENERAL

Interpretation	<b>Orange</b>
Hex	#E0820A
RGB	R = 224 G = 130 B = 10

a. Morfologi Daun

Sampel	Gambar	Warna	Pjg. (cm)	Diameter (cm)	Jml. Jari
Lokasi kontrol		<i>Dark green</i> (Hex: #2A612A)	40	72,3	11
		<i>Dark green</i> (Hex: #244026)	43	61,5	11
		<i>Dark green</i> (Hex: #2B5129)	40	72,5	11

Sampel	Gambar	Warna	Pjg. (cm)	Diameter (cm)	Jml. Jari
St.1		<i>Glossy dark green yellow</i> (Hex:# 75990D)	26	55	8
		<i>Glossy green</i> (Hex:# 698D37)	38,5	51	9
		<i>Glossy dark green</i> (Hex:# 356149)	36,2	58	9

Sampel	Gambar	Warna	Pjg. (cm)	Diameter (cm)	Jml. Jari
Lokasi 2		<i>Glossy dark green</i> (Hex: #436B49)	36	54	7
		<i>Glossy dark green</i> (Hex: #356105)	38	53	10
		<i>Glossy green</i> (Hex: #7FA356)	35,8	54	9

## Kategori Warna Daun Pepaya menggunakan *Color Grab*

### 1. Lokasi Kontrol

The image displays three screenshots of the 'Color Grab' application interface, each showing a color selection tool and its corresponding color data. The tool is titled 'CONVERT & MATCH' and includes a 'Conversions' dropdown menu and a color swatch. Below the tool is a 'GENERAL' section containing a table with color information.

Color Name	Hex	R	G	B
Parsley	#2A612A	42	97	42
Black	#244026	36	64	38
Kaitoke Green	#2B5129	43	81	41

### 2. Lokasi 1

The image displays three screenshots of the 'Color Grab' application interface, each showing a color selection tool and its corresponding color data. The tool is titled 'CONVERT & MATCH' and includes a 'Conversions' dropdown menu and a color swatch. Below the tool is a 'GENERAL' section containing a table with color information.

Color Name	Hex	R	G	B
Dark Green:Yellow	#75990D	117	153	13
Green	#698D37	105	141	55
Dark Green	#356149	53	97	73

3. Lokasi 2

CONVERT & MATCH	
Conversions	Green House
GENERAL	
Interpretation	Dark Green
Hex	#436B49
RGB	R = 67 G = 107 B = 73

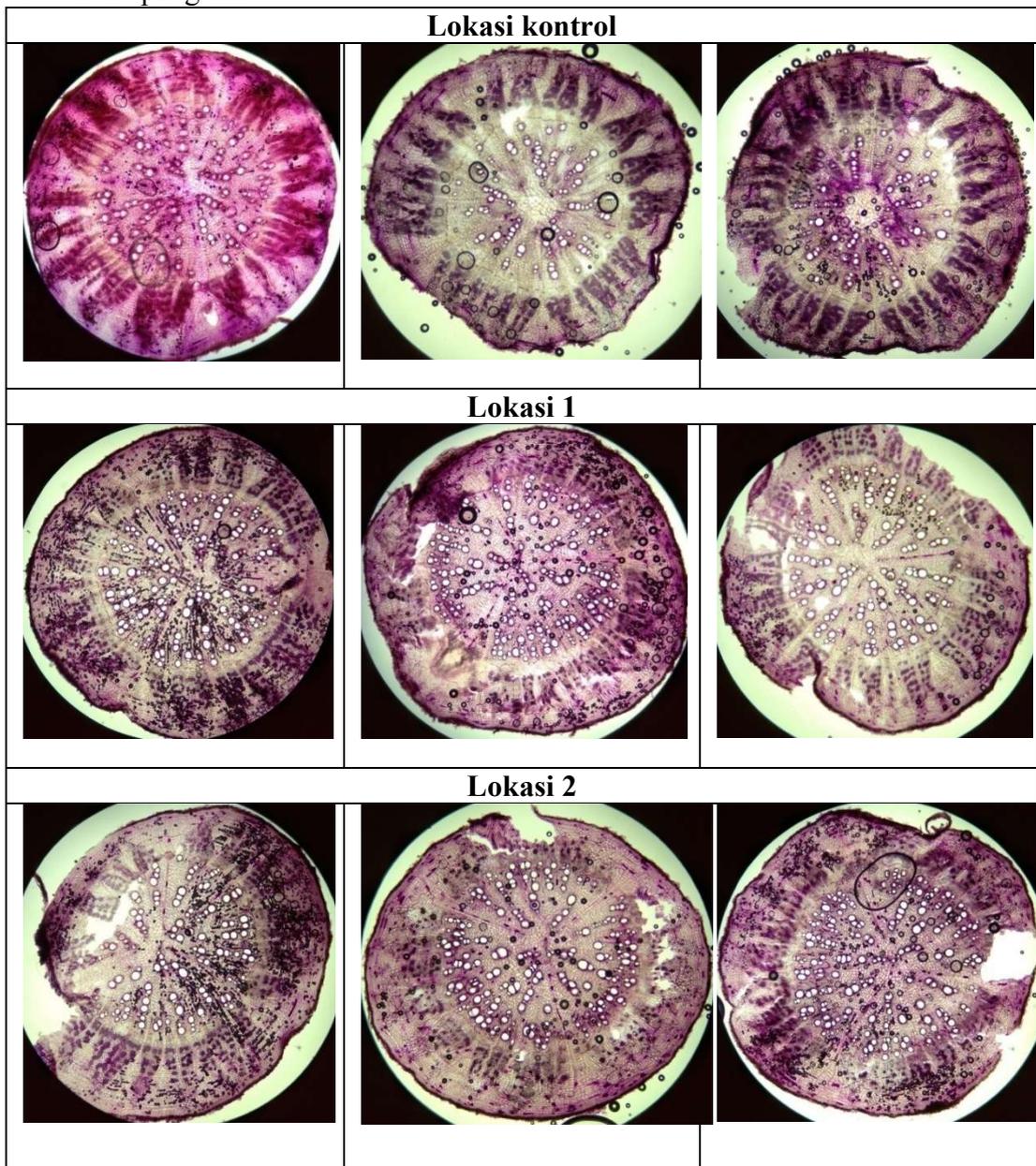
CONVERT & MATCH	
Conversions	Verdun Green
GENERAL	
Interpretation	Dark Green
Hex	#356105
RGB	R = 53 G = 97 B = 5

CONVERT & MATCH	
Conversions	Black
GENERAL	
Interpretation	Green
Hex	#7FA356
RGB	R = 127 G = 163 B = 86

