

APLIKASI NANOFERTILIZER ZINC (ZN) EKSTRAK MIMBA (*A. indica*) TERHADAP KARAKTER ANATOMI DAUN KEDELAI (*Glycine max* L.) VARIETAS DEGA 1 PADA STRES KEKERINGAN

SKRIPSI

Oleh :

SILFINA

NIM. 220602110012



**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

APLIKASI NANOFERTILIZER ZINC (ZN) EKSTRAK MIMBA (*A. indica*) TERHADAP KARAKTER ANATOMI DAUN KEDELAI (*Glycine max* L.) DEGA 1 PADA STRES KEKERINGAN

SKRIPSI

Oleh:

SILFINA

NIM. 220602110012

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

2026

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi Ini Diajukan Oleh :

Nama : Silfina
NIM : 220602110012
Program Studi : Biologi
Judul Skripsi : Aplikasi *Nanofertilizer* Zinc (Zn) Ekstrak Mimba (*A. indica*) Terhadap Karakter Anatomi Daun Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.) Dega 1 Pada Stres Kekeringan

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji pada tanggal 22 juni 2026 dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I	<u>Prof. Dr. Evika Sandi Savitri, M.P</u> NIP. 19741018 200312 2 002	
Pembimbing II	<u>Kivah Aha Putra, M.Pd.I</u> NIP. 19900425 202321 1 024	
Ketua Penguji I	<u>Didik Wahyudi, M.Si</u> NIP. 19860102 201801 1 001	
Ketua Penguji II	<u>Azizatur Rohmah, M.Sc</u> NIP. 19860930 201903 2 011	

Ketua Program Studi Biologi




Prof. Dr. Retno Susilowati, M.Si
NIP. 19671113 199402 2 001

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahirabbil‘alamin, segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat, nikmat, dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, yang telah membawa umat manusia menuju jalan yang penuh ilmu dan kebaikan. Dengan penuh rasa syukur, hormat, dan terima kasih, skripsi ini penulis persembahkan kepada:

1. Teristimewa kepada kedua orang tua tercinta, Bapak Abdul Jabbar dan Ibu Muti'atus Sholihah. Gelar sarjana ini penulis persembahkan untuk Bapak dan Ibu yang senantiasa memberikan kasih sayang, dukungan, nasihat, serta doa yang tidak pernah putus dalam setiap langkah penulis. Terima kasih telah menjadi tempat penulis berkeluh kesah, memberikan kekuatan di saat penulis merasa lelah, serta selalu mengiringi perjalanan ini dengan doa terbaik. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat, keberkahan, kesehatan, dan umur panjang kepada Bapak dan Ibu.
2. Adikku tersayang, yang selalu memberikan semangat kepada penulis. Terima kasih telah menjadi penghibur di tengah rasa lelah dan pusing selama proses penyusunan skripsi ini melalui tingkah random dan lucumu yang selalu mampu membuat penulis tersenyum.
3. Mbah Kung, Mbah Putri, sepupu tersayang Dek Hima, Pakde, Budhe, Mbak-mbak, Om Arif, serta seluruh keluarga besar yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu. Terima kasih atas doa, dukungan, perhatian, dan kasih sayang yang telah diberikan kepada penulis. Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan dengan keberkahan dan kebahagiaan.
4. Bapak dan Ibu dosen Biologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan ilmu, bimbingan, arahan, dan pengalaman berharga selama masa perkuliahan. Terima kasih atas segala ilmu dan nasihat yang telah diberikan hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sesuai dengan target.
5. Sahabat-sahabat Biologi tersayang, Yana, Salsa, Andin, Farida, Putri, dan Jihan, yang selalu kebersamai penulis selama masa perkuliahan. Terima kasih atas bantuan, motivasi, semangat, pengingat, dan arahan yang diberikan hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat waktu. Semoga Allah SWT membalas segala kebaikan kalian dan semoga kita dapat meraih keberhasilan bersama.
6. Teman-teman kost tersayang, Shimeya, Shinta, Meyla, dan Yana, yang selalu hadir dalam suka maupun duka. Terima kasih telah menjadi teman berbagi cerita, teman healing, teman kuliner, serta teman yang selalu kebersamai penulis selama proses penyusunan skripsi. Semoga segala urusan kalian selalu dipermudah dan setiap langkah kalian senantiasa diberkahi Allah SWT.

7. Teman-teman Biologi angkatan 2022 yang telah kebersamai perjalanan perkuliahan selama kurang lebih empat tahun. Terima kasih atas kebersamaan, pengalaman, cerita, dan semangat yang telah diberikan. Semoga kita semua diberikan kelancaran dalam meraih cita-cita dan kesuksesan di masa depan.
8. Terakhir, kepada diri saya sendiri. Terima kasih sudah bertahan sampai sejauh ini, meskipun sering merasa lelah, ragu, dan tidak percaya pada kemampuan diri sendiri. Terima kasih karena tetap memilih untuk melangkah, meskipun perlahan dan tidak selalu mudah. Setiap proses, air mata, dan usaha yang telah dilalui menjadi bagian dari perjalanan yang berharga. Alhamdulillah, penulis dapat sampai pada tahap ini. Semoga langkah ke depan senantiasa dipenuhi keberanian, keikhlasan, dan keberkahan.

Malang, 05 Juni 2026

Silfina

MOTTO

“Allah tidak akan membawamu sejauh ini hanya untuk gagal. Setiap lelah, doa, dan air mata adalah bagian dari jalan menuju keberhasilan.”

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Silfina
NIM : 220602110012
Program Studi : Biologi
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Aplikasi Nanofertilizer Zinc (Zn) Ekstrak Mimba *A. indica*
Terhadap Karakter Anatomi Daun Kedelai *Glycine max* L.
Dega 1 Pada Stres Kekeringan

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

Malang, 22 Juni 2026

Yang membuat pernyataan,



METERAI
TEMPEL
051AJX995015362

Silfina

NIM. 220602110012

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.

APLIKASI NANOFERTILIZER ZINC (ZN) EKSTRAK MIMBA (*A. indica*) TERHADAP KARAKTER ANATOMI DAUN TANAMAN KEDELAI (*Glycine max* L.) DEGA 1 PADA STRES KEKERINGAN

Silfina, Evika Sandi Savitri, Kivah Aha Putra

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

ABSTRAK

Cekaman kekeringan merupakan salah satu faktor abiotik yang dapat memengaruhi pertumbuhan dan struktur anatomi daun tanaman kedelai (*Glycine max* L.). Upaya untuk meningkatkan kemampuan adaptasi tanaman terhadap cekaman kekeringan dapat dilakukan melalui aplikasi nanofertilizer zinc (Zn) berbasis ekstrak daun mimba (*A. indica*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh aplikasi nanofertilizer Zn ekstrak mimba, pengaruh cekaman kekeringan, serta interaksi keduanya terhadap karakter anatomi daun tanaman kedelai varietas Dega 1. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial 5×3 dengan dua faktor, yaitu perlakuan pemupukan Zn dan tingkat ketersediaan air. Faktor pemupukan terdiri atas P0: kontrol, P1: ZnO-NP 100 ppm, P2: ZnO-NP 200 ppm, P3: ZnO-NP 300 ppm, dan P4: ZnSO₄, sedangkan faktor ketersediaan air terdiri atas K1: 100% kapasitas lapang, K2: 75% kapasitas lapang, dan K3: 50% kapasitas lapang. Parameter yang diamati meliputi ukuran stomata, kerapatan stomata, kerapatan trikoma, tebal mesofil, dan tebal kutikula. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi nanofertilizer Zn ekstrak mimba berpengaruh terhadap karakter anatomi daun kedelai, yaitu dosis 200 ppm meningkatkan kerapatan trikoma dan dosis 100 ppm meningkatkan tebal kutikula. Cekaman kekeringan tidak berpengaruh nyata terhadap seluruh karakter anatomi daun yang diamati. Interaksi antara pemupukan dan cekaman kekeringan berpengaruh terhadap kerapatan trikoma, tebal mesofil, dan tebal kutikula. Nanofertilizer Zn yang disintesis menggunakan bioreduktor ekstrak daun mimba memiliki ukuran partikel 122,3 nm dengan nilai PDI 0,201, serta hasil FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi yang berperan sebagai agen pereduksi dan penstabil. Dengan demikian, nanofertilizer Zn ekstrak mimba berpotensi mendukung adaptasi anatomi daun kedelai pada kondisi cekaman kekeringan..

Kata kunci: Kedelai (*Glycine max* L.), nanofertilizer zinc *A. indica*, anatomi daun, cekaman kekeringan

APPLICATION OF ZINC (ZN) NANOFERTILIZER FROM NEEM (*A. indica*) EXTRACT ON ANATOMICAL CHARACTERISTICS OF SOYBEAN (*Glycine max* L.) DEGA 1 LEAVES DURING DROUGHT STRESS

Silfina, Evika Sandi Savitri, Kivah Aha Putra

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

ABSTRACT

Drought stress is an abiotic factor that can affect the growth and anatomical structure of soybean (*Glycine max* L.) leaves. Efforts to improve plant adaptation to drought stress can be achieved through the application of zinc (Zn) nanofertilizer based on neem (*A. indica*) leaf extract. This study aims to determine the effect of the application of neem extract Zn nanofertilizer, the effect of drought stress, and the interaction of both on the anatomical characteristics of soybean leaf plants of the Dega 1 variety. This study used a 5×3 factorial Completely Randomized Design (CRD) with two factors, namely Zn fertilization treatment and water availability level. Fertilization factors consisted of P0: control, P1: ZnO-NP 100 ppm, P2: ZnO-NP 200 ppm, P3: ZnO-NP 300 ppm, and P4: ZnSO₄, while the water availability factor consisted of K1: 100% field capacity, K2: 75% field capacity, and K3: 50% field capacity. The parameters observed included stomatal size, stomatal density, trichome density, mesophyll thickness, and cuticle thickness. The results showed that the application of neem extract Zn nanofertilizer affected the anatomical characteristics of soybean leaves. A dose of 200 ppm increased trichome density and a dose of 100 ppm increased cuticle thickness. Drought stress had no significant effect on any of the observed leaf anatomical characteristics. The interaction between fertilization and drought stress affected trichome density, mesophyll thickness, and cuticle thickness. The Zn nanofertilizer synthesized using neem leaf extract bioreductant had a particle size of 122.3 nm with a PDI value of 0.201, and FTIR results indicated the presence of functional groups that act as reducing and stabilizing agents. Thus, neem extract Zn nanofertilizer has the potential to support soybean leaf anatomical adaptation to drought stress conditions.

Keywords: *A.indica* zinc nanofertilizer, drought stress, leaf anatomy, Soybean (*Glycine max* L.), leaf anatomy, drought stress

على الخصائص (*Animalus indica*) تأثير استخدام سماد الزنك النانوي المستخلص من نبات النيم
أثناء الإجهاد الناتج DEGA 1 (*Glycine max L.*) التشريحية لأوراق فول الصويا
عن الجفاف

سيلفينا، إيفيكا ساندري سافيتري، كيفاه آها بوترا

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

الملخص

Glycine max يُعد الإجهاد الناتج عن الجفاف عاملاً غير حيوي يؤثر على نمو وبنية أوراق فول الصويا ويمكن تحسين قدرة النبات على التكيف مع الإجهاد الناتج عن الجفاف من خلال استخدام سماد الزنك (*L.*). تهدف هذه الدراسة إلى تحديد تأثير (*Animalus indica*) النانوي المستخلص من أوراق نبات النيم استخدام سماد نانوي من مستخلص النيم والزنك، وتأثير الإجهاد الناتج عن الجفاف، وتفاعل هذين العاملين، على الخصائص التشريحية لأوراق نباتات فول الصويا من صنف ديجا 1. استخدمت الدراسة بعاملين هما: معاملة التسميد بالزنك ومستوى توافر الماء، 5×3 (CRD) تصميمًا عاملًا عشوائيًا كاملاً. P2 (جزء في المليون من جسيمات أكسيد الزنك النانوية 100)، P1 (التحكم) P0: شملت عوامل التسميد جزء في المليون من جسيمات 300) P3، (جزء في المليون من جسيمات أكسيد الزنك النانوية 200) من السعة 100%): K1 (كبريتات الزنك). أما عامل توافر الماء فشمّل P4 (أكسيد الزنك النانوية)، و تضمّن المعايير المرصودة. (من السعة الحقلية 50%) K3 و، (من السعة الحقلية 75%) K2، (الحقلية حجم الثغور، وكثافة الثغور، وكثافة الشعيرات، وسماكة النسيج المتوسط، وسماكة البشرة. أظهرت النتائج أن استخدام سماد الزنك النانوي المستخلص من نبات النيم يؤثر على الخصائص التشريحية لأوراق فول الصويا. فقد أدت جرعة 200 جزء في المليون إلى زيادة كثافة الشعيرات، بينما أدت جرعة 100 جزء في المليون إلى زيادة سُمك طبقة الكيوتيكل. ولم يكن للإجهاد الناتج عن الجفاف أي تأثير يُذكر على أي من الخصائص التشريحية للأوراق التي تمت ملاحظتها. وقد أثر التفاعل بين التسميد والإجهاد الناتج عن الجفاف على كثافة الشعيرات، وسُمك النسيج المتوسط، وسُمك طبقة الكيوتيكل. بلغ حجم جسيمات سماد (PDI) الزنك النانوي المُصنَّع باستخدام مُختزل حيوي من أوراق النيم 122.3 نانومتر، بقيمة مؤشر تشتت إلى وجود (FTIR) قدرها 0.201، وأشارت نتائج مطيافية الأشعة تحت الحمراء بتحويل فورييه مجموعات وظيفية تعمل كمعامل اختزال وتثبيت. وبذلك، يتمتع سماد الزنك النانوي المستخلص من نبات النيم بإمكانية دعم التكيف التشريحي لأوراق فول الصويا مع ظروف الإجهاد الناتج عن الجفاف.

الكلمات المفتاحية: فول الصويا سماد الزنك النانوي المستخلص من نبات النيم، (*Glycine max L.*)
تشريح الأوراق، الإجهاد الناتج عن الجفاف

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah menganugrahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi yang berjudul “Aplikasi Nanofertilizer Zinc (Zn) Ekstrak Mimba (*A. indica*) Terhadap Karakter Anatomi Daun Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.) Dega 1 Pada Stres Kekeringan”. Tidak lupa shalawat dan salam disampaikan kepada junjungan Nabi besar Muhammad SAW. yang telah menegakkan agama Islam yang terpatri hingga akhir zaman. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada seluruh pihak yang membantu menyelesaikan skripsi ini, terkhusus kepada:

1. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nurdiana, M.Si., CHARM, CRMP selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Agus Mulyono, M.Kes selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Prof. Dr. Retno Susilowati, M.Si selaku Ketua Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Prof. Dr. Evika Sandi Savitri, M.P selaku dosen pembimbing skripsi yang telah banyak meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan dengan penuh kesabaran.
5. Kivah Aha Putra, M Pd.I selaku dosen pembimbing agama yang telah banyak memberikan bimbingan terkait integrasi sains dan islam.
6. Seluruh bapak/ibu dosen dan laboran di Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberikan ilmu pengetahuan yang bermanfaat. Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini belum mencapai kesempurnaan yang diharapkan.

Semoga segala kebaikan yang diberikan oleh beberapa pihak tersebut kepada penulis mendapatkan balasan kebaikan dari Allah SWT.