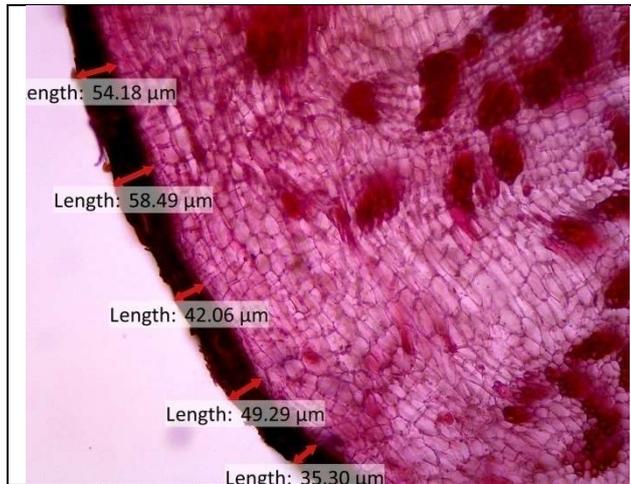
Lampiran 4. Pengamatan Anatomi Akar dan Daun

A) Anatomi akar

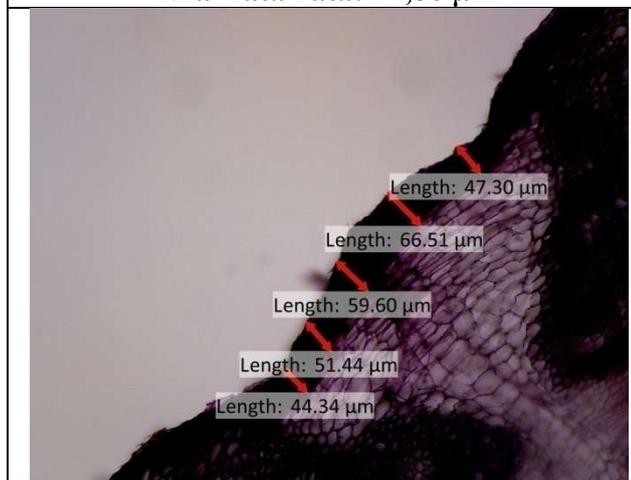
1. Penampang utuh



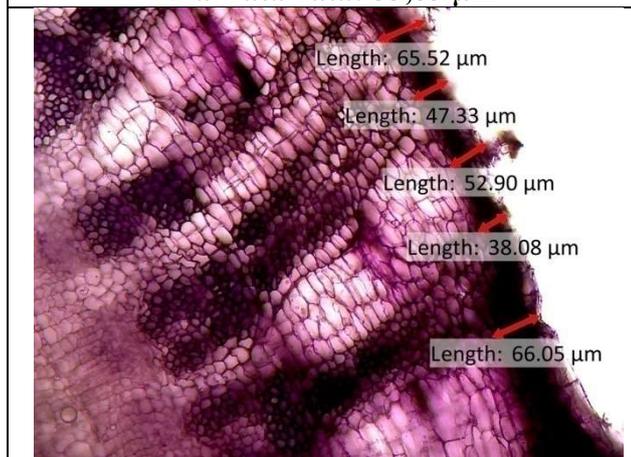
2. Ketebalan jaringan epidermis  
a) Akar lokasi kontrol