Malang, 05 Juni 2026

Silfina

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
MOTTO	vi
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	Error! Bookmark not defined.
PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI	viii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	x
المُلخَص	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	11
1.3 Tujuan Penelitian.....	11
1.4 Hipotesis Penelitian.....	11
1.5 Manfaat Penelitian.....	12
1.6 Batasan Masalah	12
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	13
2.1 Kedelai (<i>Glycine max</i> L. Merr) dalam Prespektif Al-Qur'an	13
2.2 Kedelai (<i>Glycine max</i> L. Merr) dalam Prespektif Sains	17
2.2.1 Klasifikasi dan Morfologi Tanaman Kedelai (<i>Glycine max</i> L. Merr)	17
2.2.2 Taksonomi.....	22
2.2.3 Syarat Tumbuh Tanaman Kedelai	23
2.3 Cekaman Kekeringan dan Respon Tanaman	25
2.3.1 Definisi Cekaman Kekeringan	25
2.3.2 Dampak Stres Kekeringan pada Fotosintesis dan Produktivitas	25

2.3.3 Respon Fisiologis dan Anatomi Daun terhadap Stres Kekeringan ..	27
2.3.4 Pengaruh Cekaman Kekeringan terhadap Karakter Anatomi Daun	28
2.4 Anatomi Daun	30
2.4.1 Stomata.....	30
2.4.2 Trikoma.....	32
2.4.3 Mesofil	34
2.4.4 Kutikula.....	35
2.5 Nanopartikel Zinc (Zn) dan Perannya.....	36
2.5.1 Definisi dan Karakteristik Nanopartikel	36
2.6.2 Kandungan Senyawa Bioaktif Dalam Daun Mimba (<i>A. indica</i>)	38
2.7 Mekanisme Ekstrak Tanaman Sebagai Agen Pereduksi dan Penstabil	39
2.7.1 Bioeduksi Ekstrak Tanaman <i>A. Indica</i> menjadi Nanopartikel	39
2.7.2 Nanopartikel dengan Senyawa Bioaktif sebagai <i>Capping Agent</i>	41
2.7.3 Mekanisme Ekstrak Tanaman sebagai Agen Preduksi dan Penstabil	42
2.7.4 Mekanisme Nanofertilizer dalam Mengurangi Dampak Cekaman Kekeringan terhadap Anatomi Daun Kedelai.....	43
BAB III METODE PENELITIAN	32
3.1 Rancangan Penelitian	32
3.2 Waktu dan Tempat	33
3.3 Variabel Penelitian.....	33
3.3.1 Variabel bebas	33
3.3.2 Variabel terikat	34
3.3.3 Variabel kontrol	34
3.4. Alat dan Bahan.....	34
3.4.1 Alat.....	34
3.4.2 Bahan.....	35
3.5 Prosedur Penelitian.....	35
3.5.1 Sintesis Nanopartikel Zinc Ekstrak <i>A. indica</i>	35
3.5.2 Uji PSA.....	36
3.5.3 Uji FTIR.....	37

3.5.4 Pembuatan Media Tanam dan Proses Penanaman	38
3.5.5 Aplikasi Perlakuan.....	43
3.5.4 Pengamatan Stomata	43
3.5.4.1 Kerapatan Stomata	43
3.5.4.2 Pengamatan Ukuran Stomata	44
3.5.5 Pengamatan Trikoma.....	45
3.5.5.1 Kerapatan Trikoma	45
3.5.6 Pengamatan Tebal Kutikula dan Tebal Mesofil Daun	46
3.6 Analisis Data.....	46
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Karakteristik Nanofertilizer Zinc (Zn) dengan Bioreduktor <i>A. indica</i>	47
4.1.1 Karakteristik Nanopartikel Menggunakan PSA (<i>Particle Size Analyzer</i>)	47
4.1.2 Analisis Gugus Fungsi Nanopartikel Zinc Ekstrak Mimba Menggunakan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)	50
4.2 Pengaruh Cekaman Kekeringan dan Aplikasi Nanofertilizer Zinc (Zn) Ekstrak <i>Azadirachta indica</i> terhadap Karakter Anatomi Daun Kedelai (<i>Glycine max</i> L. Merr).	55
4.3 Pengaruh Kombinasi Aplikasi Nanofertilizer Zinc (Zn) Ekstrak Mimba (<i>A. indica</i>) dan Cekaman Kekeringan terhadap Karakter Anatomi Daun Kedelai (<i>Glycine max</i> L.)	62
BAB V PENUTUP	74
5.1 Kesimpulan	74
5.2 Saran	74
DAFTAR PUSTAKA	77
DAFTAR LAMPIRAN	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bagian tumbuhan kedelai (<i>Glycine max</i> (L) Merril). (a) tumbuhan kedelai, (b) batang, (c) daun, (d) bunga, (e) buah (iNaturalist.Org).....	22
Gambar 2. 2 Stomata dengan Perbesaran 400 kali (Dokumentasi peneliti).....	32
Gambar 2. 3 Trikoma non-glandular (Valle et al. 2012)	34
Gambar 2. 4 Mesofil dengan perbesaran 400 kali (Dokumentasi peneliti)	35
Gambar 2. 5 Kutikula dengan perbesaran 400 kali (Dokumentasi peneliti)	36
Gambar 2. 6 Diagram senyawa fitokimia utama pada tanaman <i>A.indica</i> (Tsegahun & Aklilu 2025).....	41
Gambar 2. 7 Mekanisme sintesis nanopartikel ZnO menggunakan ekstrak tumbuhan (Tsegahun & Aklilu 2025).	43
Gambar 2. 8 Mekanisme molekuler nanopartikel dalam toleransi terhadap stres kekeringan dan salinitas.....	45
 Gambar 3.1 Pengukuran Ukuran Stomata (Pompelli dkk., 2010).....	45
Gambar 3.2 Pengukuran Tebal Kutikula dan Tebal Mesofil Daun (Dokumentasi peneliti).....	46
 Gambar 4.1 Hasil uji PSA (Particle Size Analyzer)	47
Gambar 4. 2 Spektra FTIR Representatif dari Nanopartikel Zinc <i>A.indica</i>	50

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Pengacakan unit sampel	33
Tabel 4.1 Gugus Fungsi yang Terkandung dalam Nanopartikel Zinc A.indica, Ekstrak A.indica , dan Zinc Sulfate menggunakan FTIR	51
Tabel 4.2. Pengaruh cekaman kekeringan & aplikasi ZnO-NP terhadap karakter anatomi ukuran stomata, kerapatan stomata, kerapatan trikoma, tebal mesofil dan tebal kutikula.	55
Tabel 4.3 Pengaruh kombinasi aplikasi nanofertilizer zinc (Zn) ekstrak mimba (A. indica) dan cekaman kekeringan terhadap karakter anatomi ukuran stomata, kerapatan stomata, kerapatan trikoma, tebal mesofil dan tebal kutikula.	62

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran. 1 Perhitungan $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ untuk sintesis nanopartikel.....	87
Lampiran. 2. Perhitungan Taraf Zinc.....	87
Lampiran. 3 Perhitungan Kapasitas Lapang Tanah	90
Lampiran. 4 Data Hasil Pengamatan	94
Lampiran. 5 Data Hasil SPSS	97
Lampiran. 6 Dokumentasi Penelitian.....	104

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Allah SWT telah menciptakan berbagai tumbuhan yang bermanfaat bagi makhluk hidup. Allah SWT berfirman dalam Al-Qur'an surah Asy-Syu'ara' ayat 7-8 sebagai berikut.

أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَمْ أَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ ﴿٧﴾ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَآيَةً وَمَا كَانَ أَكْثَرُهُمْ مُؤْمِنِينَ ﴿٨﴾

Artinya: “Apakah mereka tidak memperhatikan bumi, betapa banyak Kami telah menumbuhkan di sana segala jenis (tanaman) yang tumbuh baik? Sesungguhnya pada yang /demikian itu benar-benar terdapat tanda (kekuasaan Allah), tetapi kebanyakan mereka tidak beriman” (QS. Asy-Syu'ara'[26]: 7-8).

Menurut Shihab (2002) berpendapat bahwa ayat ini mengundang manusia untuk mengarahkan pandangan hingga batas kemampuannya memandang sampai mencakup ke seluruh bumi, manusia disuruh untuk memperhatikan berbagai aneka tanah dan tumbuhannya dan aneka keajaiban yang terhampar pada tumbuhan. Sehingga manusia benar-benar mengetahui bahwa semua itu terjadi atas kekuasaan Allah SWT sehingga manusia diwajibkan untuk menjaga dan melestarikan apa yang Allah telah ciptakan.

Menurut Ath-Thabari (2009) ayat ini menjelaskan tentang tanda-tanda kekuasaan Allah yang tampak melalui kehidupan tumbuh-tumbuhan di bumi. Ath-Thabari menafsirkan bahwa yang dimaksud dalam firman Allah “Kami tumbuhkan di bumi itu berbagai macam tumbuh-tumbuhan yang baik” adalah segala jenis tanaman yang tumbuh di Bumi dan dimanfaatkan oleh manusia serta hewan

ternak. Istilah “*azwāj karīm*” (tumbuh-tumbuhan yang baik) dimaknai sebagai tanaman yang indah, bermanfaat, dan menjadi sumber kehidupan .

Ayat ini menjelaskan bahwa Allah menunjukkan tanda-tanda kekuasaan-Nya melalui bumi dan segala jenis tumbuh-tumbuhan yang hidup di dalamnya. Dari tanah yang semula kering dan tidak bernyawa, Allah menumbuhkan berbagai macam tanaman yang baik, indah, dan bermanfaat bagi manusia serta hewan. Hal ini menjadi bukti nyata bahwa Allah Maha Kuasa untuk menghidupkan kembali sesuatu yang telah mati, sebagaimana Ia menghidupkan bumi yang tandus dengan turunnya air hujan dan memberikan kehidupan baru bagi seluruh makhluk. Kalimat pada ayat ini yang berbunyi “*min kulli zawjin karīm*” menggambarkan segala jenis tanaman yang memiliki nilai dan manfaat, baik dari segi keindahan maupun faedahnya. Dengan demikian, ayat ini tidak hanya menggambarkan keindahan alam, tetapi juga menegaskan kekuasaan Allah dalam mengatur sistem kehidupan tumbuh-tumbuhan di bumi.

Salah satu tanaman pangan bernilai tinggi adalah kedelai (*Glycine max* (L.) Merr), yang dikenal sebagai sumber protein nabati utama. Kedelai (*Glycine max* L.) termasuk famili Leguminoceae yang berasal dari Manshukuo Cina, kemudian menyebar sampai ke Jepang, Korea, Asia Tenggara, dan Indonesia. Penyebaran kedelai di Indonesia pertama kali di Jawa Timur, Jawa Barat, Sulawesi Utara, Lampung, Sumatera Selatan dan Bali. Indonesia merupakan negara penghasil kedelai terbesar keenam di dunia setelah Amerika Serikat, Brazil, Argentina, Cina dan India. Kebutuhan kedelai di indonesia tergolong tinggi dan cenderung meningkat sejalan dengan pertumbuhan masyarakat semakin meningkat. Kedelai merupakan sumber utama protein nabati dan minyak nabati dunia yang populer bagi

masyarakat indonesia (Hulu., 2023). Kedelai mempunyai peran yang besar bagi penyediaan bahan pangan bergizi sehingga disebut sebagai “*Gold from the soil*” dan sebagai “*The World’s Miracle*”, karena asam amino tinggi sebagai sumber protein nabati (Aulia dkk, 2014).

Kedelai merupakan komoditi strategis dalam perekonomian di indonesia, namun akhir-akhir ini cenderung mengalami permasalahan karena ketersediaannya tidak mencukupi kebutuhan masyarakat (Hasdi & Alpon, 2014). Pada tahun 2021, proyeksi kedelai yang dihasilkan dari dalam negeri mencapai 613,3 ribu ton, turun 3,01 persen dari tahun 2020 yang mencapai 632, 3 ribu ton (Kementan, 2021). Diperkirakan akan terus turun 3,05 persen menjadi 594,6 ribu ton pada tahun 2022. Setahun setelahnya, produksi kedelai akan berkurang 3,09 persen menjadi 576,3 ribu ton. Sementara kedelai yang berasal dari indonesia turun 3,12 persen menjadi 558,3 ribu ton pada 2024 (Databoks, 2022). Produksi kedelai di indonesia hanya mampu memenuhi 40% kebutuhan kedelai nasional, 60% sisanya masih di impor dari luar negeri (BPS,2022). Kedelai memiliki kandungan protein tinggi, sehingga kedelai banyak dikonsumsi dalam bentuk olahan seperti tahu, tempe, kecap, tauco, susu kedelai, dan berbagai bentuk makanan ringan, disamping sebagai bahan makanan juga digunakan sebagai bahan industri dan pakan ternak (Bahri, 2017).

Kedelai memiliki peningkatan permintaan pesat seiring dengan laju pertumbuhan penduduk dan meningkatnya kesadaran pentingnya nilai gizi bagi kesehatan. Namun, terdapat rendahnya produksi kedelai disebabkan oleh faktor-faktor mutu kedelai yang rendah seperti penggunaan varietas unggul yang masih kurang, cara bercocok tanam yang kurang baik, kekeringan, banjir, hujan terlalu

besar pada saat panen, serangan hama, dan persaingan dengan rerumputan (gulma) (Bahri, 2017).

Kendala utama dalam budidaya kedelai salah satunya adalah cekaman kekeringan yang disebabkan oleh perubahan iklim. Kekeringan adalah salah satu tantangan besar bagi pertumbuhan tumbuhan di banyak wilayah di dunia, yang disebabkan oleh berkurangnya curah hujan dan distribusi air yang tidak merata sehingga membatasi pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Rosawanti, 2015). Cekaman kekeringan menyebabkan penurunan turgor sel sehingga akan mengurangi pengembangan sel, sintesis protein dan sintesis dinding sel (Bahri, 2017).

Dampak cekaman kekeringan tidak hanya tampak dari gejala makroskopis seperti layu dan pertumbuhan terhambat. Salah satu respon anatomi daun yang sangat dipengaruhi oleh kondisi kekeringan adalah organ daun yang meliputi ukuran stomata, kerapatan stomata, ukuran trikomata, kerapatan trikomata, serta ketebalan mesofil dan kutikula (Toriq & Puspitawati., 2023). Daun merupakan sebagai organ utama untuk fotosintesis yang sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan. Dalam kondisi kekurangan air, tanaman cenderung menutup stomata untuk mengurangi kehilangan air melalui transpirasi (Silaen, 2021).

Tanaman dapat menunjukkan respons adaptif berupa peningkatan kerapatan trikomata dan penebalan kutikula sebagai bentuk perlindungan terhadap kehilangan air yang berlebihan (Toriq & Puspitawati., 2023). Selain itu, struktur mesofil mampu mengalami penyesuaian dalam hal ketebalan untuk mempertahankan efisiensi metabolisme selama kondisi stres. Penurunan ketebalan mesofil pada tanaman yang mengalami cekaman kekeringan seringkali berhubungan dengan

dehidrasi sel dan pengerutan jaringan, yang dapat mempengaruhi proses fotosintesis. Kondisi ini di satu sisi dapat menjadi mekanisme adaptif tanaman untuk mengurangi kehilangan air, namun di sisi lain juga berpotensi menimbulkan gangguan fotosintesis akibat penurunan turgor dan fungsi sel mesofil (Sari dkk., 2023). Defisit air memperburuk permeabilitas membran, penyerapan nutrisi, dan sintesis klorofil, sehingga mengurangi efisiensi fotosintesis pada tanaman (Rahbarian dkk., 2011). Menurut penelitian (Chartzoulakis dkk., 2002) pada tanaman Zaitun, kondisi cekaman kekeringan menyebabkan perubahan terutama pada anatomi daun. Perubahan yang terjadi misalnya penambahan ketebalan kutikula, kerapatan stomata dan kerapatan trikoma non glandular, juga peningkatan sel epidermis dan sel mesofil.

Dalam menghadapi permasalahan tersebut, dibutuhkan inovasi dalam teknologi budidaya yang mampu mendukung peningkatan ketahanan tanaman terhadap berbagai bentuk cekaman lingkungan. Salah satu pendekatan yang berpotensi baik untuk diterapkan adalah aplikasi nanofertilizer (Zn) *Azadirachta indica*. Penggunaan nanofertilizer (Zn) *Azadirachta indica* merupakan salah satu potensi sebagai stimulan pertumbuhan tanaman. Nanofertilizer yang terdiri dari nanopartikel yang mengandung unsur makro dan mikro yang dikirim ke rizosfer tanaman secara bertahap dan stabil, sehingga mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman, hasil, kualitas dan efisiensi penggunaan unsur hara (Nongbet *et al.*, 2022).

Nanofertilizer adalah generasi baru pupuk yang memanfaatkan nanoteknologi sebagai metode pemupukan yang efisien dan menawarkan keunggulan dibanding pupuk konvensional untuk pertanian berkelanjutan dan ketahanan pangan global (Yadav *et al.*, 2023). Nanofertilizer diformulasikan

menggunakan nanoteknologi sehingga partikel pupuk berukuran sangat kecil, yaitu 1-100 nm. Ukuran partikel yang kecil memungkinkan untuk menunjukkan sifat-sifat seperti pertukaran ion, difusi, penyerapan ion, dan kompleksasi secara lebih efektif. Selain itu, memberikan luas permukaan relatif yang besar sehingga mampu meningkatkan reaktivitas dan efisiensi penyerapan oleh jaringan tanaman. Hal ini penggunaan nanofertilizer sebagai agen stimulan pertumbuhan tanaman lebih efektif untuk digunakan (Samenova dkk., 2024).

Metode aplikasi nanopartikel Zn *Azadirachta indica* diaplikasikan melalui metode foliar application. Metode ini digunakan karena memungkinkan penyerapan unsur hara dan senyawa aktif berlangsung secara langsung melalui permukaan daun, terutama melalui stomata dan kutikula. Penelitian yang dilakukan oleh Mulyono dkk. (2022) menunjukkan bahwa aplikasi nanopartikel abu tandan kosong kelapa sawit secara foliar pada tanaman kentang dapat mempengaruhi anatomi stomata, meliputi lebar sel penjaga stomata, bukaan stomata (apertur), dan kerapatan stomata.

Penggunaan nanopartikel zinc (ZnO) melalui aplikasi foliar terbukti mampu meningkatkan efisiensi penyerapan hara serta respons fisiologis tanaman. Penelitian yang dilakukan oleh Kolencik *et al.* (2022) menunjukkan bahwa aplikasi ZnO nanopartikel melalui daun dapat meningkatkan hasil tanaman, seperti jumlah polong, berat biji, dan produktivitas secara keseluruhan. Selain itu, ZnO nanopartikel juga berperan dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan dengan memperbaiki konduktansi stomata dan menurunkan indeks stres air tanaman. Hal ini menunjukkan bahwa nanopartikel Zn yang diaplikasikan melalui daun tidak hanya berperan dalam pertumbuhan, tetapi juga dalam

mekanisme adaptasi tanaman terhadap kondisi cekaman seperti kekeringan. Pemberian nanopartikel ZnO secara foliar terbukti mampu mempengaruhi karakter anatomi daun pada tanaman *Glycine max*, seperti meningkatkan ukuran stomata dan efisiensi jaringan pembuluh. Peningkatan tersebut berkaitan dengan meningkatnya proses fotosintesis dan transport nutrisi, sehingga mendukung pertumbuhan tanaman, terutama pada kondisi cekaman lingkungan. Hasil penelitian yang dilakukan oleh Aljaf dkk. (2025) menunjukkan bahwa perlakuan nanopartikel Zn meningkatkan panjang stomata dari 34,1 μm (kontrol) menjadi 44,6 μm dan lebar stomata dari 21,1 μm menjadi 30,8 μm . Perubahan-perubahan tersebut menunjukkan bahwa aplikasi nanopartikel Zn berperan dalam meningkatkan efisiensi fisiologi dan anatomi tanaman.

Efektivitas aplikasi foliar sangat dipengaruhi oleh anatomi daun terutama struktur permukaannya yang terdiri atas kutikula, trikoma dan stomata. Daun tidak hanya berfungsi pelindung, tetapi juga sebagai jalur penyerapan hara melalui permukaannya. Nanopartikel dapat masuk ke jaringan daun melalui kutikula dan stomata, namun jalur stomata dianggap lebih dominan terutama untuk partikel berukuran lebih besar. Penyerapan melalui stomata memungkinkan unsur hara ditranslokasikan ke seluruh bagian tanaman melalui floem, sehingga meningkatkan fotosintesis dan pertumbuhan (Kolencik *et al.* 2022). Menurut Tarek dan Hasan (2017) pada kondisi cekaman tertentu, terdapat unsur hara yang tidak diserap tanaman melalui akar, sehingga foliar application dapat menjadi alternatif untuk memenuhi kebutuhan hara tersebut bagi tanaman. Hal ini telah dibuktikan oleh Mandic *et al.* (2015) yang melaporkan bahwa dampak cekaman abiotik akibat rendahnya curah hujan mampu direduksi dengan aplikasi hara melalui daun.

Penelitian Dola & Mannan (2022) menunjukkan bahwa aplikasi pupuk nano ZnO melalui daun dengan konsentrasi 100 ppm 200 ppm berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai pada kondisi normal maupun cekaman kekeringan. Seluruh parameter morfologi, seperti tinggi tanaman dan berat segar daun, meningkat seiring bertambahnya dosis nano ZnO. Pada kondisi normal, tinggi tanaman tertinggi mencapai 32,07 cm dan berat segar daun 14,28 g pada dosis 200 ppm, sedangkan nilai terendah diperoleh pada tanaman tanpa perlakuan. Pada kondisi kekeringan, dosis 200 ppm juga menghasilkan tinggi tanaman dan berat segar daun tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Hasil tersebut menunjukkan bahwa peningkatan dosis nano ZnO hingga 200 ppm masih memberikan respons positif terhadap pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, penelitian ini menambahkan dosis 300 ppm sebagai dosis tinggi, selain 100 ppm dan 200 ppm untuk mengetahui sejauh mana peningkatan konsentrasi nano ZnO masih memberikan pengaruh peningkatan pertumbuhan dan karakter morfologi dan anatomi daun kedelai pada kondisi cekaman kekeringan (Dola & Mannan 2022).

Aplikasi nanofertilizer melalui daun sebagai pengatur tumbuh mendorong perkembangan dan produktivitas tanaman dalam kondisi kekeringan, Misalnya, aplikasi nanofertilizer ZnO melalui daun meningkatkan hasil panen dan kualitas tanaman serta kualitas nutrisi benih dan memperbaiki konduktansi stomata dan indeks stres kekeringan tanaman. Zinc merupakan salah satu dari delapan unsur mikro esensial bagi tanaman yang dibutuhkan dalam jumlah tepat agar mendapatkan pertumbuhan yang normal dan hasil yang optimal dan kualitas gizi hasil tanaman tanaman tersebut. Menurut (Yang dkk., 2018) menyatakan bahwa Zn dapat mengurangi dampak negatif dari cekaman kekeringan

pada tanaman. Bentuk nanopartikel Zinc memiliki ukuran yang sangat kecil sehingga mudah di serap oleh jaringan tanaman (Sunar dkk, 2021).

Ekstrak mimba (*A. indica*) lebih banyak digunakan sebagai biofertilizer dan biopestisida alami, terutama dalam meningkatkan kesehatan tanaman, mengurangi serangan hama, serta memiliki potensi sebagai pestisida nabati yang baik untuk tanaman pangan (Hidayah dkk., 2024). Akan tetapi, penelitian mengenai pengaruh ekstrak mimba terhadap anatomi daun secara spesifik masih jarang ditemukan, sehingga perlu dikaji agar dapat memberikan pengetahuan yang lebih mendalam mengenai mekanisme pengaruh ekstrak mimba terhadap struktur anatomi daun. Di sisi lain, ekstrak *Azadirachta indica* diketahui mengandung berbagai senyawa bioaktif seperti flavonoid dan fenolik yang berperan sebagai antioksidan. Senyawa tersebut mampu mengurangi stres oksidatif pada tanaman yang umumnya terjadi pada kondisi cekaman seperti Drought Stress. Stres oksidatif yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan struktur jaringan daun, termasuk perubahan pada stomata, kutikula, dan jaringan mesofil. Oleh karena itu, keberadaan senyawa antioksidan dari ekstrak mimba diduga berperan dalam membantu menjaga stabilitas struktue anatomi daun (Juanda dkk., 2023).

Hasil penelitian menurut (Adeosun dkk., 2023) menyatakan bahwa *A. indica* merupakan salah satu tanaman yang berpotensi sebagai sumber biofertilizer karena memiliki kandungan nutrisi yang penting bagi pertumbuhan tanaman. Penelitian tersebut mengevaluasi komposisi unsur pada kulit, batang, serta campuran keduanya, dan hasilnya menunjukkan bahwa semua bagian tanaman mimba berpotensi digunakan sebagai biofertilizer karena tidak terdapat perbedaan signifikan antar sampel ($p > 0,05$). Namun, daun mimba direkomendasikan sebagai

bahan terbaik karena memiliki kandungan nutrisi tertinggi, yaitu nitrogen sebesar 2,63%, fosfor 39,42 mg/kg, dan kalium 3,44 cmol/kg, serta relatif lebih mudah diperoleh dibandingkan bagian lainnya. Kandungan nutrisi makro tersebut sangat penting untuk mendukung pertumbuhan tanaman dan produktivitas tanaman pangan. Oleh karena itu, daun mimba dinilai lebih efektif dan ramah lingkungan sebagai bahan biofertilizer dibandingkan pupuk mineral yang dapat menurunkan kualitas tanah dalam jangka panjang (Adeosun dkk., 2023). Hal ini menunjukkan bahwa ketersediaan unsur hara makro yang cukup dari ekstrak mimba kemungkinan besar dapat membantu tanaman dalam mempertahankan struktur anatomi daunnya, seperti menjaga kerapatan trikoma, kestabilan ukuran stomata, serta ketebalan kutikula dan mesofil, sehingga tanaman lebih mampu beradaptasi pada kondisi stres lingkungan seperti kekeringan (Adeosun dkk., 2023).

Pendekatan anatomi penting dilakukan untuk mengetahui bagaimana struktur daun kedelai mengalami perubahan ketika berada pada kondisi cekaman kekeringan. Perubahan yang dapat diamati mencakup ukuran dan kerapatan stomata, trikoma, dan ketebalan kutikula dan mesofil daun. Parameter-parameter anatomi tersebut digunakan sebagai indikator dalam menilai respons tanaman terhadap kekurangan air. Aplikasi nanopartikel Zinc (Zn) yang disintesis menggunakan ekstrak daun mimba (*A. indica*) diharapkan mampu memberikan pengaruh terhadap karakter anatomi daun kedelai. Pemanfaatan ekstrak mimba dalam proses sintesis bertujuan untuk menghasilkan nanopartikel yang stabil dan ramah lingkungan. Penerapan nanopartikel Zinc ini diperkirakan dapat membantu tanaman mempertahankan kondisi anatomi daunnya, sehingga kedelai tetap mampu beradaptasi lebih baik pada kondisi cekaman kekeringan. Hal tersebut melatar

belakangi dilakukannya penelitian dengan judul “Aplikasi Nanofertilizer Zinc (Zn) Ekstrak Mimba (*A. indica*) Terhadap Karakter Anatomi Daun Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.) Dega 1 Pada Stres Kekeringan”.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah karakter nanofertilizer Zn dengan bioreduktor *A. indica*?
2. Apakah ada pengaruh aplikasi nanofertilizer zinc (Zn) ekstrak mimba *A. indica* terhadap karakter anatomi daun tanaman kedelai (*Glycine max* L.) dega 1?
3. Apakah ada pengaruh cekaman kekeringan terhadap karakter anatomi daun tanaman kedelai (*Glycine max* L.) dega 1?
4. Apakah ada pengaruh kombinasi antara aplikasi nanofertilizer zinc (Zn) ekstrak mimba *A. Indica* dan cekaman kekeringan terhadap karakter anatomi daun tanaman kedelai (*Glycine max* L.) dega 1 ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mensintesis senyawa nanofertilizer Zn dengan bioreduktor *A.indica*.
2. Mengetahui pengaruh aplikasi nanofertilizer zinc (Zn) ekstrak mimba *A. indica* terhadap karakter anatomi daun tanaman kedelai (*Glycine max* L.) dega 1 pada stres kekeringan.
3. Mengetahui pengaruh cekaman kekeringan terhadap karakter anatomi daun tanaman kedelai (*Glycine max* L.) dega 1 .
4. Mengetahui pengaruh kombinasi antara aplikasi nanofertilizer zinc (Zn) ekstrak mimba *A. Indica* dan cekaman kekeringan terhadap karakter anatomi daun tanaman kedelai (*Glycine max* L.) dega 1.

1.4 Hipotesis Penelitian

Hipotesis pada penelitian ini adalah sebagai bereikut :

1. Nanofertilizer zinc (Zn) dengan bioreduktor ekstrak daun mimba (*Azadirachta indica*) memiliki karakteristik nanopartikel yang ditunjukkan

oleh ukuran partikel dalam skala nanometer serta terbentuknya gugus fungsi yang berperan dalam proses reduksi dan stabilisasi nanopartikel.

2. Ada pengaruh aplikasi nanofertilizer zinc (Zn) ekstrak mimba *A. indica* terhadap karakter anatomi daun tanaman kedelai (*Glycine max* L. Merr) dega 1 pada stres kekeringan.
3. Ada pengaruh dosis aplikasi nanofertilizer zinc (Zn) ekstrak mimba *A. indica* terhadap karakter anatomi daun tanaman kedelai (*Glycine max* L. Merr) dega 1 pada stres kekeringan.
4. Ada pengaruh kombinasi antara aplikasi nanofertilizer zinc (Zn) ekstrak mimba *A. Indica* dan cekaman kekeringan terhadap karakter anatomi daun tanaman kedelai (*Glycine max* L.) dega 1.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memberikan alternatif pemupukan berbasis nanofertilizer alami yang ramah lingkungan.
2. Memberi informasi mengenai pemanfaatan nanofertilizer zinc (Zn) ekstrak *A. indica* untuk meningkatkan ketahanan kedelai terhadap stres kekeringan
3. Mendukung pengembangan teknologi pertanian berkelanjutan dalam menghadapi perubahan iklim.

1.6 Batasan Masalah

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang terarah, maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel yang diamati meliputi luas stomata, kerapatan stomata, kerapatan trikomata, tebal mesofil dan kutikula.
2. Stomata diambil dari permukaan bawah daun dan trikoma diambil dari permukaan atas daun.
3. Daun yang diamati adalah daun yang telah benar-benar membuka, yaitu daun ketiga atau keempat dari pucuk.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kedelai (*Glycine max* L. Merr) dalam Prespektif Al-Qur'an

Allah SWT telah menciptakan berbagai tumbuhan yang bermanfaat bagi makhluk hidup. Allah SWT berfirman dalam Al-Qur'an surah Ar-Ra'd ayat 4 sebagai berikut.

وَفِي الْأَرْضِ قِطْعٌ مُتَجَاوِرَةٌ وَجَنَّتٌ مِّنْ أَعْنَابٍ وَزَرْعٌ وَنَخِيلٌ صِنَوَانٌ وَغَيْرُ صِنَوَانٍ
يُسْقَىٰ بِمَاءٍ وَاحِدٍ وَنُفِضَ لَهَا عَلَىٰ بَعْضِ فِي الْأُكُلِ إِنَّ فِي ذَٰلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَعْقِلُونَ ﴿٤﴾

Artinya : “Di bumi terdapat bagian-bagian yang berdampingan, kebun-kebun anggur, tanaman-tanaman, dan pohon kurma yang bercabang dan yang tidak bercabang. (semua) disirami dengan air yang sama, tetapi kami melebihkan tanaman yang satu atas yang lainnya dalam hal rasanya. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar (terdapat) tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang mengerti” (QS. Ar-Ra'd [13]:4)

Menurut tafsir Al Misbah mengatakan bahwa secara ilmiah telah diketahui bahwa tanah terdiri atas butir-butir mineral beraneka ragam sumber, ukuran dan susunanya; air yang bersumber dari hujan; udara; zat organik yang berasal dari limbah tumbuh-tumbuhan dan makhluk hidup lainnya yang ada diatas maupun di dalam lapisan tanah (Shihab, 2002). Penjelasan tersebut dapat diketahui bahwa Allah SWT menciptakan tanah dengan komposisi sedemikian rupa agar dapat menjadi tempat tumbuh berbagai jenis tumbuhan yang bermanfaat bagi makhluk hidup.

Menurut Tafsir al-Qurthubi menjelaskan keesaan dan kebesaran Allah SWT yang tampak melalui penciptaan alam, khususnya tanaman dan pohon di bumi. Di bumi terdapat lahan dengan tanah subur, kebun, buah-buahan, dan pohon kurma, yang tumbuh dengan beragam bentuk, ukuran, rasa, dan warna, meskipun

semuanya terkena sinar matahari dan bulan secara merata. Hal tersebut terjadi atas kehendak Allah SWT, sehingga diatur dalam ukuran, ketentuan, dan aturan yang telah ditetapkan-Nya. Keragaman bentuk dan rasa tanaman menjadi bukti nyata keteraturan ciptaan Allah, sekaligus petunjuk bagi manusia untuk mengenal kekuasaan-Nya .

Ayat diatas menjelaskan tentang kebesaran dan keesaan Allah SWT yang tampak melalui penciptaan berbagai jenis tanaman di bumi. Allah menyebutkan bahwa di bumi terdapat bagian-bagian yang berdampingan, kebun anggur, berbagai tanaman, dan pohon kurma yang bercabang maupun tidak bercabang, yang semuanya disirami dengan satu sumber air, namun menghasilkan tanaman yang berbeda dalam rasa dan manfaatnya. Hal ini menunjukkan bahwa Allah mengatur pertumbuhan tanaman dengan ketentuan dan ukuran tertentu, sehingga sekalipun semuanya mendapatkan sumber air yang sama, terdapat perbedaan dalam kualitas dan kelezatan hasilnya. Ayat ini menjadi tanda kebesaran Allah bagi mereka yang menggunakan akalnya untuk memahami aturan alam. Kondisi ini dapat disandingkan dengan tanaman kedelai (*Glycine max*) merupakan tanaman pangan yang mempunyai kandungan protein dan lemak yang tinggi serta merupakan salah satu komoditas penting dalam memenuhi kebutuhan pangan protein nabati di Indonesia.

Kedelai (*Glycine max*) umumnya menjadi bahan baku produk olahan seperti tahu, tempe, susu, kedelai, tauco, dan berbagai produk olahan lainnya. Aspek penting pada kedelai adalah sebagai sumber protein serta sumber pangan fungsional. Hal ini dapat ditinjau dari kandungan gizi pada biji kedelai. Berdasarkan basis bobot kering, kedelai mengandung sekitar 40% protein, 20% minyak, 35%

karbohidrat larut (serat makanan), dan 5% abu (Liu, 2004). Tumbuhan, termasuk kedelai merupakan makhluk hidup ciptaan Allah SWT yang memiliki kemampuan melakukan fotosintesis, menghasilkan oksigen, serta menyediakan berbagai sumber pangan dan bahan baku yang sangat penting bagi keberlangsungan hidup manusia maupun makhluk hidup lainnya. Keberadaan tumbuhan di muka bumi tidak hanya berperan sebagai penopang ekosistem tetapi juga menjadi salah satu tanda kebesaran dan kekuasaan Allah SWT yang dapat dilihat dirasakan dan dimanfaatkan setiap hari. Hal ini Allah swt berfirman tentang kelimpahan dan hakikat penciptaan tumbuhan di bumi yang menjadi tanda kekuasaan Allah sekaligus sumber manfaat bagi kehidupan manusia dan makhluk lainnya yang terdapat pada QS. Az-Zumar/39:21 yang berbunyi :

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَسَلَكَهُ يَنَابِيعَ فِي الْأَرْضِ ثُمَّ يُخْرِجُ بِهِ زَرْعًا
مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهُ ثُمَّ يَهَيِّجُ فَتَرَهُ مُصْفَرًّا ثُمَّ يَجْعَلُهُ حُطَامًا إِنَّ فِي ذَلِكَ لَذِكْرًا لِّأُولِي الْأَلْبَابِ



Artinya : “*Tidakkah engkau memperhatikan bahwa Allah menurunkan air (hujan) dari langit, lalu Dia mengalirkannya menjadi sumber-sumber air di bumi. Kemudian, dengan air itu Dia tumbuhkan tanam-tanaman yang bermacam-macam warnanya, kemudian ia menjadi kering, engkau melihatnya kekuning-kuningan, kemudian Dia menjadikannya hancur berderai. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat pelajaran bagi ulul albab*” (Q.S Az-Zumar/39:21).

Menurut tafsir Al Misbah ayat tersebut mengemukakan salah satu bukti tentang kuasanya membangkitkan yang telah mati Allah berfirman Apakah engkau tidak memperhatikan bahwa sesungguhnya Allah menurunkan air dari langit lalu dia mengalirkannya menjadi mata air mata air di bumi kemudian dia mengeluarkan dengan tanam tanaman yang bermacam-macam warnanya lalu ia menjadi kering lalu engkau melihatnya kekuning-kuningan kemudian dia menjadikannya hancur

sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat pelajaran bagi Uliil albab” (Shihab, 2003). Pada penjelasan tersebut dapat dipahami bahwa Allah swt menciptakan segala sesuatu yang menjadi kebutuhan manusia, baik sebagai sumber makanan maupun bahan pangan yang berasal dari tumbuh-tumbuhan yang tumbuh di bumi, termasuk tanaman dan pepohonan (Lisanti dkk., 2021).

Menurut tafsir al-Qurthubi, ayat ini menjelaskan bagaimana Allah menurunkan air hujan dari langit, yang kemudian meresap ke dalam tanah, tersimpan, dan muncul kembali melalui mata air untuk menyirami berbagai jenis tanaman. Setiap tanaman tumbuh dengan beragam bentuk, ukuran, warna, dan rasa, seperti hijau, kuning, merah, biru, maupun putih, meskipun semuanya menerima sumber air yang sama. Hal ini menunjukkan kekuasaan Allah dalam mengatur alam, bahwa pertumbuhan, kualitas, dan kelezatan setiap tanaman terjadi sesuai dengan ketentuan-Nya, sehingga muncul perbedaan yang unik antar tanaman meskipun faktor lingkungan dasarnya serupa.