**Nilai rata-rata: 47,86 μm**

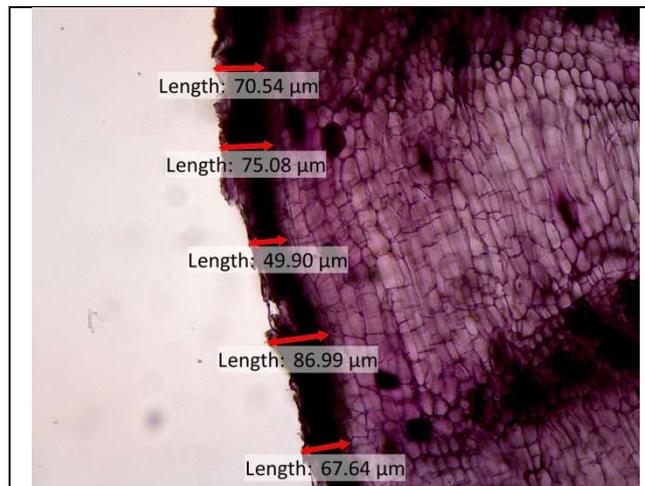


**Nilai rata-rata: 53,83 μm**

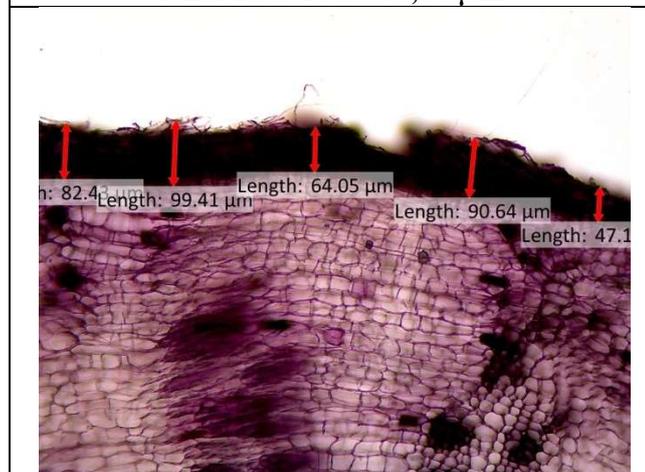


**Nilai rata-rata: 53,97 μm**

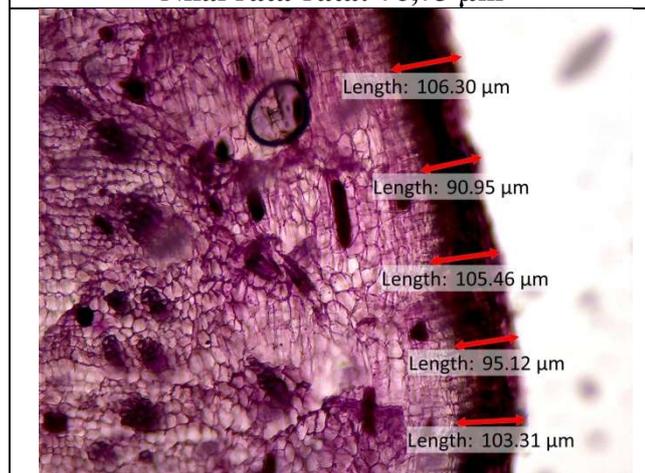
b) Akar lokasi 1



**Nilai rata-rata: 70,03 µm**

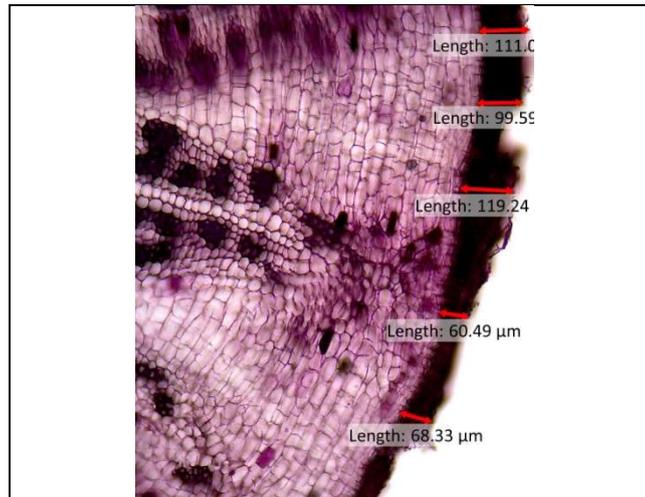


**Nilai rata-rata: 76,73 µm**

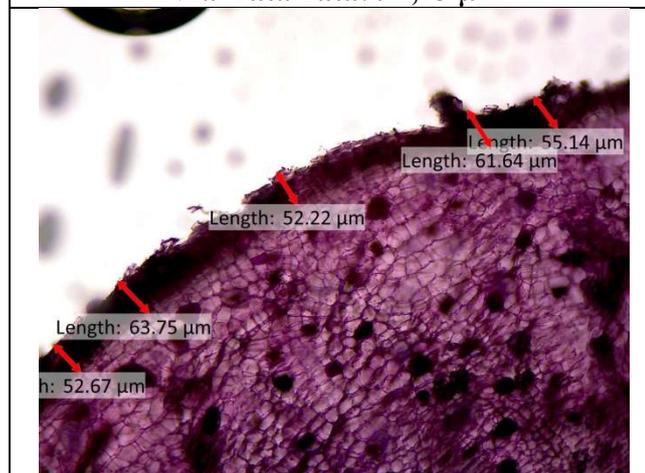


**Nilai rata-rata: 100,23 µm**

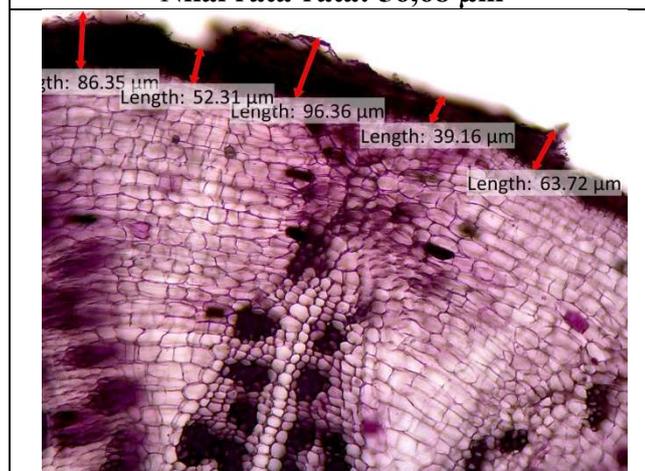
c) Akar lokasi 2



**Nilai rata-rata: 91,73  $\mu\text{m}$**

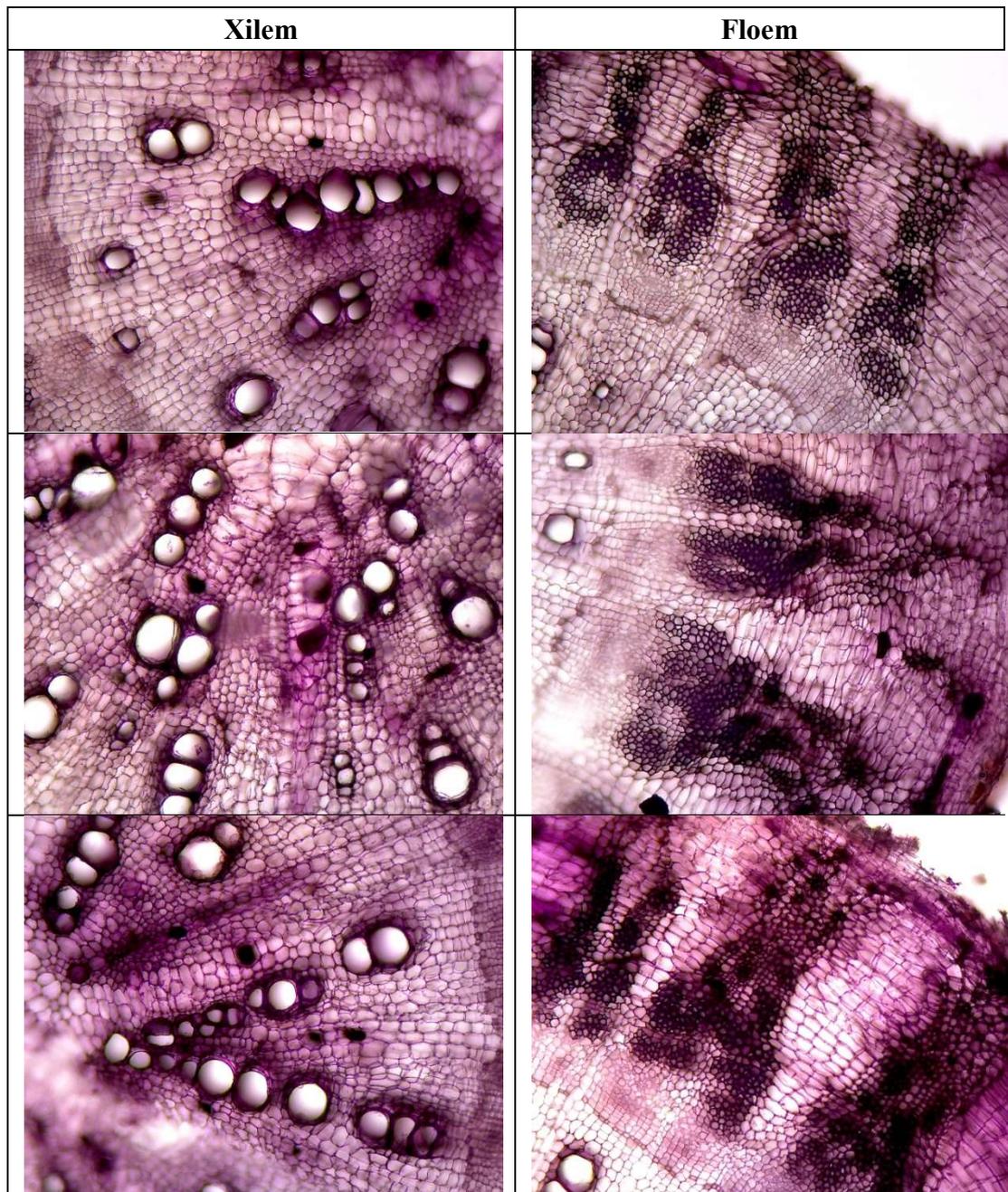


**Nilai rata-rata: 56,68  $\mu\text{m}$**

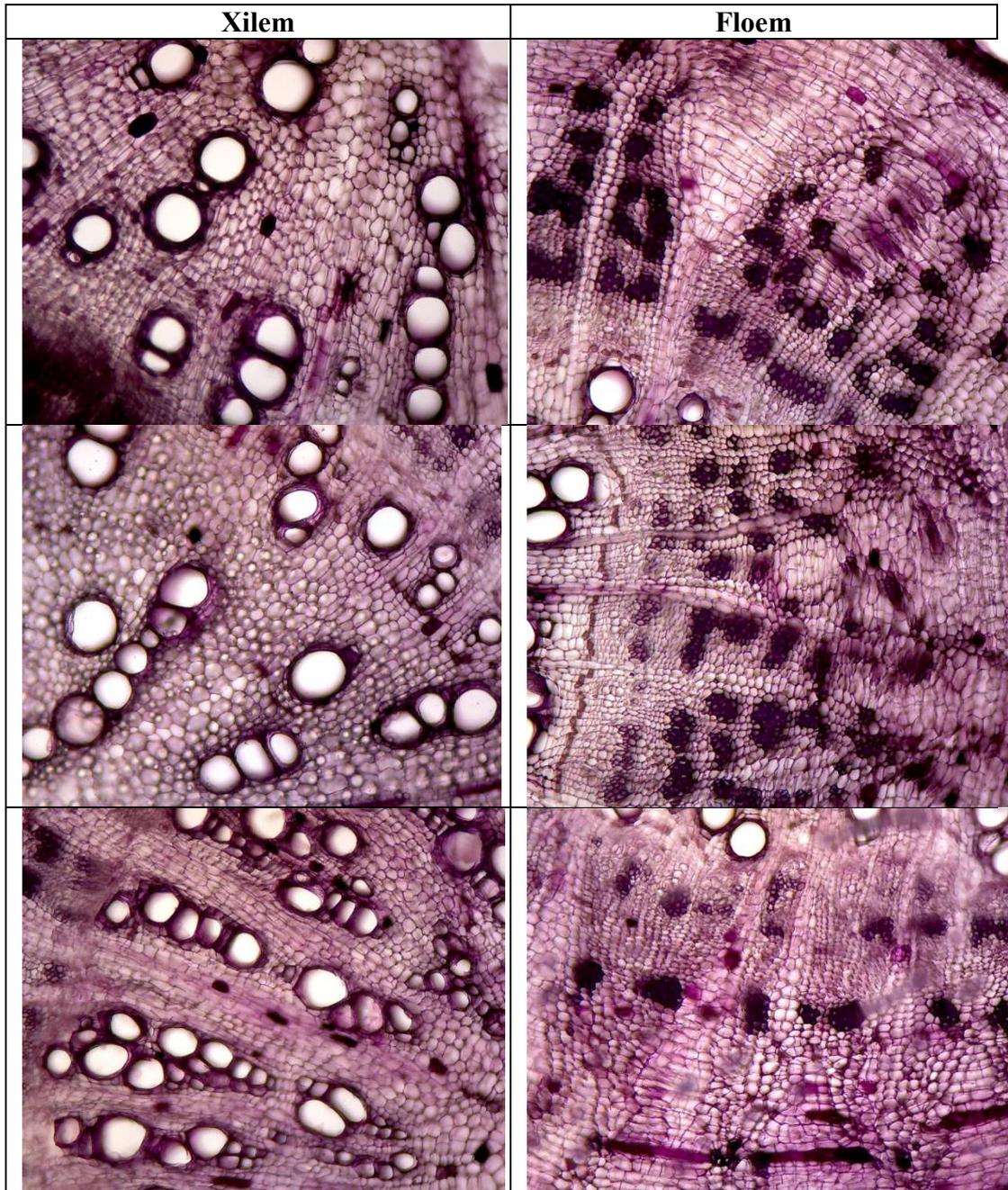


**Nilai rata-rata: 67,68  $\mu\text{m}$**

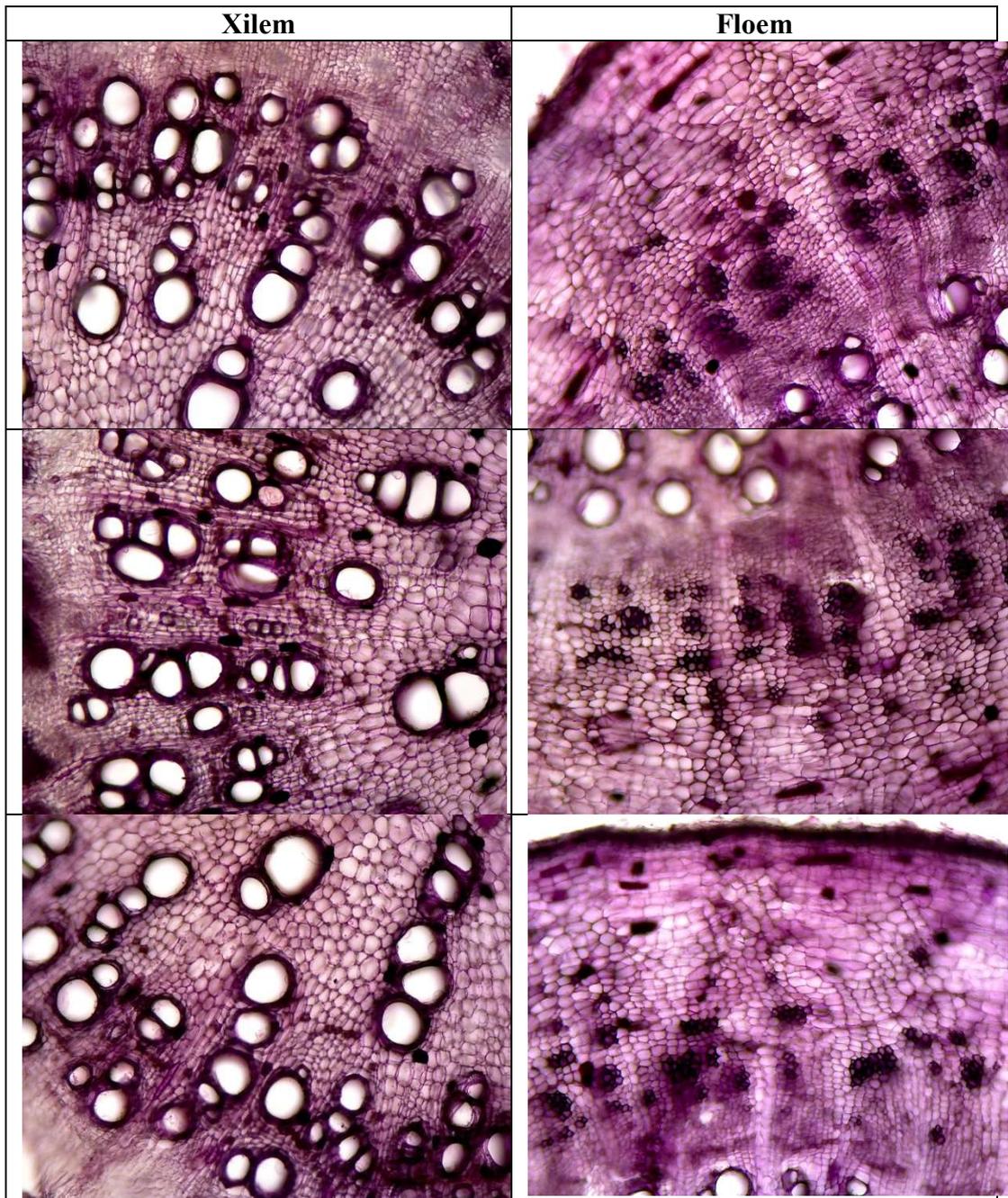
- 3) Jaringan Pengangkut  
a) Akar lokasi kontrol