Ayat ini menjelaskan kebesaran dan kekuasaan Allah SWT melalui fenomena alam yang sangat dekat dengan kehidupan manusia, yaitu turunnya air hujan dan tumbuhnya berbagai jenis tanaman di bumi. Allah menjelaskan bahwa air hujan yang turun dari langit tidak hanya sekadar membasahi tanah, tetapi juga meresap ke dalam bumi dan menjadi sumber kehidupan melalui mata air, sungai, dan sistem peredaran air lainnya. Dari air itulah Allah menumbuhkan beragam tanaman dengan bentuk, warna, rasa, dan manfaat yang berbeda-beda, meskipun semuanya memperoleh sumber air yang sama.

Bumi adalah tempat manusia diciptakan dan kepada bumi itu juga mereka dikembalikan Allah menganugerahkan kemampuan kepada manusia untuk

memanfaatkan air dan tumbuhan itu dalam memenuhi kebutuhannya dan sesungguhnya pada demikian itu benar-benar terdapat peringatan bagi orang yang mau mengambil pelajaran untuk menyimpulkan kebiasaan dan kekuasaan Allah SWT. Dengan demikian tafsir ini juga dapat dimaknai bahwa Allah SWT menumbuhkan berbagai jenis tanaman di muka bumi dengan beragam manfaat bagi kehidupan salah satu contohnya adalah kedelai (*Glycine max*) yang menjadi sumber pangan dan penghasil sumber protein nabati penting bagi manusia. Selain itu, kedelai juga kaya akan asam amino esensial, sehingga bermanfaat bagi kesehatan seperti menurunkan kolesterol, pencegah penyakit jantung, dan kanker. Kedelai merupakan salah satu kedelai yang merupakan sumber pangan nabati yang mengandung protein tinggi tetapi kolesterol rendah (Mateos-Aparicio *et al.*, 2008). Hal tersebut merupakan salah satu bukti nyata rahmat Allah SWT yang dapat dimanfaatkan manusia untuk menjaga keberlangsungan hidup serta memenuhi kebutuhan gizinya (Lisanti dkk., 2021).

2.2 Kedelai (*Glycine max* L. Merr) dalam Prespektif Sains

2.2.1 Klasifikasi dan Morfologi Tanaman Kedelai (*Glycine max* L. Merr)

Kedelai adalah jenis tanaman semusim yang dapat dipanen dalam waktu antara 79 hingga 90 hari. Kedelai tumbuh dengan bentuk tegak mencapai ketinggian 40 hingga 90 cm, memiliki daun sederhana serta daun yang bertiga (Trivoliolate). Tanaman ini memiliki percabangan yang sangat sedikit dan sebagian besar tanaman, baik daun maupun polong, ditutupi oleh trikoma yang lebat (Adie & Krisnawati, 2007). Tanaman kedelai berasal dari Cina kemudian dikembangkan ke berbagai negara. Tanaman ini merupakan tanaman semusim yang berbentuk perdu dan semak. Selama kurun waktu 1918 hingga 2002 Pemerintah Indonesia telah

berhasil melepas sebanyak 55 varietas kedelai. Usaha-usaha perbaikan varietas kedelai melalui hibridisasi sudah dimulai pada awal tahun 1930-an. Varietas yang ditanam sebelum tahun 1950 sebagian besar berasal dari Cina, berbiji kecil (7- 8 g/100 biji) dan berumur dalam (100-110 hari). Varietas kedelai berbiji besar (13-14 g/100 biji) dan hasilnya tinggi (1,5 t/ha) dilepas sejak tahun 1965. Kegiatan pemuliaan tanaman mulai dilaksanakan secara intensif di Bogor pada tahun 1971 dan menghasilkan beberapa varietas unggul berumur genjah, ukuran biji sedang dan tahan terhadap penyakit karat (Suhartina., 2003).

Varietas Tidar dengan umur masak 75 hari, berdaya hasil tinggi, dan tahan terhadap lalat kacang, dilepas tahun 1987. Sejak tahun 1992 telah dilakukan kegiatan pemuliaan kedelai untuk adaptasi lahan kering masam dan diperoleh tujuh varietas yang berumur sedang (80—90 hari), ukuran biji sedang (10—12,5 g/100 biji), berdaya hasil tinggi (1,0-2,26 t/ha), dan agak tahan hingga tahan terhadap karat daun yaitu Tampomas, Singgalang, Sindoro, Slamet, Tanggamus, Nanti, dan Sibayak. Tingkat hasil suatu tanaman ditentukan oleh interaksi antara faktor genetik dan lingkungan tumbuhnya seperti kesuburan tanah, ketersediaan air, dan pengelolaan tanaman. Dalam pengujian daya hasil suatu varietas biasanya digunakan paket rekomendasi yang sudah baku, baik yang berkaitan dengan pemupukan, pengendalian hama dan penyakit, serta pengelolaan tanaman lainnya (Suhartina., 2003).

Menurut Deviona dkk. (2024) karakter agronomis kedelai memiliki keanekaragaman genetik yang luas, yang ditunjukkan oleh nilai genetik (σ^2g) yang tinggi pada hampir semua karakter seperti umur bunga, umur panen, tinggi tanaman, jumlah buku, diameter batang, jumlah polong total per tanaman, jumlah

polong bernas per tanaman, jumlah biji total per tanaman, jumlah biji per polong dan bobot biji per tanaman. Salah satu Genotipe yang memiliki tinggi tanaman tertinggi adalah genotipe Demas 1, yaitu 53,03 cm. Karakter tinggi tanaman berpengaruh terhadap tingkat kerebahan, tanaman yang lebih tinggi sangat rentan terhadap rebah (Deptaningsari, 2013). Karakter tinggi tanaman memiliki hubungan dengan karakter morfologi lainnya, genotipe yang memiliki tinggi tanaman paling tinggi biasanya memiliki jumlah buku yang banyak, diameter batang paling lebar, dan lebar tajuk yang paling lebar (Deviona dkk, 2024).

Keragaman genetik yang luas menandakan bahwa populasi yang diuji berasal dari sumber tetua tanaman kedelai dengan genetik yang berbeda. Keragaman genetik luas menandakan keefektifan seleksi atau keberhasilan suatu kegiatan pemuliaan tanaman (Jalata *et al.*, 2011). Menurut Effendy *et al.*, (2018) menyatakan bahwa semakin luas keragaman genetik suatu karakter pada populasi maka semakin bervariasi sifat yang ada pada karakter tersebut yang mencerminkan pengendalian genetik pada populasi.

Morfologi dibagi menjadi beberapa bagian yaitu akar batang daun bunga polong dan biji. Sistem perakaran kedelai terdiri dari dua macam, yaitu akar tunggang dan akar sekunder (serabut) yang tumbuh dari akar tunggang. Pada cekaman tertentu seperti kadar air tanah yang terlalu tinggi, kedelai akan membentuk akar adventif yang tumbuh dari bawah hipokotil. Perkembangan akar kedelai dipengaruhi oleh kondisi kimia dan fisik tanah, cara pengolahan tanah, jenis tanah, kecukupan unsur hara, serta ketersediaan air di dalam tanah. Pertumbuhan akar tunggang bisa mencapai 2 m atau lebih apabila kondisi optimal (Lagiman dkk, 2022).

Akar kedelai tidak hanya berfungsi sebagai penopang tanaman dan saluran untuk mengangkut air serta nutrisi, tetapi juga sebagai tempat terbentuknya bintil akar. Bintil akar ini dapat bersimbiosis secara timbal balik dengan bakteri pengikat nitrogen *Bradyrhizobium japonicum* (Sumarno, 2016). Bakteri yang ada pada bintil akar mampu mengikat nitrogen dari udara dalam bentuk gas N_2 (nitrogen), yang kemudian bisa dimanfaatkan oleh kedelai setelah diubah menjadi nitrat (NO_3^+) (Usnawiyah & Khaidir, 2017) .

Batang kedelai dapat tumbuh setinggi 30 hingga 100 cm dan dapat memiliki 3 hingga 6 cabang. Pertumbuhan batang dapat dikategorikan menjadi dua jenis, yaitu terbatas (*determinate*) dan tidak terbatas (*indeterminate*). Tipe determinate ditandai dengan penghentian pertumbuhan tinggi tanaman dan jumlah daun ketika tanaman mulai berbunga. Sementara tipe indeterminate ditandai dengan pertumbuhan tinggi tanaman yang terus berlanjut serta penambahan jumlah daun yang tetap terjadi. Tanaman ini memiliki ukuran dari sedang hingga tinggi, dengan ujung batang yang lebih kecil dibandingkan dengan bagian tengahnya. Biasanya, varietas kedelai unggul memiliki tipe pertumbuhan yang bersifat determinate (Rianto, 2016).

Kedelai adalah tanaman berkeping dua (dikotil) yang tumbuh selama satu tahun dengan variasi bentuk daun, ada yang tunggal dan ada yang majemuk (memiliki tiga daun) dengan tangkai yang cukup panjang. Setiap daun memiliki bentuk oval, tipis, dan berwarna hijau. Di kedua sisi permukaan daun terdapat bulu halus (trichoma). Tanaman kedelai memiliki dua tipe daun, yaitu yang bulat (oval) dan yang lancip (lanceolate). Daun kedelai juga memiliki bulu berwarna cerah dengan jumlah yang bervariasi (Adisarwanto, 2005). Masing-masing daun kedelai

dilengkapi sepasang stipula di pangkalnya yang terhubung dengan batang. Jenis daun lain yang ada di batang utama dan cabang samping adalah daun trifoliolate yang tumbuh secara selang-seling (Adie dan Krisnawati, 2007).

Bunga kedelai merupakan bunga yang sempurna, artinya setiap bunga memiliki alat jantan dan betina. Proses penyerbukan berlangsung saat mahkota bunga masih tertutup, sehingga peluang untuk terjadinya kawin silang secara alami sangat kecil. Tanaman kedelai diketahui sebagai tanaman yang melakukan penyerbukan sendiri dengan karakter kleistogami. Biasanya, tanaman kedelai akan mulai mengeluarkan bunga pada usia antara 5 hingga 7 minggu. Bunga tanaman kedelai muncul di ketiak tangkai daun majemuk, memiliki bentuk menyerupai kupu-kupu, dan warnanya dapat bervariasi dari putih hingga ungu tergantung pada varietasnya. Satu tanaman kedelai bisa memiliki hingga 25 bunga, tergantung pada kondisi lingkungan dan jenis kedelai. Bunga pertama biasanya akan terbentuk pada buku yang kelima atau keenam, atau pada bunga yang lebih tinggi (Adisarwanto, 2008).

Buah kedelai memiliki bentuk polong yang didalamnya terdapat biji-biji kedelai. Jumlah biji kedelai dalam setiap polong bervariasi antara 1 hingga 3 biji. Polong kedelai memiliki bulu dan memiliki warna kuning kecoklatan atau abu-abu. Pada saat proses pematangan buah, polong yang mula-mula berwarna hijau akan berubah menjadi kehitaman. Warna biji kedelai bervariasi, ada yang berwarna kuning, hitam, hijau, dan coklat. Biji adalah bagian morfologi kedelai yang mengandung nilai ekonomi. Bentuk biji kedelai beragam dari lonjong hingga bulat, dan sebagian besar kedelai yang ada di Indonesia ber kriteria lonjong. Pengelompokan ukuran biji kedelai berbeda antar negara, di Indonesia kedelai

dikelompokkan berukuran besar (berat >14 g/100 biji), sedang (10-14 g/100 biji), dan kecil (< 10 g/100 biji). Di Jepang dan Amerika biji kedelai berukuran besar jika memiliki berat 30 g/100 biji. Biji sebagian besar tersusun oleh kotiledon dan dilapisi oleh kulit biji (testa). Antara kulit biji dan kotiledon terdapat lapisan endosperm (Fachrudin, 2000).



Gambar 2. 1 Bagian tumbuhan kedelai (*Glycine max* (L) Merrill). (a) tumbuhan kedelai, (b) batang, (c) daun, (d) bunga, (e) buah (iNaturalist.Org)

2.2.2 Taksonomi

Klasifikasi kedelai (*Glycine max* (L) Merrill) menurut (Adisarwanto, 2008) adalah sebagai berikut :

Kingdom	: Plantae
Divisi	: Spermatophyta
Subdivisio	: Angiospermae
Kelas	: Dicotyledoneae
Ordo	: Rosales
Famili	: Leguminosae
Genus	: Glycine

Spesies : *Glycine max* (L) Merril

2.2.3 Syarat Tumbuh Tanaman Kedelai

Tanaman kedelai merupakan termasuk dalam golongan tanaman yang tumbuh daerah subtropis dan dapat beradaptasi baik di daerah tropis. Di Indonesia, tanaman kedelai sangat sesuai untuk ditanam di tempat terbuka dan berhawa panas, terutama di area dataran rendah hingga mencapai ketinggian 1.200 meter dari permukaan laut. Suhu optimum berkisar antara 25-30°C dengan kisaran curah hujan 150-200 mm per bulan, lama penyinaran 12 jam per hari dan kelembaban rata-rata 65%. Tanaman kedelai mampu berkembang atau dapat tumbuh pada berbagai jenis tanah dengan syarat drainase dan aerasi tanah cukup baik serta ketersediaan air yang cukup selama masa pertumbuhan tanaman. Untuk tanah-tanah yang banyak mengandung pasir pertumbuhannya tidak optimal, kecuali jika diberikan pupuk organik dan kapur pertanian dalam jumlah yang cukup, kisaran pH tanah yang ideal untuk kedelai adalah sekitar 5,8-7,0 tetapi pada pH 4,5 pun kedelai masih dapat tumbuh dengan baik (Subaedah, 2020). Sebagaimana telah disebutkan dalam Shahih Bukhari Hadis No. 2152 (Siregar., 2023) adalah sebagai berikut :

حَدَّثَنَا قُتَيْبَةُ بْنُ سَعِيدٍ حَدَّثَنَا أَبُو عَوَانَةَ ح وَحَدَّثَنِي عَبْدُ الرَّحْمَنِ بْنُ الْمُبَارَكِ حَدَّثَنَا أَبُو عَوَانَةَ عَنْ قَتَادَةَ عَنْ أَنَسِ بْنِ مَالِكٍ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُ قَالَ قَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ مَا مِنْ مُسْلِمٍ يَغْرِسُ غَرْسًا أَوْ يَزْرَعُ زَرْعًا فَيَأْكُلُ مِنْهُ طَيْرٌ أَوْ إِنْسَانٌ أَوْ بَيْهيمَةٌ إِلَّا كَانَ لَهُ بِهِ صَدَقَةٌ وَقَالَ لَنَا مُسْلِمٌ حَدَّثَنَا أَبَانُ حَدَّثَنَا قَتَادَةُ حَدَّثَنَا أَنَسٌ عَنْ النَّبِيِّ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ

Artinya: “Telah menceritakan kepada kami Qutaibah bin Sa'id telah menceritakan kepada kami Abu 'Awanah. Dan diriwayatkan pula telah menceritakan kepada saya 'Abdurrahman bin Al Mubarak telah menceritakan kepada kami Abu 'Awanah dari Qatadah dari Anas bin Malik radliyallahu 'anhu berkata: Rasulullah shallallahu 'alaihi wa sallam bersabda: "Tidaklah

seorang muslimpun yang bercocok tanam atau menanam satu tanaman lalu tanaman itu dimakan oleh burung atau manusia atau hewan melainkan itu menjadi shadaqah baginya." Dan berkata kepada kami Muslim telah menceritakan kepada saya Aban telah menceritakan kepada kami Qatadah telah menceritakan kepada kami Anas dari Nabi shallallahu 'alaihi wa sallam." (HR. Bukhari)

Berdasarkan hadist tersebut menjelaskan bahwa betapa besar nilai amal seorang muslim ketika menanam tanaman atau bercocok tanam, karena setiap hasil dari tanaman itu sampai baik yang dimakan oleh manusia, hewan, maupun burung sampai semuanya akan bernilai sedekah (shadaqah) bagi orang yang menanamnya. Artinya, setiap manfaat yang dihasilkan dari tanaman tersebut, walaupun kecil dan tanpa disengaja, tetap bernilai pahala di sisi Allah SWT. Hadis ini juga menegaskan bahwa Islam sangat menghargai dan mendorong kegiatan pertanian serta pelestarian lingkungan. Menanam bukan hanya aktivitas ekonomi atau kebutuhan hidup, tetapi juga ibadah yang berpahala apabila diniatkan karena Allah dan memberi manfaat bagi makhluk hidup. Dengan demikian, petani, peneliti, maupun siapa pun yang berperan dalam menumbuhkan tanaman termasuk dalam golongan orang yang beramal saleh apabila tindakannya membawa manfaat bagi kehidupan.

Kedelai membutuhkan kondisi tanah yang tidak tergenang air, tetapi tetap memiliki ketersediaan air. Tanaman Kedelai tidak memerlukan jenis struktur tanah tertentu sebagai persyaratan untuk tumbuh. Bahkan pada kondisi lahan yang kurang subur dan sedikit masam pun kedelai dapat tumbuh, asalkan tidak mengalami genangan air yang dapat mempengaruhi busuknya pada akar. Namun demikian, untuk dapat tumbuh dengan optimal dan berproduksi tinggi, kedelai memerlukan tanah yang subur, gembur, serta kaya akan unsur hara dan bahan organik. Ketersediaan bahan organik yang cukup dalam tanah akan memperbaiki daya olah

dan juga merupakan sumber makanan bagi jasad renik yang pada akhirnya akan membebaskan unsur hara untuk pertumbuhan tanaman (Subaedah, 2020).