b) Akar lokasi 1



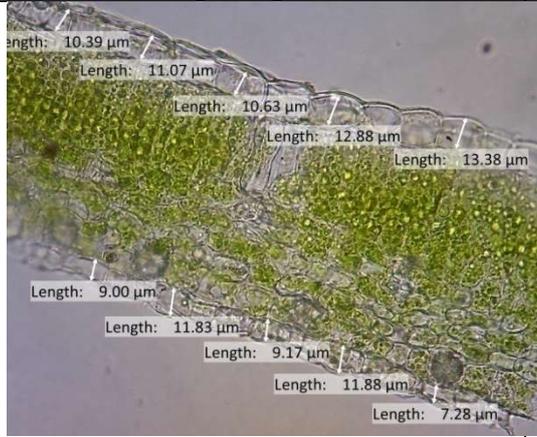
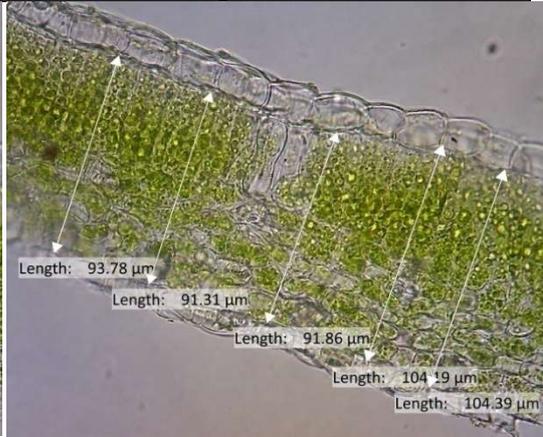
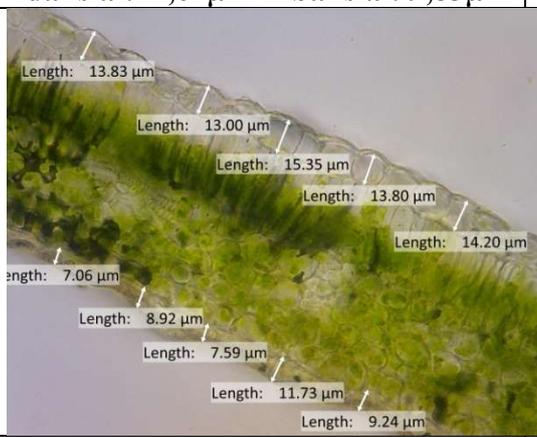
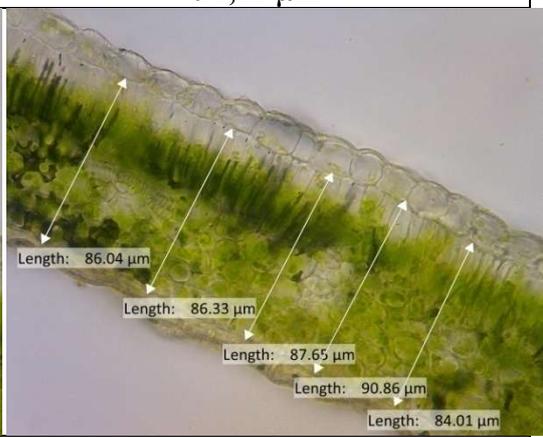
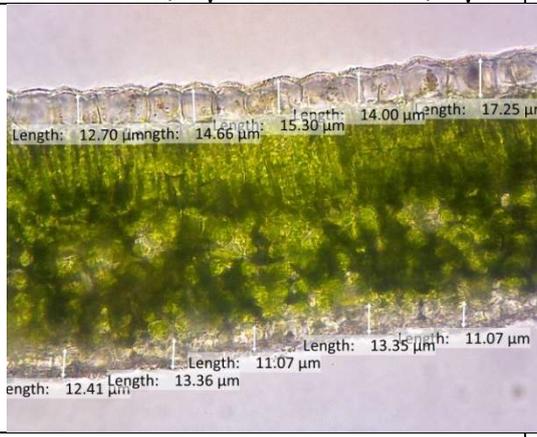
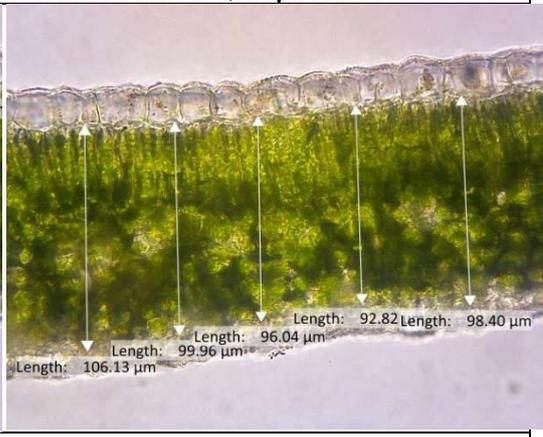
c) Akar lokasi 2



4) Anatomi Daun

<b>Lokasi kontrol</b>	
<b>Jaringan Epidermis</b>	<b>Jaringan Mesofil</b>
<p>Length: 9.31 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 8.49 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 8.49 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 8.73 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 6.51 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 8.76 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 5.54 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 8.49 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 8.67 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 9.49 <math>\mu\text{m}</math></p>	<p>Length: 87.03 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 88.05 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 82.05 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 81.66 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 73.15 <math>\mu\text{m}</math></p>
<b>Adaksial: 8,75 <math>\mu\text{m}</math> Abaksial: 7,74 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>82,38 <math>\mu\text{m}</math></b>
<p>Length: 6.46 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 11.66 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 8.22 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 8.49 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 10.75 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 10.34 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 8.86 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 9.84 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 8.60 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 7.76 <math>\mu\text{m}</math></p>	<p>Length: 103.17 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 103.19 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 99.45 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 98.68 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 98.77 <math>\mu\text{m}</math></p>
<b>Adaksial: 9,03 <math>\mu\text{m}</math> Abaksial 9,16 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>100,65 <math>\mu\text{m}</math></b>
<p>Length: 9.46 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 6.32 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 8.40 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 13.09 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 13.09 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 9.92 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 8.34 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 5.54 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 6.14 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 6.97 <math>\mu\text{m}</math></p>	<p>Length: 87.96 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 86.94 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 87.53 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 83.63 <math>\mu\text{m}</math>            Length: 86.85 <math>\mu\text{m}</math></p>
<b>Adaksial:10,07<math>\mu\text{m}</math> Abaksial: 7,38 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>86,58 <math>\mu\text{m}</math></b>