2.3 Cekaman Kekeringan dan Respon Tanaman

2.3.1 Definisi Cekaman Kekeringan

Cekaman kekeringan merupakan sesuatu keadaan kandungan air tanah terletak pada keadaan yang minimum untuk perkembangan serta produksi tanaman (Sujinah & Ali., 2016). Cekaman kekeringan terjadi karena kehilangan air melalui transpirasi lebih besar dibanding penyerapan oleh akar, yang disebabkan oleh ketersediaan air dalam tanah tidak cukup atau tidak dapat diserap dengan baik oleh tanaman. Kekeringan secara umum mengakibatkan dehidrasi, penurunan tekanan turgor sel, merangsang penutupan stomata, dan menghambat difusi uap air dan CO₂, sehingga aktivitas fotosintesis tanaman terhambat. Cekaman kekeringan dapat didefinisikan sebagai kondisi dimana tanaman mengalami defisit air, baik dalam jangka pendek maupun jangka panjang, sehingga mengakibatkan penurunan fisiologis dan produktivitasnya. Kekeringan tidak hanya berdampak pada fase vegetatif tanaman, tetapi juga dapat mempengaruhi fase reproduktif, seperti pembungaan dan pembentukan buah atau biji. Tingkat keparahan stres kekeringan yang dialami tanaman sangat bergantung pada durasi kekeringan, intensitasnya, dan fase pertumbuhan saat cekaman kekeringan (Aminah, 2020).

2.3.2 Dampak Stres Kekeringan pada Fotosintesis dan Produktivitas

Kedelai memiliki tingkat kepekaan tinggi terhadap perubahan iklim seperti kekeringan. Kekeringan yang berlanjut akan menyebabkan terganggunya proses fisiologi, biokimia, dan metabolisme tanaman yang berdampak pada pertumbuhan dan produksi kedelai. Kekurangan air akan berdampak pada

proses fotosintesis karena berkaitan dengan turgor dan hilangnya turgiditas sehingga pertumbuhan tanaman terhambat sebagai akibat dari pembelahan dan pembesaran sel yang terhenti (Salsabila dkk., 2024). Pertumbuhan tanaman yang terganggu nantinya juga akan mempengaruhi produksi yang dihasilkan. Laju pertumbuhan tanaman yang rendah diakibatkan oleh defisit air, dimana ketersediaan air yang rendah menyebabkan terjadinya penurunan evapotranspirasi sehingga produksi yang dihasilkan juga rendah (Aziez et al., 2021).

Kedelai adalah tanaman berhari pendek, yaitu tidak mampu berbunga bila penyinaran melebihi 16 jam, dan cepat berbunga bila kurang dari 12 jam. Lama penyinaran matahari di Indonesia umumnya sekitar 12 jam. Di Indonesia kedelai berbunga pada umur 25–40 hari dan panen pada umur 75–95 hari, sedangkan di wilayah subtropika dengan panjang hari 14–16 jam kedelai berbunga umur 50–70 hari dan panen pada umur 150–160 hari. Lama penyinaran optimal adalah 10–12 jam, penyinaran kurang dari 10 jam atau lebih dari 12 jam menyebabkan pembungaan lambat, penurunan jumlah bunga, polong, dan hasil, tetapi ukuran biji tidak terpengaruh dan menjadi lebih kecil bila penyinaran <6 jam (Ariffin 2008).

Kedelai sesuai pada lingkungan dengan intensitas cahaya dan suhu sedang, serta tanah cukup lembab. Pada daerah panas pertumbuhannya terhambat karena enzim RuBisCO (*Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase oxygenase*) mengikat banyak oksigen dengan meningkatnya suhu sehingga memacu fotorespirasi yang menyebabkan kehilangan karbon dan nitrogen sehingga menghambat pertumbuhan (Taufiq & Sundari, 2012). Cekaman kekeringan dapat meningkatkan produksi spesies oksigen reaktif (ROS) dalam kloroplas, yang dapat menyebabkan stres

oksidatif dan kerusakan jaringan fotosintetik. Oleh karena itu, jika tidak ditangani dengan mekanisme pertahanan seperti antioksidan, kerusakan ini dapat bersifat permanen dan mengganggu seluruh sistem metabolisme tanaman. Dampak fisiologis ini secara langsung akan menurunkan produktivitas tanaman, baik dalam hal pertumbuhan vegetatif maupun hasil panen. Tanaman yang kekurangan air dalam fase kritis pertumbuhan seperti pembungaan dan pembentukan biji cenderung menghasilkan jumlah dan kualitas biji yang rendah. Penurunan produktivitas ini menjadi tantangan besar, terutama bagi tanaman pangan di wilayah tropis dan subtropis yang rawan mengalami kekeringan (Sopandie, 2013).

2.3.3 Respon Fisiologis dan Anatomi Daun terhadap Stres Kekeringan

Pengaruh cekaman kekurangan air terhadap aktivitas fisiologis tanaman beragam, bergantung pada besarnya tingkat cekaman. Pada kondisi cekaman air ringan, biosintesis protein dan klorofil terganggu. Pada kondisi cekaman air sedang, tingkat reduktase nitrat, metabolisme hormon, pertumbuhan dan asimilasi karbon dioksida mulai dipengaruhi, dan pada kondisi cekaman sedang hingga berat terjadi pemecahan metabolisme sel serius yang ditunjukkan oleh bertambahnya respirasi, akumulasi prolin, dan gula. Prolin berperan menjaga osmotik jaringan tanaman, sumber nitrogen, enzim, dan struktur seluler. Kekeringan menyebabkan penurunan kandungan N dan klorofil daun, sehingga menurunkan laju asimilasi, pertumbuhan, hasil panen dan meningkatkan nisbah akar/tajuk. Kekeringan mengakibatkan produksi bahan kering komponen vegetatif tanaman berkurang, terutama pembentukan daun dan perpanjangan batang melalui pengurangan turgiditas, penundaan umur berbunga, penurunan jumlah polong dan ukuran biji (Gulo & Nurhayati 2022).

Tanaman yang mengalami kekeringan juga menunjukkan perubahan dalam kandungan hormon, terutama peningkatan hormon absisat (ABA) yang berperan penting dalam mengatur respons stomatal dan ekspresi gen terkait stres. ABA memicu penutupan stomata dan mengatur ekspresi gen-gen yang terlibat dalam perlindungan sel dari stres oksidatif.

2.3.4 Pengaruh Cekaman Kekeringan terhadap Karakter Anatomi Daun

Cekaman kekeringan merupakan suatu keadaan kandungan air tanah terletak pada keadaan yang minimum untuk perkembangan serta produksi tanaman. Cekama kekeringan merupakan salah satu faktor lingkungan abiotik yang sangat mempengaruhi proses fisiologis dan anatomi pada tumbuhan. Kekurangan air menyebabkan terganggunya tekanan turgor sel, yang berimplikasi langsung terhadap perubahan struktur jaringan daun, khususnya pada stomata dan trikoma. Menurut penelitian toriq & puspitawati (2023). Faktor-faktor pendukung turunnya jumlah stomata daun tanaman semangka diantaranya luas permukaan daun dan lama waktu cekaman kekeringan. Pernyataan Munir *et al.* (2022) tanaman yang terkena cekaman kekeringan akan terjadi kondisi penghambatan panjang daun yang bertujuan menghambat perluasan daun dan mengurangi jumlah stomata untuk pencegahan proses transpirasi berlebih. Jumlah stomata dipengaruhi lingkungan, ketika daun tanaman tumbuh dalam lingkungan yang panas kering dengan intensitas cahaya tinggi akan mempunyai jumlah stomata yang banyak, sebaliknya intensitas cahaya yang diperoleh rendah maka jumlah stomata juga sedikit (Mutaqin *et al.*, 2016).

Jumlah stomata yang banyak membuat kerapatannya akan semakin tinggi sehingga ukuran stomata yang dihasilkan menyesuaikan, nilai kerapatan semakin

tinggi maka ukuran stomata akan semakin kecil sebaliknya nilai kerapatan semakin rendah maka ukuran stomata semakin besar. Penuturan Jaya (2015) faktor yang mempengaruhi ukuran stomata baik karakter panjang dan lebar ialah intensitas cahaya, suhu udara, dan pH tanah. Selanjutnya dijelaskan Drake *et al.* (2013) panjang dan lebar stomata didapat dari ukuran stomata yang berbanding terbalik dengan jumlahnya, apabila jumlah stomata banyak maka ukurannya kecil dan sebaliknya jika stomata sedikit maka ukurannya besar. Panjang stomata daun tanaman semangka juga dipengaruhi oleh faktor internal yakni mekanisme membuka menutupnya stomata oleh pengaturan turgor sel penutup. Kedua ujung sel penjaga stomata akan menempel satu sama lain sehingga pada saat turgor meningkat sel penutup akan melengkung dan membentuk celah panjang. Menurut Rohman dan Hamida (2017) celah stomata terbentuk diakibatkan dua faktor struktural sel penjaga yang mendukung yaitu kedua ujung dari sel penjaga sama-sama menempel sehingga saat turgor meningkat sel penutup akan melengkung serta membentuk celah yang dibatasi oleh dua dinding sel penutup.

Faktor kedua ialah miselasi radial yang mempengaruhi panjang dan lebar stomata yang apabila tekanan turgor naik juga akan menyebabkan sel penutup melengkung dan membukalah stomata. Produksi stomata yang banyak menyebabkan kerapatan stomata akan semakin tinggi, semakin tinggi kerapatan maka ukuran stomata akan kecil. Diterangkan Sun *et al.* (2018) ukuran stomata dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti intensitas cahaya serta suhu yang tinggi. Semakin tinggi intensitas cahaya serta suhu maka mempengaruhi kerapatan stomata. Kerapatan tinggi membuat ukuran stomata kecil sebaliknya kerapatan rendah membuat ukuran stomata besar. Faktor internal berasal dari stomata

tanaman semangka itu sendiri tepatnya proses membuka menutupnya stomata. Membuka menutupnya stomata untuk proses transpirasi tanaman semangka. Mekanisme menutupnya stomata daun tanaman semangka ketika air keluar meninggalkan sel penutup menuju masuk ke sel tetangga, peristiwa tersebut menyebabkan tekanan turgor pada sel penutup rendah (menurun). Ketika sel tetangga telah mendapatkan suplai air dari sel penutup sehingga air terakumulasi menjadi banyak maka sel tetangga akan menggembung. Sel tetangga yang menggembung akan mendorong sel penutup ke arah depan yang mengakibatkan stomata tertutup.

Menurut Makin *et al.* (2022) kerapatan trikoma yang tinggi bisa mempertahankan konduktansi stomata yang rendah pada kondisi tanaman terkena cekaman kekeringan. Faktor selain jumlah trikoma yang mendorong tingginya kerapatan trikoma yakni kondisi lingkungan ekstrem pada intensitas cahaya yang tinggi, kelembaban yang rendah, dan suhu yang tinggi serta ekstrem membuat produksi trikoma meningkat. Pendapat Soeslistyono *et al.* (2017) pengaruh lingkungan seperti intensitas cahaya tinggi, suhu tinggi, dan kelembaban rendah berdampak pada perubahan jumlah trikoma.

2.4 Anatomi Daun

2.4.1 Stomata

Stomata merupakan lubang kecil terletak di antara sel-sel epidermis pada permukaan batang atau daun yang berfungsi sebagai pengatur hilangnya air melalui proses transpirasi maupun penyerapan CO₂ selama proses fotosintesis berlangsung (Sukmawati *et al.*, 2015). Stomata merupakan pori-pori atau lubang yang masing-masingnya dibatasi oleh dua “sel pelindung” atau sel-sel penutup. Sel penutup

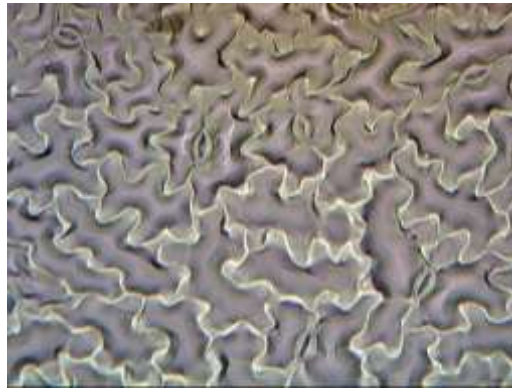
umumnya berbentuk ginjal atau menyerupai kacang. Stomata biasanya terdapat pada bagian yang berwarna hijau di tumbuhan, yang utama yaitu daun. Stomata biasanya ditemukan di bagian bawah daun, oleh karena itu disebut hipostomatus. Namun dapat ditemukan di kedua sisi daun (atas dan bawah) di beberapa jenis tumbuhan. Stomata adalah salah satu derivat dari epidermis. Derivat epidermis merupakan suatu bangunan/alat tambahan pada epidermis yang berasal dari epidermis itu sendiri, tetapi memiliki struktur dan fungsi yang berlainan dengan epidermis itu sendiri (Wahyuni dkk., 2019). Stomata terbentuk mulai dari di epidermis sebelum adanya periode aktivitas meristematik dan berlanjut saat sel-sel di bagian tertentu daun mengembang. (Aulia dkk.,2023).

Stomata dibagi menjadi enam kategori berdasarkan bagaimana sel-sel epidermis diatur yaitu tipe *anomocytic*, *anisocytic*, *parasitic*, *diacytic*, *actinocytic*, dan *cyclocytic*. Stomata dapat ditemukan di tempat yang berbeda pada jenis tumbuhan yang berbeda. Beberapa berada di satu sisi, sementara yang lain berada di kedua sisi permukaan daun tumbuhan (Muttaqin, 2023). Stomata dibagi menjadi 3 macam sesuai dengan letak keberadaannya, yaitu:

- a) Amphistomatik: terletak di kedua sisi permukaan daun
- b) Epistomatik: terletak di sisi atas permukaan daun
- c) Hipostomatik: ditemukan di bagian bawah permukaan daun

Tingkat kerapatan stomata dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti ketersediaan air, intensitas cahaya, temperatur, dan konsentrasi CO₂. Stomata juga dapat berfungsi membuka dan menutup, guna mengontrol tingkat kehilangan air serta penyerapan karbon dioksida (CO₂) (Sundari & Atmaja., 2011). Stomata juga

memberi barikade yang efektif sehingga ada pergerakan uap air dan karbon dioksida (CO₂) ke daun dan dari daun (Aulia dkk.,2023).



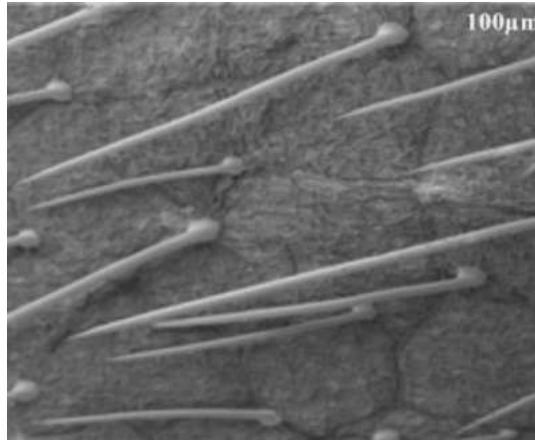
Gambar 2. 2 Stomata dengan Perbesaran 400 kali (Dokumentasi peneliti)

2.4.2 Trikoma

Trikoma berasal dari bahasa Yunani (*trichoma*) yang artinya rambut-rambut halus yang tumbuh dan berasal dari sel-sel epidermis dengan bentuk, susunan serta fungsi yang bervariasi. Trikoma pada jaringan epidermis mempunyai sifat khusus sebagai daya pertahanan dari serangga yang ditentukan oleh adanya kelenjar (glandular) atau tidak (nonglandular), kerapatan, panjang, bentuk, bentuk,; dan ketegakan trikoma, sehingga dapat disimpulkan bahwa trikoma adalah salah satu derivat dari epidermis, trikoma berasal dari bahasa Yunani yang artinya rambut-rambut yang tumbuh juga berasal dari sel-sel epidermis dengan bentuk, susunan dan fungsi yang bervariasi. Sel epidermis pada daun dan batang menghasilkan proyeksi mirip rambut disebut trikoma. Trikoma dapat memberikan daun penampilan kabur dan dapat membantu melindungi tanaman dari serangga dan hewan predator. Beberapa trikoma bahkan menghasilkan suatu zat beracun bila disentuh. Trikoma membantu menjaga beberapa tanaman dingin oleh pantulan cahaya (Mardhiyah dkk, 2024)

Trikoma digolongkan menjadi 2 berdasarkan fungsi sekresinya, yaitu trikoma non glanduler dan trikoma glanduler. Macam-macam bentuk trikoma non glanduler adalah rambut sisik, rambut bintang (bersel banyak), rambut bercabang (bersel banyak), dan rambut tunggal. Macam-macam jenis trikoma glanduler adalah trikoma hitadota, kelenjar garam, kelenjar madu, dan rambut gatal. Trikoma sendiri ditemukan hampir ditemukan di semua organ tumbuhan (pada epidermisnya) yaitu pada daun, batang, akar, biji, dan bunga. Secara morfologi, ada tidaknya trikoma biasanya diidentikkan dengan bulu-bulu halus yang terdapat pada permukaan organ tumbuhan. Indikator suatu tumbuhan memiliki trikoma adalah apabila jika kita menyentuh tumbuhan tersebut akan ada sensasi seperti terasa kasar, gatal, lengket, dan berbau menyengat (Mardhiyah dkk, 2024).

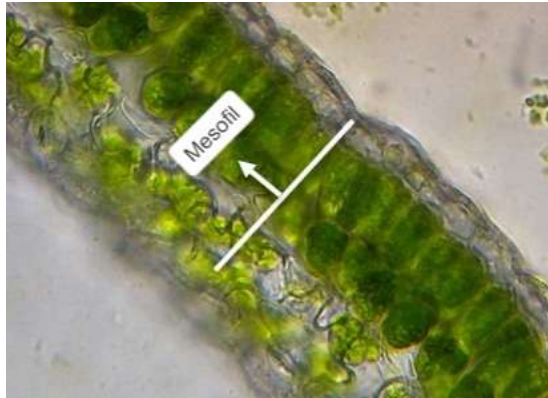
Trikoma atau rambut-rambut halus hasil dari derivat epidermis ini biasanya muncul dan ditemukan pada permukaan luar hampir seluruh organ tumbuhan baik organ vegetatif seperti daun, cabang, daun pelindung, dan akar maupun organ reproduksi seperti sepal, petal, stamen, ginodium, biji, dan buah. Berdasarkan jumlah sel yang terdapat didalamnya atau yang membangunnya, trikoma dapat dibedakan menjadi dua yakni uniseluler dan multiseluler. Trikoma uniseluler sendiri merupakan trikoma yang hanya terdiri dari satu sel, sedangkan multiseluler merupakan trikoma yang bersel banyak (Mardhiyah dkk, 2024).