<b>Lokasi 1</b>	
<b>Jaringan Epidermis</b>	<b>Jaringan Mesofil</b>
<b>Adaksial:13,00μm Abaksial:10,38μm</b>	<b>99,35 μm</b>
<b>Adaksial:14,00μm Abaksial:10,71μm</b>	<b>125,52 μm</b>
<b>Adaksial:17,47μm Abaksial:11,14μm</b>	<b>115,74 μm</b>

<b>Lokasi 2</b>	
<b>Jaringan Epidermis</b>	<b>Jaringan Mesofil</b>
	
<b>Adaksial:11,67µm Abaksial: 9,83µm</b>	<b>97,11 µm</b>
	
<b>Adaksial:14,03µm Abaksial:8,90µm</b>	<b>86,98 µm</b>
	
<b>Adaksial:14,78µm Abaksial:12,25µm</b>	<b>98,67 µm</b>

**Nilai Ketebalan Jaringan Epidermis dan Mesofil Daun**

Sampel	Epidermis		Mesofil
	Adaksial	Abaksial	
<b>Lokasi Kontrol</b>	9,31 $\mu\text{m}$	6,51 $\mu\text{m}$	87,03 $\mu\text{m}$
	8,49 $\mu\text{m}$	5,54 $\mu\text{m}$	88,05 $\mu\text{m}$
	8,49 $\mu\text{m}$	8,49 $\mu\text{m}$	82,05 $\mu\text{m}$
	8,73 $\mu\text{m}$	8,67 $\mu\text{m}$	81,66 $\mu\text{m}$
	8,76 $\mu\text{m}$	9,49 $\mu\text{m}$	73,15 $\mu\text{m}$
	<b>Rerata: 8,75 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Rerata 7,74 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Rerata: 82,38 <math>\mu\text{m}</math></b>
	6,46 $\mu\text{m}$	10,75 $\mu\text{m}$	103,17 $\mu\text{m}$
	11,66 $\mu\text{m}$	8,86 $\mu\text{m}$	103,19 $\mu\text{m}$
	8,22 $\mu\text{m}$	9,84 $\mu\text{m}$	99,45 $\mu\text{m}$
	8,49 $\mu\text{m}$	8,60 $\mu\text{m}$	99,68 $\mu\text{m}$
	10,34 $\mu\text{m}$	7,76 $\mu\text{m}$	98,77 $\mu\text{m}$
	<b>Rerata: 9,03 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Rerata: 9,16 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Rerata: 100,65 <math>\mu\text{m}</math></b>
	9,46 $\mu\text{m}$	9,92 $\mu\text{m}$	87,96 $\mu\text{m}$
	6,32 $\mu\text{m}$	8,34 $\mu\text{m}$	86,94 $\mu\text{m}$
	8,40 $\mu\text{m}$	5,54 $\mu\text{m}$	87,53 $\mu\text{m}$
13,09 $\mu\text{m}$	6,14 $\mu\text{m}$	83,63 $\mu\text{m}$	
13,09 $\mu\text{m}$	6,97 $\mu\text{m}$	86,85 $\mu\text{m}$	
<b>Rerata: 10,07 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Rerata: 7,38 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Rerata: 86,58 <math>\mu\text{m}</math></b>	
<b>Lokasi 1</b>	15,42 $\mu\text{m}$	9,12 $\mu\text{m}$	103,14 $\mu\text{m}$
	12,06 $\mu\text{m}$	11,72 $\mu\text{m}$	98,71 $\mu\text{m}$
	13,36 $\mu\text{m}$	10,11 $\mu\text{m}$	97,25 $\mu\text{m}$
	12,41 $\mu\text{m}$	10,74 $\mu\text{m}$	99,14 $\mu\text{m}$
	11,76 $\mu\text{m}$	10,20 $\mu\text{m}$	98,49 $\mu\text{m}$
	<b>Rerata: 13,00 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Rerata: 10,38 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Rerata: 99,35 <math>\mu\text{m}</math></b>
	14,86 $\mu\text{m}$	12,98 $\mu\text{m}$	128,45 $\mu\text{m}$
	14,01 $\mu\text{m}$	7,34 $\mu\text{m}$	133,35 $\mu\text{m}$
	13,85 $\mu\text{m}$	13,36 $\mu\text{m}$	123,47 $\mu\text{m}$
	13,07 $\mu\text{m}$	12,94 $\mu\text{m}$	122,21 $\mu\text{m}$
	14,21 $\mu\text{m}$	11,94 $\mu\text{m}$	120,12 $\mu\text{m}$
	<b>Rerata: 14,00 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Rerata: 10,71 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Rerata: 125,52 <math>\mu\text{m}</math></b>
	15,24 $\mu\text{m}$	12,48 $\mu\text{m}$	115,56 $\mu\text{m}$
	18,33 $\mu\text{m}$	9,61 $\mu\text{m}$	114,10 $\mu\text{m}$
	19,59 $\mu\text{m}$	12,62 $\mu\text{m}$	114,11 $\mu\text{m}$
18,02 $\mu\text{m}$	10,01 $\mu\text{m}$	116,44 $\mu\text{m}$	
16,16 $\mu\text{m}$	11,00 $\mu\text{m}$	118,53 $\mu\text{m}$	
<b>Rerata: 17,47 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Rerata: 11,14 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Rerata: 115,74 <math>\mu\text{m}</math></b>	

Sampel	Epidermis		Mesofil
	Adaksial	Abaksial	
Lokasi 2	10,39 $\mu\text{m}$	9,00 $\mu\text{m}$	93,78 $\mu\text{m}$
	11,07 $\mu\text{m}$	11,83 $\mu\text{m}$	91,31 $\mu\text{m}$
	10,63 $\mu\text{m}$	9,17 $\mu\text{m}$	91,86 $\mu\text{m}$
	12,88 $\mu\text{m}$	11,88 $\mu\text{m}$	104,19 $\mu\text{m}$
	13,38 $\mu\text{m}$	7,28 $\mu\text{m}$	104,39 $\mu\text{m}$
	<b>Rerata: 11,67 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Rerata 9,83 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Rerata: 97,11 <math>\mu\text{m}</math></b>
	13,83 $\mu\text{m}$	7,06 $\mu\text{m}$	86,04 $\mu\text{m}$
	13,00 $\mu\text{m}$	8,92 $\mu\text{m}$	86,33 $\mu\text{m}$
	15,35 $\mu\text{m}$	7,59 $\mu\text{m}$	87,65 $\mu\text{m}$
	13,80 $\mu\text{m}$	11,73 $\mu\text{m}$	90,86 $\mu\text{m}$
	14,20 $\mu\text{m}$	9,24 $\mu\text{m}$	84,01 $\mu\text{m}$
	<b>Rerata: 14,03 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Rerata: 8,90 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Rerata: 86,98 <math>\mu\text{m}</math></b>
	12,70 $\mu\text{m}$	12,41 $\mu\text{m}$	106,13 $\mu\text{m}$
	14,66 $\mu\text{m}$	13,36 $\mu\text{m}$	99,96 $\mu\text{m}$
	15,30 $\mu\text{m}$	11,07 $\mu\text{m}$	96,04 $\mu\text{m}$
	14,00 $\mu\text{m}$	13,35 $\mu\text{m}$	92,82 $\mu\text{m}$
	17,25 $\mu\text{m}$	11,07 $\mu\text{m}$	98,40 $\mu\text{m}$
<b>Rerata: 14,78 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Rerata: 12,25 <math>\mu\text{m}</math></b>	<b>Rerata: 98,67 <math>\mu\text{m}</math></b>	

Lampiran 5. Hasil Pengukuran Kadar Klorofil Total Daun

a) Kandungan klorofil total daun lokasi kontrol

<b>Ulangan I</b>	<b>Ulangan II</b>
<p>I. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 3.791) + (6,10 \times 3.940)</math>            = <math>(75.820) + (24.034)</math>            = <b>99.854 mg/L</b>            = <b>99,85 g/ml</b></p> <p>II. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 3.833) + (6,10 \times 3.940)</math>            = <math>(76.660) + (24.034)</math>            = <b>100.694 mg/L</b>            = <b>100, 69 g/ml</b></p> <p>III. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 4.000) + (6,10 \times 3.690)</math>            = <math>(80.000) + (22.509)</math>            = <b>102.509 mg/L</b>            = <b>102, 51 g/ml</b></p> <p><b>Nilai rata-rata = 101.019 mg/ml</b>  <b>= 101,02 g/ml</b></p>	<p>I. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 3.987) + (6,10 \times 3.639)</math>            = <math>(79.740) + (22.197,9)</math>            = <b>101.937,9 mg/L</b>            = <b>101,94 g/ml</b></p> <p>II. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 4.000) + (6,10 \times 3.690)</math>            = <math>(80.000) + (22.509)</math>            = <b>102.509 mg/L</b>            = <b>102, 51 g/ml</b></p> <p>III. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 3.878) + (6,10 \times 3.664)</math>            = <math>(77.560) + (22.350,4)</math>            = <b>99.910,4 mg/L</b>            = <b>99,91 g/ml</b></p> <p><b>Nilai rata-rata = 101.452,43 mg/L</b>  <b>= 101,45 g/ml</b></p>
<b>Ulangan III</b>	<b>Nilai rata-rata klorofil total</b>
<p>I. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 3.510) + (6,10 \times 4.000)</math>            = <math>(70.200) + (24.400)</math>            = <b>94.600 mg/L</b>            = <b>94,60 g/ml</b></p> <p>II. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 3.554) + (6,10 \times 3.894)</math>            = <math>(71.080) + (23.753,4)</math>            = <b>94.8331,1 mg/L</b>            = <b>94,83 g/ml</b></p> <p>III. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 2.510) + (6,10 \times 3.853)</math>            = <math>(70.200) + (23.503,3)</math>            = <b>93.703,3 mg/L</b>            = <b>93,70 g/ml</b></p> <p><b>Nilai rata-rata = 94.378 mg/L</b>  <b>= 94,38 g/ml</b></p>	<p><b>Ulangan I = 101.02 g/ml</b>  <b>Ulangan II = 101.45 g/ml</b>  <b>Ulangan III = 94.38 g/ml</b></p> <p><b><i>Kandungan klorofil total: 98,95 g/ml</i></b></p>

b) Kandungan klorofil total daun lokasi 1

<b>Ulangan I</b>	<b>Ulangan II</b>
<p>I. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 3.572) + (6,10 \times 3.584)</math>            = <math>(71.440) + (21.862,4)</math>            = <b>93.302,4 mg/L</b>            = <b>93,30 g/ml</b></p> <p>II. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 3.597) + (6,10 \times 3.655)</math>            = <math>(71.940) + (22.295,5)</math>            = <b>94.235,5 mg/L</b>            = <b>94,23 g/ml</b></p> <p>III. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 3.651) + (6,10 \times 3.681)</math>            = <math>(73.020) + (22.454,1)</math>            = <b>95.474,1 mg/L</b>            = <b>95,47 g/ml</b></p> <p><b>Nilai rata-rata = 94.337,3 mg/L</b>  <b>= 94,34 g/ml</b></p>	<p>I. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 2.950) + (6,10 \times 3.648)</math>            = <math>(59.000) + (22.252,8)</math>            = <b>81.252,8 mg/L</b>            = <b>81,25 g/ml</b></p> <p>II. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 2.978) + (6,10 \times 3.624)</math>            = <math>(59.560) + (22.106,4)</math>            = <b>81.666,4 mg/L</b>            = <b>81,67 g/ml</b></p> <p>III. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 2.955) + (6,10 \times 3.505)</math>            = <math>(59.100) + (21.380,5)</math>            = <b>80.480,5 mg/L</b>            = <b>80,48 g/ml</b></p> <p><b>Nilai rata-rata = 81.337,3 mg/L</b>  <b>= 81,13 g/ml</b></p>
<b>Ulangan III</b>	<b>Nilai rata-rata klorofil total</b>
<p>I. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 3.563) + (6,10 \times 3.035)</math>            = <math>(71.260) + (18.513,5)</math>            = <b>89.773,5 mg/L</b>            = <b>89,77 g/ml</b></p> <p>II. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 3.479) + (6,10 \times 3.028)</math>            = <math>(69.400) + (18.470,8)</math>            = <b>87.870,8 mg/L</b>            = <b>87,87 g/ml</b></p> <p>III. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 3.607) + (6,10 \times 3.028)</math>            = <math>(72.140) + (18.470,8)</math>            = <b>90.610,8 mg/L</b>            = <b>90,61 g/ml</b></p> <p><b>Nilai rata-rata = 89.418,37 mg/L</b>  <b>= 89,42 g/ml</b></p>	<p><b>Ulangan I = 94,34 g/ml</b></p> <p><b>Ulangan II = 81,13 g/ml</b></p> <p><b>Ulangan III = 89,42 g/ml</b></p> <p><b>Kandungan klorofil total: 88,29 g/ml</b></p>