Gambar 2. 3 Trikoma non-glandular (Valle et al. 2012)

2.4.3 Mesofil

Mesofil adalah jaringan parenkim yang terletak di antara epidermis atas dan epidermis bawah. Jaringan ini merupakan bagian utama dari daun yang berfungsi sebagai tempat berlangsungnya fotosintesis karena sel-selnya mengandung banyak kloroplas. Jaringan palisade (jaringan tiang) dan jaringan bunga karang (jaringan spons) merupakan dua bentuk jaringan penyusun mesofil secara umum. Jaringan palisade merupakan jaringan utama penyusun mesofil daun yang berperan dalam fotosintesis karena mengandung banyak kloroplas. Jaringan palisade lebih padat dan susunannya kompak. jaringan sel mengembangkan struktur sel yang bentuknya sejajar dengan permukaan helaian daun. Jaringan bunga karang disebut juga sebagai jaringan spons karena lebih berongga daripada jaringan palisade dan digunakan untuk menyimpan cadangan makanan. Jaringan bunga karang (spons) berfungsi sebagai menahan oksigen dan air karena ruang antara sel-selnya lebih besar dari pada palisade (Muttaqin, 2023)

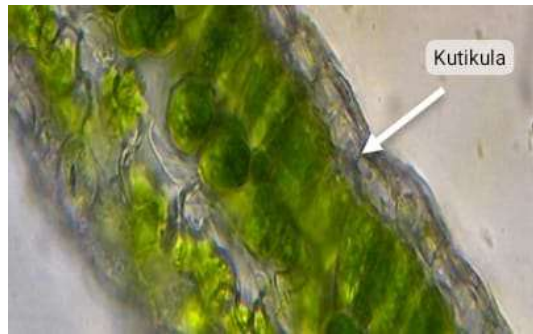


Gambar 2. 4 Mesofil dengan perbesaran 400 kali (Dokumentasi peneliti)

2.4.4 Kutikula

Kutikula merupakan lapisan lilin yang melindungi permukaan daun dan membatasi jaringan tumbuhan dengan lingkungan luar. Kutikula tersusun atas komponen kutin dan berbagai lipid, yang secara keseluruhan disebut lilin kutikula. Proses biosintesis lilin kutikula pada tumbuhan dapat bervariasi, tergantung pada spesies, ontogeni, dan kondisi lingkungan. Kutikula dapat membantu tumbuhan menghemat air dengan memperlambat laju penguapan air dari daun, batang, dan biji. Selain itu juga melindungi tumbuhan dari kerusakan akibat patogen dan gangguan fisik/mekanis (Nuryana dkk., 2024).

Jenis tumbuhan yang mampu beradaptasi pada lingkungan kering umumnya memiliki kutikula yang lebih tebal sebagai bentuk adaptasi untuk mengurangi kehilangan air. Sebaliknya, tumbuhan yang hidup pada lingkungan yang tidak terlalu kering maupun tidak terlalu basah cenderung memiliki kutikula yang lebih tipis. Daun dengan kutikula tebal memiliki tingkat pertahanan yang lebih baik terhadap faktor eksternal, seperti kekeringan, intensitas cahaya tinggi, serta serangan patogen (Nuryana dkk., 2024).



Gambar 2. 5 Kutikula dengan perbesaran 400 kali (Dokumentasi peneliti)

2.5 Nanopartikel Zinc (Zn) dan Perannya

2.5.1 Definisi dan Karakteristik Nanopartikel

Nanopartikel (NP) adalah alat inovatif untuk memecahkan banyak masalah global yang muncul, termasuk dalam industri pertanian. Nanopartikel adalah partikel apa pun yang salah satu ukuran karakteristiknya berada dalam kisaran 1–100 nm. Materi pada skala ukuran ini, sifat fisika, kimia, dan biologi adalah berbeda sifatnya sebagai atom/molekul tunggal (Nurbayasari dkk 2017). Ukuran nanopartikel yang kecil memungkinkan untuk menunjukkan sifat-sifat seperti pertukaran ion, difusi, penyerapan ion, dan kompleksasi secara lebih efektif. Karena ukurannya yang kecil, nanopartikel dapat dengan mudah melewati penghalang seluler secara langsung (5–20 nm) (Samenova et,al 2024).

Aplikasi zinc (Zn) berbasis nanopartikel ini sangat penting pada tanaman karena meningkatkan efisiensi dan efektivitas penyerapan unsur hara oleh tanaman. Dalam konteks fisiologi tanaman Zinc (Zn) merupakan salah satu unsur hara mikro esensial yang sangat dibutuhkan tanaman dalam jumlah kecil, namun memiliki peran yang besar terhadap proses metabolisme, pembentukan enzim, serta regulasi hormon pertumbuhan. Saat ini, penggunaan zinc dalam pertanian tersedia dalam dua bentuk utama yaitu Zn dalam bentuk makro dan Zn dalam bentuk mikro atau

nanopartikel. Zn dalam bentuk mikro atau nano partikel lebih efektif dari pada Zn makro. Hal ini disebabkan karena ukuran partikel yang sangat kecil membuat Zn makro lebih mudah diserap oleh jaringan tanaman, terutama melalui stomata dan dinding sel yang porus (Yunita dkk 2020). Selain itu Zn mikro dapat memberikan efek fisiologis yang lebih cepat dan merata, Karena kemampuan difusi dan mobilitasnya yang tinggi di dalam jaringan tanaman. Ukuran partikel Zn makro yang besar membuat proses pelarutan di dalam tanah menjadi lebih lambat dan sebagian besar dari Zn tersebut akan terikat oleh partikel tanah atau tercuci oleh air hujan sebelum sempat diserap oleh akar tanaman akibatnya efisiensinya jauh lebih rendah (Samenova et,al 2024).

2.6 Sintesis Hijau Nanopartikel Dengan Ekstrak *A. indica*

2.6.1 Prinsip Dasar Sintesis Hijau

Sintesis hijau atau *green sintesis* merupakan metode pembuatan nanopartikel yang menggunakan bahan-bahan alami seperti ekstrak tumbuhan yang lebih ramah lingkungan sebagai alternatif pengganti bahan kimia sintesis yang biasanya bersifat toksik dan tidak ramah lingkungan serta memiliki beberapa keunggulan seperti penggunaan bahan kimia yang tidak beracun, hasil sintesis meningkat secara signifikan, efisiensi energi, proses produksi lebih murah, memiliki nilai ekonomi yang baik, dan limbah yang dihasilkan relatif rendah, sehingga proses ini lebih ramah lingkungan, terhadap lingkungan (Ying *et al*, 2022).

Sumber bahan alami yang dapat digunakan meliputi ekstrak tumbuhan yang mengandung senyawa bioaktif seperti polifenol (flavonoid dan tanin), terpenoid, alkaloid serta asam organik yang dapat berfungsi sebagai bahan reduktor atau

bioreduktor (Qurrataayun et al., 2022). Pada Penelitian ini, mimba (*A. indica*) digunakan sebagai bahan dasar dalam proses sintesis nano partikel zinc karena diketahui memiliki kandungan senyawa bioaktif yang tinggi dan mampu berperan aktif dalam reduksi ion logam menjadi partikel nano. Dalam proses ini, senyawa metabolit sekunder yang terdapat dalam ekstrak tanaman seperti flavonoid, fenol dan terpenoid bertindak sebagai agen produksi yang mereduksi ion logam seperti Zn^{2+} melalui pembentukan senyawa antara berupa $Zn(OH)_2$, yang selanjutnya mengalami konversi membentuk nanopartikel ZnO. Selain itu senyawa-senyawa tersebut juga dapat berfungsi sebagai agen penstabil yang mencegah terjadinya aglomerasi atau penggumpalan partikel nano. Metode sintesis ini memiliki beberapa keunggulan, yaitu proses yang relatif sederhana, tidak memerlukan energi tinggi, serta lebih aman untuk aplikasi pertanian (Ying et al, 2022).

2.6.2 Kandungan Senyawa Bioaktif Dalam Daun Mimba (*A. indica*)

Kandungan senyawa bioaktif dalam daun mimba (*A. indica*) diketahui mengandung senyawa golongan flavonoid, tannin, saponin, terpenoid, alkaloid, asam lemak, steroid dan triterpenoid. Biswas et al (2002) dalam Li'aini dkk (2021) menambahkan bahwa ekstrak etanol dari biji mimba ini dilaporkan mengandung asam palmitat, asam stearat, asam oleat, etil oleat, asam oktadekanoat, etil ester oktadekanoat dan ester dioktil heksadioat. Daun mimba juga mengandung serat, β -sitosterol, terpenoid, tanin dan flavonoid. Zat adiktif dalam flavonoid yang terkandung paling banyak pada daun mimba adalah quercetin dan quercitrin. Menurut Miarsih (2017) dalam Uatami dkk (2024) menjelaskan bahwa kadar zat aktif yang terkandung dalam tanaman mimba yaitu sekitar 0,1-0,5% dengan rata-rata 0,25% dari berat kering biji mimba. Ekstrak etanol biji mimba mempengaruhi

aktivitas dari virus kelompok Cocksackie B. Senyawa kandungan dari mimba yaitu azadirachtin, salanin, meliantriol, nimbin dan nimbidin mempunyai mekanisme sebagai pembunuh hama yaitu dengan menurunkan nafsu makan, mengganggu proses metamorfose, menghambat pertumbuhan dan reproduksi sehingga hama mati secara perlahan.

2.7 Mekanisme Ekstrak Tanaman Sebagai Agen Pereduksi dan Penstabil

2.7.1 Bioreduksi Ekstrak Tanaman *A. Indica* menjadi Nanopartikel

Mekanisme reduksi dalam sintesis nanopartikel hijau melibatkan transfer elektron dari metabolit tanaman yang kaya akan antioksidan ke ion logam. Senyawa seperti vitamin C, asam tanin, dan polifenol dalam ekstrak tanaman memiliki kemampuan yang kuat untuk mereduksi ion logam pada suhu kamar. Penelitian telah menunjukkan bahwa komponen tertentu dalam ekstrak alami, seperti epigallocatechin-3-gallate (EGCG) dari teh hijau, dapat menghasilkan nanopartikel dengan morfologi yang lebih terkontrol dan stabilitas yang lebih baik. Penggunaan reduktor alami tidak hanya menghilangkan kebutuhan bahan kimia berbahaya seperti natrium borhidrida, tetapi juga menghasilkan produk sampingan yang ramah lingkungan. Hal ini menjadikan sintesis hijau sebagai pendekatan yang ideal untuk produksi nanopartikel berkelanjutan (Marbun dkk., 2022).

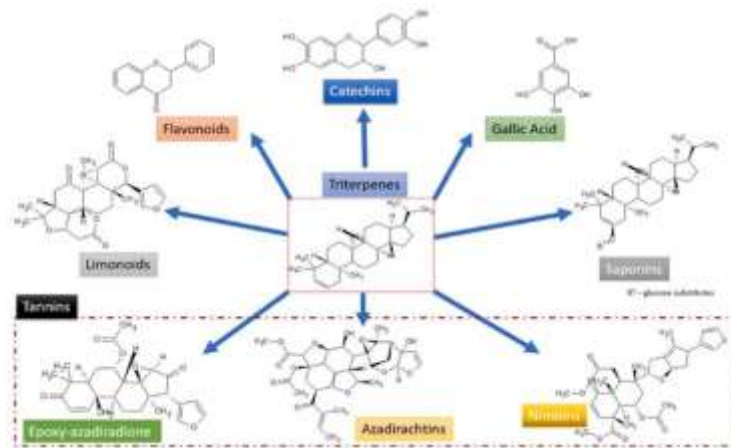
Azadirachta indica (mimba) telah banyak dimanfaatkan sebagai agen bioreduksi dalam sintesis nanopartikel logam maupun oksida logam karena kekayaan kandungan fitokimianya. *Azadirachta indica* dipilih sebagai agen bioreduksi karena kaya fitokimia, meliputi flavonoid, fenolik, terpenoid, dan alkaloid, yang dapat berperan sebagai agen reduksi dan penstabil alami selama pembentukan nanopartikel. Sintesis hijau bersifat ramah lingkungan, hemat biaya,

cepat, dan tidak toksik, sehingga sering menghasilkan nanopartikel yang terlapisi molekul bioorganik yang meningkatkan biokompatibilitasnya (Jeeva dkk., 2026)

Proses bioreduksi pada sintesis nanopartikel seng oksida (ZnO NPs) menggunakan ekstrak mimba secara khusus melibatkan reaksi reduksi oksidasi yang dimediasi oleh senyawa bioaktif dari ekstrak daun. Reaksi utama yang terlibat dalam biosintesis nanopartikel ZnO yang dimediasi oleh ekstrak daun *Azadirachta indica* adalah reaksi reduksi/oksidasi, di mana fitokimia dan enzim yang terdapat dalam bahan biologis berperan dalam konversi senyawa logam menjadi nanopartikel tertentu. Bioreduksi ion seng menjadi nanopartikel yang dimediasi oleh ekstrak daun mimba bersifat kompleks secara kimiawi, namun ramah lingkungan. Berbagai metabolit yang terdapat dalam ekstrak daun memiliki sifat antioksidan atau pereduksi yang membantu mereduksi ion seng secara langsung menjadi ZnO berstruktur nano (Bhuyan dkk., 2015).

Menurut penelitian Tsegahun & Aklilu (2025) menunjukkan bahwa adanya berbagai metabolit sekunder dalam ekstrak daun *A. Indica* yang mendukung proses pembentukan nanopartikel ZnO, seperti alkaloid, flavonoid, glikosida, tanin, terpenoid, dan senyawa fenolik. Uji fitokimia kualitatif yang dilakukan menggunakan metode standar mengidentifikasi senyawa-senyawa tersebut, yang kemudian berfungsi sebagai agen pereduksi dan penstabil dalam pembentukan nanopartikel ZnO. Teknik yang digunakan untuk analisis ini adalah spektroskopi FT-IR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy), yang berhasil menunjukkan pita serapan yang terkait dengan senyawa fenolik dan flavonoid pada panjang gelombang yang khas. Keberadaan ikatan N-H dan O H dalam spektrum FTIR menunjukkan bahwa protein, fenolik, dan senyawa flavonoid dalam ekstrak daun *A. indica*

bertanggung jawab atas bioeduksi ion Zn^{2+} dan proses stabilisasi ZnO NPs. Selain itu penelitian ini juga melibatkan berbagai teknik spektroskopi lainnya, seperti UV-Vis dan XRD, untuk mengkarakterisasi nanopartikel ZnO yang disintesis. Nanopartikel ZnO tersebut ditemukan memiliki sifat kristalin dengan ukuran partikel sekitar 19,16 nm.



Gambar 2. 6 Diagram senyawa fitokimia utama pada tanaman *A.indica* (Tsegahun & Aklilu 2025)

2.7.2 Nanopartikel dengan Senyawa Bioaktif sebagai *Capping Agent*

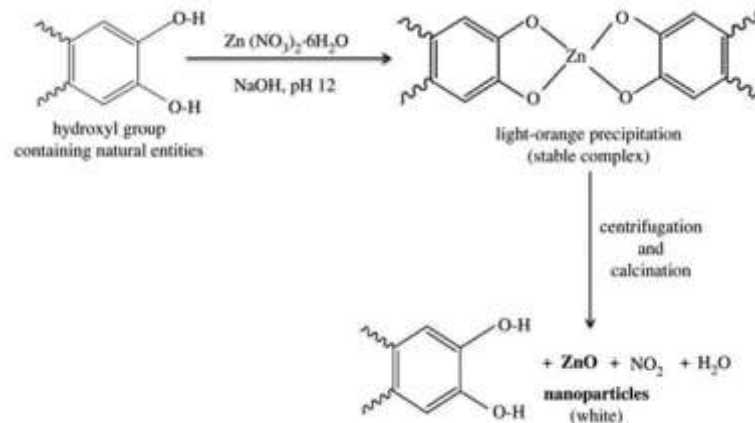
Capping agent merupakan komponen penting dalam proses sintesis nanopartikel yang berfungsi untuk menstabilkan struktur nanopartikel yang telah terbentuk. *Capping agent* memiliki peran yang sangat penting sebagai stabilisator yang menghambat pertumbuhan berlebih dari nanopartikel dan mencegah aglomerasi atau koagulasi dalam sintesis koloid. Selain berfungsi sebagai agen produksi, ekstrak tanaman dan biomaterial lainnya juga berfungsi sebagai agen penstabil (*capping agent*) yang melindungi nanopartikel dari aglomerasi. Polisakarida, protein, dan senyawa fenolik dalam ekstrak alam berikatan dengan permukaan nanopartikel, menciptakan lapisan pelindung yang mencegah koneksi partikel. Stabilisasi ini sangat penting untuk mempertahankan sifat-sifat tambahan kepada nanopartikel, seperti biokompatibilitas yang ditingkatkan dan aktivitas biologis yang disempurnakan. Penelitian menunjukkan bahwa nanopartikel yang

distabilkan dengan bahan alami seringkali menunjukkan toksisitas yang lebih rendah dan aktivitas biologi yang lebih tinggi dibandingkan dengan nanopartikel yang distabilkan dengan agen sintesis (Marbun dkk., 2022).