c) Kandungan klorofil total daun lokasi 2

<b>Ulangan I</b>	<b>Ulangan II</b>
<p>I. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 2.950) + (6,10 \times 3.648)</math>            = <math>(59.000) + (22.252,8)</math>            = <b>81.252,8 mg/L</b>            = <b>81,25 g/ml</b></p> <p>II. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 2.978) + (6,10 \times 3.624)</math>            = <math>(59.560) + (22.106,4)</math>            = <b>81.666,4 mg/L</b>            = <b>81,66 g/ml</b></p> <p>III. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 2.955) + (6,10 \times 3.505)</math>            = <math>(59.100) + (21.380,5)</math>            = <b>80.480,5 mg/L</b>            = <b>80,48 g/ml</b></p> <p><b>Nilai rata-rata = 81.133,23 mg/L</b>  <b>= 81,13 g/ml</b></p>	<p>I. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 3.556) + (6,10 \times 3.458)</math>            = <math>(71.120) + (21.093,8)</math>            = <b>92.213,8 mg/L</b>            = <b>92,21 g/ml</b></p> <p>II. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 3.681) + (6,10 \times 3.478)</math>            = <math>(73.620) + (21.215,8)</math>            = <b>94.835,8 mg/L</b>            = <b>94,83 g/ml</b></p> <p>III. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 3.653) + (6,10 \times 3.439)</math>            = <math>(73.060) + (20.977,9)</math>            = <b>94.037,9 mg/L</b>            = <b>94,04 g/ml</b></p> <p><b>Nilai rata-rata = 93.701,8 mg/L</b>  <b>= 93,70 g/ml</b></p>
<b>Ulangan III</b>	<b>Nilai rata-rata klorofil total</b>
<p>I. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 3.676) + (6,10 \times 3.681)</math>            = <math>(73.520) + (22.454,1)</math>            = <b>95.974 mg/L</b>            = <b>95,97 g/ml</b></p> <p>II. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 3.630) + (6,10 \times 3.743)</math>            = <math>(72.600) + (22.832,3)</math>            = <b>95.432,3 mg/L</b>            = <b>95,43 g/ml</b></p> <p>III. Klorofil total = <math>(20,0 \times A.649) + (6,10 \times A.665)</math>            = <math>(20 \times 3.708) + (6,10 \times 3.709)</math>            = <math>(74.160) + (22.624,9)</math>            = <b>96.784,9 mg/L</b>            = <b>96,78 g/ml</b></p> <p><b>Nilai rata-rata = 96.063,7 mg/L</b>  <b>= 96,06 g/ml</b></p>	<p><b>Ulangan I = 81,13 g/ml</b>  <b>Ulangan II = 93,70 g/ml</b>  <b>Ulangan III = 96,06 g/ml</b></p> <p><b><i>Kandungan klorofil total: 90,29 g/ml</i></b></p>



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

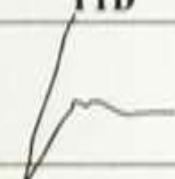
Jl. Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp./Faks. (0341) 558933  
Website: <http://biologi.uin-malang.ac.id> Email: [biologi@uin-malang.ac.id](mailto:biologi@uin-malang.ac.id)

**Form Checklist Plagiasi**

Nama :FitriaUlfa

NIM : 17620060

Judul : Pengaruh Cemaran Abu Slag Alumunium terhadap Morfologi,  
Biokimiawi dan Anatomi Tanaman Pepaya (*Carica papaya* L.) di  
Desa Budugsidorejo Kec. Sumobito Kab. Jombang

No	Tim Check plagiasi	Skor Plagiasi	TTD
1	Maharani Retna Duhita, M.Sc., PhD.Med.Sc	16%	

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Biologi  
  
**Dr. Evika Sandi Savitri, M. P**  
NIP. 19741018 200312 2 002



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](mailto:biologi@uin-malang.ac.id))

**KARTU KONSULTASI SKRIPSI**

Nama : Fitria Ulfa  
NIM : 17620060  
Program Studi : S1 Biologi  
Semester : Ganjil TA 2021/2022  
Pembimbing : Tyas Nyonita Punjungsari, M.Sc  
Judul Skripsi : Pengaruh Cemaran Abu Slag Alumunium terhadap Morfologi,  
Biokimiawi dan Anatomi Tanaman Pepaya (*Carica papaya* L.)  
di Desa Budugsidorejo  
Kec. Sumobito Kab. Jombang

No	Tanggal	Uraian Materi Konsultasi	Ttd. Pembimbing
1.	18 Februari 2021	Konsultasi BAB I, II, dan III	
2.	04 Maret 2021	Konsultasi Revisi Judul	
3.	22 Maret 2021	Konsultasi BAB I, II, dan III	
4.	05 Mei 2021	Konsultasi Revisi BAB I, II, dan III	
5.	27 September 2021	Konsultasi Data Hasil Penelitian	
6.	26 Oktober 2021	Konsultasi BAB I-V	
7.	02 November 2021	Konsultasi Naskah Skripsi	
8.	05 November 2021	Konsultasi Revisi Naskah Skripsi	
9.	22 November 2021	Konsultasi Revisi Naskah Skripsi	
10.	22 November 2021	Acc	

Pembimbing Skripsi,

Tyas Nyonita Punjungsari, M.Sc  
NIP. 19920507 201903 2 026

Malang, 22 November 2021  
Ketua Program Studi,  
  
  
Dr. Evika Sandi Savitri, M.P  
NIP. 197410182003122002



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](mailto:biologi@uin-malang.ac.id)

**KARTU KONSULTASI SKRIPSI**

Nama :Fitria Ulfa  
NIM :17620060  
Program Studi :SI Biologi  
Semester :Ganjil TA 2021/2022  
Pembimbing :Dr. H. M. Imamudin, Lc., M.A  
Judul Skripsi :Pengaruh Cemaran Abu Slag Alumunium terhadap Morfologi,  
Biokimiawi dan Anatomi Tanaman Pepaya (*Carica papaya L.*)  
di Desa Budugsidorejo  
Kec. Sumobito Kab. Jombang

No	Tanggal	Uraian Materi Konsultasi	Ttd. Pembimbing
1.	12 April 2021	Konsultasi Integrasi Sains dan Islam BAB I dan II	
2.	14 Maret 2021	Konsultasi Hasil Revisi Integrasi Sains dan Islam BAB I dan II	
3.	15 Maret 2021	Acc Hasil Revisi Integrasi Sains dan Islam BAB I dan II	
4.	05 November 2021	Konsultasi Integrasi Sains dan Islam BAB I sd. BAB IV	
5.	11 November 2021	Konsultasi Revisi Integrasi Sains dan Islam BAB I sd. BAB IV	
6.	25 November 2021	Acc	

Pembimbing Skripsi,

Dr. H. M. Imamudin, Lc., M.A.  
NIP. 19740602 2009011 010

Malang, 25 November 2021  
Ketua Program Studi,

Dr. Evika Sandi Savitri, M.P.  
NIP. 197410182003122002