2.7.3 Mekanisme Ekstrak Tanaman sebagai Agen Preduksi dan Penstabil

Sebagai salah satu pendekatan ramah lingkungan dalam sintesis hijau ekstrak daun tanaman bekerja melalui 2 mekanisme utama yaitu sebagai agen produksi dan sebagai agen penstabil. Mekanisme reduksi terjadi ketika senyawa aktif seperti flavonoid dan fenol menyumbangkan elektron kepada ion logam contohnya Zn^{2+} , sehingga ion tersebut tereduksi menjadi bentuk atom logam netral dan membentuk partikel nano, sementara itu sebagai agen penstabil senyawa-senyawa ini membentuk lapisan pelindung di sekitar permukaan partikel nano yang mencegah partikel tersebut saling menempel atau menggumpal. proses ini sangat penting karena ukuran partikel yang stabil dan seragam akan berpengaruh langsung terhadap aktivitas dan efektivitas nano partikel tersebut dalam aplikasi pertanian, terutama dalam meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara oleh tanaman (Uatami dkk, 2024).

Mekanisme sintesis nanopartikel ZnO menggunakan ekstrak *A. Indica* melibatkan peran senyawa fitokimia yang mengandung gugus hidroksil (-OH) sebagai agen produksi dan penstabil. Ion Zn^{2+} dari $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ berinteraksi dengan gugus -OH membentuk kompleks stabil. Selanjutnya, melalui proses sentrifugasi dan kalsinasi, kompleks tersebut terdekomposisi menjadi nanopartikel ZnO berwarna putih, disertai pelepasan produk samping seperti NO_2 dan H_2O (Tsegahun & Aklilu 2025).



Gambar 2. 7 Mekanisme sintesis nanopartikel ZnO menggunakan ekstrak tumbuhan (Tsegahun & Aklilu 2025).

2.7.4 Mekanisme Nanofertilizer dalam Mengurangi Dampak Cekaman Kekeringan terhadap Anatomi Daun Kedelai.

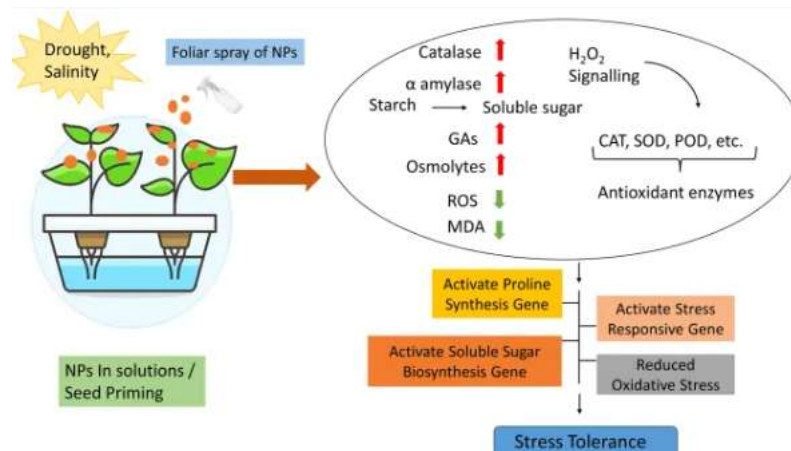
Tumbuhan merupakan produsen utama dalam ekosistem yang dapat terpapar nanopartikel (NP) yang terdapat di tanah maupun udara dalam bentuk aerosol (Azim et al., 2023). Penyerapan, translokasi, dan akumulasi nanopartikel dalam tanaman dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti jenis dan ukuran partikel, komposisi kimia, modifikasi permukaan, eksudat akar, serta mikroorganisme yang berasosiasi dengan perakaran (Etesami et al., 2021). Mobilitas nanopartikel yang tinggi dipengaruhi oleh mekanisme fisik, seperti gerak Brown, gaya van der Waals, gaya lapisan ganda, dan gravitasi. Nanopartikel dapat memasuki tanaman melalui tanah maupun udara. Pada aplikasi foliar, nanopartikel aerosol dapat masuk melalui stomata, luka jaringan, atau difusi langsung melalui permukaan daun (Azim et al., 2023; Hussain et al., 2019).

Setelah memasuki jaringan tanaman, nanopartikel dapat mengalami transformasi fisik maupun kimia yang berbeda pada setiap spesies tanaman. Sebagai contoh, nanopartikel ZnO dapat larut dan melepaskan ion Zn di dalam sel

akar tanaman gandum, sedangkan nanopartikel CuO pada kedelai dapat berubah menjadi $\text{Cu}(\text{OH})_2$ dan Cu_2O . Hal ini menunjukkan bahwa interaksi antara nanopartikel dan tanaman merupakan proses dinamis yang memengaruhi ketersediaan serta mekanisme kerja unsur hara di dalam tanaman (Ali et al., 2021). Nanopartikel menunjukkan peran signifikan dalam meningkatkan hasil tanaman dalam kondisi kekeringan dan salinitas. Nanopartikel menunjukkan potensinya untuk memperbaiki kehilangan air dengan menyeimbangkan status air dan pada akhirnya meningkatkan toleransi terhadap stres abiotik. Menurut (Rasheed dkk., 2022) Nanopartikel juga mengatur konduktansi stomata dan laju transpirasi melalui anatomi daun dan penutupan stomata.

Acosta-Motos dkk., (2017) Nanopartikel menunjukkan dampak defensif untuk melindungi mesin fotosintesis dan meningkatkan fotosintesis pada tanaman, serta mengaktifkan sistem antioksidan untuk memperbaiki kerusakan yang disebabkan oleh ROS pada fotosistem dan kloroplas. Selain itu, NP memicu rantai transpor elektron dan meningkatkan kandungan klorofil dalam sel tanaman. Forní dkk., 2017; Manzoor dkk., 2022. Selain itu, senyawa-senyawa ini juga memiliki pengaruh yang besar pada berbagai sistem fisiologis tanaman, termasuk mekanisme respons terhadap stres, metabolisme hormon, biosintesis osmolit, produksi etilen, oksida nitrat, ABA, dan pensinyalan kalsium. Selanjutnya, senyawa-senyawa ini mengatur jalur transduksi sinyal selama stres salinitas dan kekeringan, serta mengaktifkan gen-gen responsif terhadap stres, sehingga memberdayakan tanaman untuk mengatasi dan bertahan hidup dalam kondisi stres. Menurut Rasheed dkk., 2022 secara umum, penerapan NP memiliki peran kunci dalam sistem tanaman untuk bertahan hidup dalam kondisi kekeringan dan salinitas, serta memungkinkan

tanaman untuk memodulasi fungsi normalnya, menjaga kesehatan tanaman dan lingkungannya, serta mempertahankan hasil panen.



Gambar 2. 8 Mekanisme molekuler nanopartikel dalam toleransi terhadap stres kekeringan dan salinitas.

Stomata merupakan salah satu jalur utama masuknya nanopartikel (NP) ke dalam tanaman melalui aplikasi foliar. Melalui pori stomata, nanopartikel dapat memasuki jaringan daun dan selanjutnya ditranslokasikan ke berbagai bagian tanaman, termasuk akar (Larue et al., 2014). Berbagai penelitian telah menunjukkan adanya internalisasi nanopartikel melalui daun pada beberapa spesies tanaman, seperti rapeseed, gandum, kacang-kacangan, jagung, selada, dan mentimun (Chichiriccò & Poma, 2015). Daun diketahui mampu menyerap nanopartikel dengan berbagai ukuran, mulai dari beberapa nanometer hingga ratusan nanometer, yang tersusun atas berbagai material seperti cerium oksida (CeO_2), titanium dioksida (TiO_2), besi oksida (FeO), seng oksida (ZnO), dan perak (Ag) (Rehman *et al* 2024).

Nanopartikel yang terbawa udara atau diaplikasikan melalui penyemprotan terlebih dahulu menempel pada permukaan daun sebelum memasuki sel epidermis. Setelah mencapai jaringan epidermis, nanopartikel dapat bergerak melalui jalur

apoplastik maupun simplastik menuju berbagai organ tanaman (Ahmadov et al., 2020). Dalam aplikasi pertanian, nanopartikel umumnya diserap melalui stomata atau kutikula daun setelah terakumulasi pada permukaan daun. Kutikula daun tersusun atas komponen utama berupa lilin, kutin, dan pektin yang berfungsi sebagai lapisan pelindung untuk mengurangi kehilangan air sekaligus menjadi penghalang utama terhadap penetrasi nanopartikel (Pérez-De-Luque, 2017). Pada kutikula terdapat jalur lipofilik dan hidrofilik yang memungkinkan proses difusi dan penetrasi nanopartikel tertentu ke dalam jaringan daun (Bussieres, 2014).

Penelitian oleh Hu et al. (2020) menunjukkan bahwa nanopartikel berupa carbon dots berukuran sekitar 2 nm mampu menembus daun kapas melalui jalur kutikula, yang menunjukkan potensi nanopartikel berukuran kecil untuk meningkatkan efisiensi penetrasi ke dalam tanaman. Penyerapan nanopartikel oleh daun dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain ukuran partikel, komposisi kimia, muatan permukaan, modifikasi permukaan, spesies tanaman, serta kondisi lingkungan (Wang et al., 2023). Di antara faktor-faktor tersebut, ukuran partikel merupakan salah satu faktor utama karena berkaitan langsung dengan kemampuan nanopartikel melewati jalur masuk pada permukaan daun (Li et al., 2020). Setelah berhasil memasuki jaringan daun, nanopartikel dapat bergerak melalui stomata dan terakumulasi pada organel sel tertentu, seperti kloroplas, yang berperan penting dalam proses fotosintesis (Rehman et al 2024).

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental dengan pendekatan kuantitatif menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) Faktorial 5 X 3. Variabel bebas dalam penelitian ini meliputi : faktor I dan II. Faktor I adalah perlakuan pemberian pupuk nanopartikel zinc sintesis daun mimba dengan taraf yakni :

- PO kontrol negatif = NPK
- PI = NPK + ZnO NP 100ppm
- P2 = NPK + ZnO NP 200ppm
- P3 = NPK + ZnO NP 300ppm
- P4 Kontrol positif = NPK + Zn sulfate

Faktor II adalah ketersediaan air yang meliputi :

- K1 = 100% kapasirtas lapang
- K2 = 75% kapasirtas lapang
- K3 = 50% kapasirtas lapang

Perlakuan dilakukan dengan metode aplikasi foliar spray (penyemprotan daun) pada tanaman kedelai yang mengalami stres kekeringan. Kombinasi faktorial tersebut memiliki total 15 kombinasi yang dibuat tiga kali ulangan, sehingga secara keseluruhan terdapat 45 unit percobaan yang diamati. Dalam satu ulangan diacak lengkap dengan fitur acak rentang pada software Google spreadsheet (tabel 3.1)

Tabel 3.1 Pengacakan unit sampel

Ulangan 1		Ulangan 2		Ulangan 3	
P2K2 (I)	P1K1 (I)	P3K2 (II)	P2K3 (II)	P3K3 (III)	P2K1 (III)
P2K3 (I)	P0K1 (I)	P0K1 (II)	P1K3 (II)	P3K2 (III)	P1K3 (III)
P1K3 (I)	P3K3 (I)	P0K3 (II)	P3K1 (II)	P2K2 (III)	P4K3 (III)
P3K2 (I)	P2K1 (I)	P4K3 (II)	P1K2 (II)	P0K2 (III)	P4K1 (III)
P3K1 (I)	P1K2 (I)	P2K1 (II)	P4K2 (II)	P0K3 (III)	P0K1 (III)
P0K2 (I)	P4K2 (I)	P1K1 (II)	P2K2 (II)	P2K3 (III)	P1K1 (III)
P4K3 (I)	P0K3 (I)	P3K3 (II)	P4K1 (II)	P1K2 (III)	P4K2 (III)
P4K1 (I)		P0K2 (II)		P3K1 (III)	

3.2 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari 2026 – Mei 2026. Penanaman tanaman kedelai (*Glycine max* L. Merr) dilaksanakan di *Green house* BRMP Aneka Kacang Malang. Selain itu, untuk uji PSA dilakukan di laboratorium sinar X UNAIR Kec. Sukolilo, Kota Surabaya. Selanjutnya uji FTIR dilakukan di laboratorium Mineral dan Material Maju Universitas Negeri Malang. Sedangkan untuk analisis anatomi daun yang meliputi pengamatan stomata, trikoma, kutikula dan mesofil dilaksanakan di Laboratorium Optik Jurusan Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.3 Variabel Penelitian

3.3.1 Variabel bebas

Variabel bebas dalam penelitian ini terdiri atas dua faktor, yaitu konsentrasi nanofertilizer zinc (Zn) ekstrak *Azadirachta indica* dan tingkat

ketersediaan air. Konsentrasi nanofertilizer Zn terdiri atas lima taraf, yaitu P0 sebagai kontrol negatif (NPK), P1 (ZnO nanopartikel 100 ppm), P2 (ZnO nanopartikel 200 ppm), P3 (ZnO nanopartikel 300 ppm), dan P4 sebagai kontrol positif (NPK + Zn sintesis). Tingkat ketersediaan air terdiri atas tiga taraf, yaitu K1 (100% kapasitas lapang), K2 (75% kapasitas lapang), dan K3 (50% kapasitas lapang).

3.3.2 Variabel terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah karakter anatomi daun tanaman kedelai (*Glycine max L. Merr*) yang meliputi luas stomata, kerapatan stomata, tebal kutikula, tebal mesofil, dan kerapatan trikomata.

3.3.3 Variabel kontrol

Variabel kontrol yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan tanaman kedelai (*Glycine max L. Merr*) varietas Dega 1, media tanam, umur tanaman saat pengamatan, volume penyiraman sesuai perlakuan dan metode aplikasi (foliar spray).

3.4. Alat dan Bahan

3.4.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini diantaranya polybag, sprayer, cangkul, sekop, timbangan, alat tulis, Particle size (DelsaTM Nano C, Beckman Coulter, Brea, CA), beaker glass, erlemeyer, hot plate, magnetic stirrer, timbangan digital, spatula, tube, corong, kertas label, gelas ukur, mikropipet, timbangan analitik, kaca objek, kaca penutup, mikroskop, kamera digital dan silet.

3.4.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini diantaranya kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) varietas dega 1, tanah, kompos kotoran kambing, pospat (SP 26, Petro), pupuk KCL (Mahkota Fertilizer MOP), pupuk urea, serbuk mimba (*Azadirachta indica*) yang didapat dari Lansida (Yogyakarta), serbuk Zinc sulfate heptahydrate ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\geq 99\%$ purity, BioWorld, USA), deionized water, kertas saring (Whatman No.1), daun kedelai varietas dega 1, kutek dan isolasi bening.

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Sintesis Nanopartikel Zinc Ekstrak *A. indica*

Proses Sintesis Nanopartikel zink menggunakan ekstrak daun *Azadirachta indica* dilakukan dengan mengacu pada metode Salih *et al.*, (2021). Proses ini diawali dengan sterilisasi air deionized water menggunakan milipore ukuran saring 0.2 μm . Setelah itu, 5 gram serbuk daun mimba dilarutkan dengan 100 ml deionized water dan dihomogenisasikan pada suhu kurang dari 80 °C dengan kecepatan 300 rpm selama 40 menit. Setelah itu, larutan disaring menggunakan kertas saring untuk memisahkan sisa ampas sehingga diperoleh filtrat jernih sebanyak 100 ml sebagai ekstrak mimba. Filtrat ekstrak mimba yang diperoleh kemudian langsung digunakan dalam tahap biosintesis nanopartikel. tahap sintesis nanopartikel dilakukan dengan melarutkan 0,05 mM ZnSO_4 dalam 100 mL deionized water, kemudian dicampurkan dengan ekstrak mimba menggunakan perbandingan 2:2 (v/v). Campuran tersebut dihomogenisasi dengan kecepatan 400 rpm pada suhu 40 °C selama ± 24 jam. Setelah proses homogenisasi selesai, larutan didinginkan kemudian dikeringkan dengan cara *freezer dry* untuk mendapatkan bubuk nanopartikel.

3.5.2 Uji PSA

Prosedur penentuan ukuran partikel menggunakan Particle Size Analysis (PSA) dilakukan dengan tujuan untuk memverifikasi bahwa partikel yang dihasilkan telah berada pada rentang skala nanometer serta memiliki distribusi ukuran yang seragam. Sampel nanopartikel yang digunakan merupakan hasil proses freeze drying yang berbentuk padatan berupa serbuk halus. Selanjutnya ditimbang 0,5 gram serbuk ZnO-NPs dan didispersikan kembali ke dalam 10 mL aquades sebagai medium pendispersi. Proses dispersi dilakukan dengan bantuan sonikasi selama ± 45 menit untuk memastikan partikel terdispersi secara merata dan tidak mengalami penggumpalan atau aglomerasi (Bhattacharjee., 2016).

Analisis ukuran partikel dilakukan menggunakan instrumen Delsa™ Nano (Beckman Coulter) dengan prinsip kerja *Dynamic Light Scattering* (DLS), yaitu mendeteksi fluktuasi intensitas cahaya akibat gerak Brownian partikel dalam suspensi. Data yang diperoleh diolah menggunakan persamaan Stokes-Einstein untuk menentukan diameter hidrodinamik partikel dalam satuan nanometer. Sebelum pengukuran dipanaskan selama ± 20 menit, kemudian perangkat komputer yang tersambung dihidupkan dan perangkat lunak Delsa™ Nano versi 3.73/2.30 dioperasikan. Parameter yang dianalisis dari hasil pengukuran mencakup nilai rata-rata diameter partikel yang dihitung berdasarkan metode kumulan (*cumulants method*), nilai *Polydispersity Index* (PDI), serta distribusi ukuran partikel (D10, D50, dan D90) melalui metode CONTIN. Nilai PDI digunakan sebagai indikator keseragaman ukuran partikel, di mana nilai $PDI < 0,3$ mengindikasikan partikel relatif homogen dan seragam (Stetefeld dkk., 2016).

3.5.3 Uji FTIR

Analisis *Fourier Transform Infrared* (FTIR) dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang terdapat pada nanopartikel zinc hasil sintesis menggunakan ekstrak daun *Azadirachta indica*. Sampel yang digunakan dalam pengujian ini berupa padatan nanopartikel hasil *freeze drying* sebanyak 0,5 gram serbuk ZnO-NPs yang telah dikeringkan kemudian dihaluskan hingga menjadi serbuk halus agar homogen dan memudahkan interaksi dengan radiasi inframerah. Selanjutnya, sampel dipreparasi menggunakan metode pelet KBr dengan mencampurkan sejumlah kecil sampel dengan kalium bromida (KBr) yang bersifat transparan terhadap inframerah, kemudian dipres hingga membentuk pelet tipis. teknik preparasi ini umum digunakan dalam analisis FTIR untuk sampel padat karena memungkinkan transmisi sinar inframerah secara optimal melalui sampel (Nurfitriyana dkk., 2022).

Pengukuran dilakukan menggunakan instrumen FTIR pada rentang bilangan gelombang $400\text{-}4000^{-1}$ dengan resolusi tertentu untuk memperoleh spektrum inframerah. Sebelum pengukuran sampel, dilakukan scanning background untuk menghilangkan pengaruh udara dan kelembapan. Hasil pengukuran berupa spektrum yang menunjukkan hubungan antara bilangan gelombang dan intensitas serapan (transmitansi atau absorbansi), yang kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi gugus fungsi dalam sampel. Metode FTIR bekerja berdasarkan interaksi antara radiasi inframerah dengan molekul, sehingga setiap gugus fungsi memiliki karakteristik serapan yang spesifik pada bilangan gelombang tertentu (Nugroho dkk., 2024).

3.5.4 Pembuatan Media Tanam dan Proses Penanaman

Media tanam disiapkan dengan mencampurkan tanah dan kompos kotoran kambing yang telah difermentasi pada perbandingan 75% tanah dan 25% kompos. Campuran media tersebut dimasukkan ke dalam polybag dengan kapasitas 5 kg, setelah itu ditimbang agar bobot media pada setiap polybag memiliki bobot yang setara, yaitu 5 kg. Selanjutnya, dilakukan penentuan kapasitas lapang media menggunakan metode gravimetri mengacu pada Imakumbili (2019). Tahap awal dilakukan dengan menentukan kadar air tanah, yaitu dengan mengambil sampel tanah sebanyak 5 gram secara acak dengan 5 ulangan, kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 105°C selama 24 jam. Setelah itu media disiram hingga jenuh yang ditandai dengan keluarnya air dari bagian bawah polybag, lalu diangin-anginkan selama ± 2 hari. Kadar air tanah kemudian diukur kembali dengan metode yang sama. Nilai kadar air sebelum dan sesudah penyiraman digunakan untuk menentukan kapasitas lapang 100%.

Proses penanaman kedelai dilakukan dengan merendam biji kedelai dalam air selama 60 menit, kemudian benih kedelai ditanam sebanyak 4 benih kedelai pada masing-masing polybag dengan kedalaman ± 3 cm. Kemudian pupuk fosfat sebanyak 0,675 gram per polybag diaplikasikan dengan cara ditaburkan secara merata pada seluruh permukaan media tanam. Setelah penanaman dan pemupukan selesai, setelah itu media disiram menggunakan air untuk menjaga kelembaban media pada kondisi kapasitas lapang 100%. Selanjutnya pada umur satu minggu setelah tanam, dilakukan penyiangan tanaman dengan menyisakan 3 tanaman yang sehat dan memiliki pertumbuhan seragam pada setiap polybag. Pada tahap ini juga dilakukan pemupukan lanjutan menggunakan pupuk urea dan KCL masing-masing

sebanyak 0,675 gram per polybag. Kemudian pada fase awal pembungaan diberikan pemupukan terdiri dari pupuk fosfat, urea, dan KCL dengan dosis yang sama yaitu 0,675 gram (Timotiwu et al., 2020).

3.5.5 Perhitungan Kapasitas Lapang Tanah

1. Penentuan Kadar Air Tanah Udara-Kering

Sebanyak 100 g tanah udara-kering dioven pada suhu 105°C hingga berat konstan.

Data mentah tanah udara-kering

Sampel	Berat awal (g)	Berat setelah oven (g)
1	100	66,5
2	100	66,0
3	100	65,5
4	100	65,0
5	100	66,5
6	100	68,0

Rata-rata berat kering oven

$$\frac{66,5 + 66,0 + 65,5 + 65,0 + 66,5 + 68,0}{6}$$

$$= 66,25 \text{ g}$$

Perhitungan kadar air tanah udara-kering

Rumus:

$$KA = \frac{BB - BK}{BK} \times 100\%$$

Keterangan:

- KA = kadar air (%)
- BB = berat basah (g)
- BK = berat kering oven (g)

Substitusi:

$$\begin{aligned}
 KA &= \frac{100 - 66,25}{66,25} \times 100\% \\
 &= \frac{33,75}{66,25} \times 100\% \\
 &= 50,94\%
 \end{aligned}$$

Sehingga kadar air tanah udara-kering adalah:

50,94% atau 0,5094 g air/g tanah kering

2. Penentuan Berat Tanah Udara-Kering untuk Mendapatkan 5 kg Tanah Kering Oven

Target tanah kering oven dalam polybag:

$$5 \text{ kg} = 5000 \text{ g}$$

Karena tanah udara-kering masih mengandung air sebesar 50,94%, maka massa tanah udara-kering yang harus ditimbang dihitung menggunakan rumus:

Berat tanah udara-kering = Berat tanah kering oven + (kadar air tanah $\times$ berat tanah kering oven)

Maka:

$$\begin{aligned}
 \text{Berat tanah udara-kering} &= 5000 + (0,5094 \times 5000) \\
 &= 5000 + 2547 \\
 &= 7547 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Sehingga massa tanah udara-kering yang harus dimasukkan ke polybag agar diperoleh 5 kg tanah kering oven adalah:

$$\boxed{7547 \text{ g}}$$

3. Penentuan Kapasitas Lapang Tanah

Tanah dijenuhkan selama 2 hari, kemudian dioven pada suhu 105°C hingga berat konstan.

Data mentah tanah jenuh

Sampel	Berat tanah jenuh (g)	Berat setelah oven (g)
1	100	57,8
2	100	53,4
3	100	56,5
4	100	59,5
5	100	60,8

Rata-rata berat kering oven tanah jenuh

$$\frac{57,8 + 53,4 + 56,5 + 59,5 + 60,8}{5}$$

$$= 57,6 \text{ g}$$

Perhitungan kadar air kapasitas lapang

$$KA = \frac{100 - 57,6}{57,6} \times 100\%$$

$$= \frac{42,4}{57,6} \times 100\%$$

$$= 73,61\%$$

Sehingga kadar air kapasitas lapang tanah adalah:

73,61% atau 0,7361 g air /g tanah kering

4. Perhitungan Selisih Air dari Tanah Udara-Kering ke Kapasitas Lapang

Jumlah air yang perlu ditambahkan untuk sampai pada kapasitas lapang diperoleh dari selisih kadar air kapasitas lapang dengan kadar air tanah udara-kering.

$$0,7361 - 0,5094 = 0,2267 \text{ g air/g tanah}$$

Artinya setiap 1 g tanah membutuhkan tambahan: 0,2267 g air untuk mencapai kapasitas lapang.

5. Perhitungan Kebutuhan Air untuk 5 kg Tanah

Target tanah kering oven: 5 kg = 5000 g

A. Perlakuan 100% Kapasitas Lapang

$$0,2267 \times 5000 = 1133,5 \text{ g air}$$

Karena densitas air = 1 g/mL maka 1133,5 g = 1133,5 mL

B. Perlakuan 75% Kapasitas Lapang

$$75\% \times 1134 = 850,5 \text{ mL}$$

C. Perlakuan 50% Kapasitas Lapang

$$50\% \times 1134 = 567 \text{ mL}$$

6. Ringkasan Volume Air Perlakuan

Perlakuan	Persentase kapasitas lapang	Volume air	Berat tanah setelah penyiraman
P1	100% KL	1134 mL	8,613 g
P2	75% KL	851 mL	8,398 g
P3	50% KL	567 mL	8,114 g

3.5.5 Aplikasi Perlakuan

Perlakuan cekaman kekeringan dan pemupukan ZnO NP dimulai pada fase vegetatif 1 tanaman kedelai. Pada perlakuan cekaman kekeringan kapasitas lapang dijaga dengan disiram air setiap seminggu 2 kali sesuai taraf yang telah ditentukan dan dimulai pada vase vegetatif awal yakni 14 HST sampai panen. Sedangkan untuk pemupukan ZnO-NP diaplikasikan sebanyak 30 ml yang dibagi pada 15 HST, 21 HST dan 30 HST.

3.5.4 Pengamatan Stomata

Pengamatan stomata dilakukan pada saat tanaman memasuki awal fase generatif dengan mengamati permukaan atas dan permukaan bawah daun kedelai. Pengamatan ini dilakukan dengan membuat preparat penampang membujur. Pembuatan preparat untuk pengamatan stomata dilakukan dengan metode stomatal printing (Febjislami & Hasibuan., 2023) yaitu permukaan daun diolesi kutek dan dibiarkan mengering. Kemudian kutek dikelupas dan diletakkan diatas gelas benda. Preparat diamati dibawah Mikroskop komputer *Olympus CX23* dengan perbesaran 400 kali. Anatomi yang diamati adalah kerapatan stomata dan ukuran stomata.

3.5.4.1 Kerapatan Stomata

Pengamatan kerapatan dilakukan dengan menghitung stomata hasil dari foto dibawah Mikroskop komputer *Olympus CX23* dengan perbesaran 400 kali. Jumlah stomata dihitung dilakukan secara manual menggunakan aplikasi ImageJ pada setiap luas bidang pandang. Setelah dilakukan perhitungan kerapatan stomata maka data kemudian dikategorikan mengacu pada pendapat (Karubuy *et al.*, 2018) yaitu Kerapatan rendah ($< 300/\text{mm}^2$), Kerapatan sedang ($300-500/\text{mm}^2$) dan Kerapatan

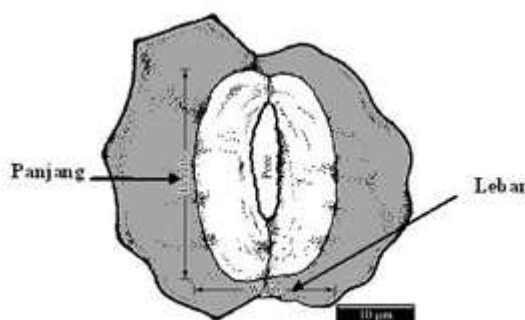
tinggi ($>500/\text{mm}^2$). Menurut (Suhaimi,2017) Kerapatan stomata dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Kerapatam stomata (sel/mm}^2\text{)} = \frac{\text{Jumlah stomata (sel)}}{\text{Luas Bidang Pandang}}$$

3.5.4.2 Pengamatan Ukuran Stoamata

Pembuatan preparat untuk pengamatan ukuran stomata sama seperti preparat untuk kerapatan stomata, dengan mengamati permukaan permukaan baksial (bawah) daun kedelai. Pengamatan ini dilakukan dengan membuat preparat penampang membujur. Pembuatan preparat untuk pengamatan stomata dilakukan dengan metode stomatal printing (Febjislami & Hasibuan., 2023) yaitu permukaan bawah dan atas daun diolesi kutek dan dibiarkan mengering. Kemudian kutek dikelupas dengan isolasi dan diletakkan diatas gelas benda. Preparat diamati dibawah Mikroskop komputer *Olympus CX23* dengan perbesaran 400 kali. Pengamatan ukuran stomata dilakukan pada pagi hari jam 8 menggunakan sampel daun yang masih berada di tanaman. Pengukuran ukuran stomata dilakukan menggunakan aplikasi ImageJ. Menurut (Primawati & Daningsih., 2022) ukuran stomata dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Ukuran stomata} = P \times L$$



Gambar 3.1 Pengukuran Ukuran Stomata (Pompelli dkk., 2010).

3.5.5 Pengamatan Trikoma

Pengamatan trikoma dilakukan pada saat tanaman memasuki awal fase generatif dengan mengamati permukaan adaksial (atas) daun kedelai. Pengamatan ini dilakukan dengan membuat preparat penampang membujur. Pembuatan preparat untuk pengamatan trikoma dilakukan dengan diolesi kutek pada permukaan atas dan bawah daun. Setelah itu dibiarkan hingga mengering. Kemudian kutek dikelupas menggunakan isolasi dan diletakkan diatas gelas benda. Preparat diamati dibawah Mikroskop komputer *Olympus CX23* dengan perbesaran 400 kali. Anatomi yang diamati adalah kerapatan trikoma.

3.5.5.1 Kerapatan Trikoma

Pengamatan Trikoma menggunakan daun yang telah benar-benar terbuka pada saat tanaman memasuki awal fase generatif. Kerapatan trikomata daun dimati menggunakan Mikroskop komputer *Olympus CX23* dengan perbesaran 400 kali. Trikoma dihitung dengan cara menghitung banyaknya trikomata permukaan adaksial (atas) daun. Perhitungan diulang 3 kali tiap satu sampel. Setelah dilakukan perhitungan kerapatan trikoma kemudian data dikategorikan mengacu pada pendapat (Karubuy et a.,2018) yaitu karakteristik Kerapatan rendah ($< 300/\text{mm}^2$), Kerapatan sedang jika nilainya ($300-500/\text{mm}^2$) dan Kerapatan tinggi jika nilainya diatas ($>500/\text{mm}^2$). Untuk mendapatkan kerapatan trikomata, rerata yang didapatkan dari tiga kali ulangan tiap satu sampel dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kerapatam Trikoma} = \frac{\text{Jumlah Trikoma}}{\text{Luas Bidang Pandang}}$$

3.5.6 Pengamatan Tebal Kutikula dan Tebal Mesofil Daun

Pengamatan ini dilakukan dengan membuat preparat melintang daun yaitu menggunakan preparat semi permanen. Daun yang digunakan adalah pada saat tanaman memasuki awal fase generatif. Daun dipotong sepanjang 1 x 1 cm menggunakan silet tajam, dibuat irisan melintang setipis mungkin untuk mendapatkan hasil yang benar-benar transparan. Kemudian irisan tersebut diletakan pada kaca preparat, ditetesi gliserin dan ditutup dengan gelas penutup. Kemudian diamati dengan mikroskop komputer *Olympus CX23*. Tebal mesofil diamati dengan perbesaran 400 kali kemudian difoto dan diukur menggunakan aplikasi measurements. Untuk tebal kutikula diamati dengan perbesaran 400 kali, difoto dan diukur ketebalannya menggunakan program measurements.



Gambar 3.2 Pengukuran Tebal Kutikula dan Tebal Mesofil Daun (Dokumentasi peneliti).

3.6 Analisis Data

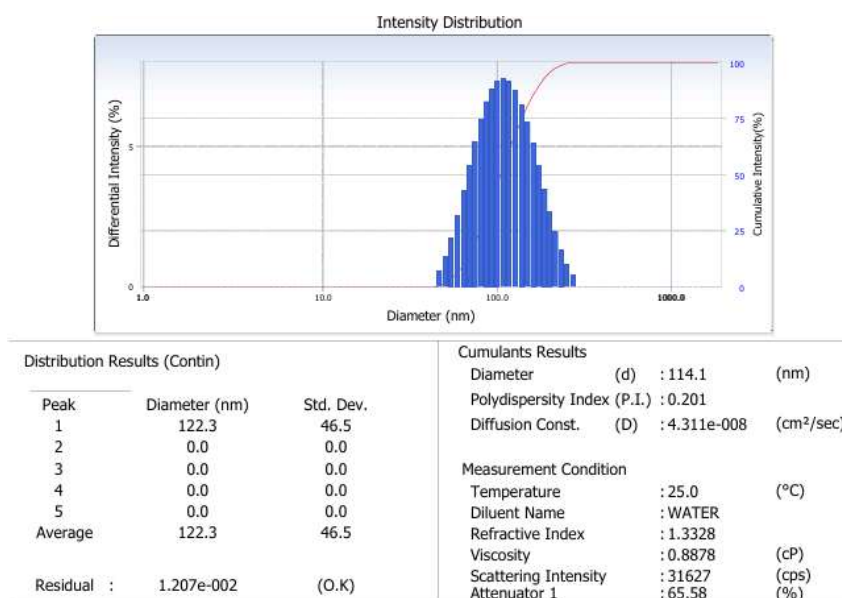
Data yang diperoleh dianalisa menggunakan analisis Two-Way ANOVA dengan software SPSS versi 26. Apabila ada pengaruh nyata pada perlakuan maka dilanjutkan dengan uji pembandingan Duncan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Nanofertilizer Zinc (Zn) dengan Bioreduktor *A. indica*

4.1.1 Karakteristik Nanopartikel Menggunakan PSA (*Particle Size Analyzer*)

Analisis ukuran partikel nanopartikel zinc ekstrak daun mimba dilakukan menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) dengan metode *Dynamic Light Scattering* (DLS). Pengukuran menggunakan PSA bertujuan untuk mengetahui ukuran serta distribusi oartikel nanopartikel yang terbentuk. Prinsip pengukuran PSA didasarkan pada pergerakan partikel di dalam medium cair yang berkaitan dengan ukuran partikel (Putri., 2023). Partikel yang berukuran kecil akan bergerak lebih cepat dibandingkan partikel berukuran besar. Sinar laser yang dipaparkan pada sampel akan mengalami hamburan cahaya sehingga menghasilkan fluktuasi intensitas yang digunakan untuk menentukan ukuran partikel nanopartikel (Hallett., 1994). Hasil distribusi ukuran nanopartikel zinc ekstrak daun mimba menggunakan PSA ditunjukkan pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Hasil uji PSA (*Particle Size Analyzer*)

Hasil karakterisasi nanopartikel zinc ekstrak mimba menggunakan *Particle Size Analyzer* (PSA) menunjukkan bahwa partikel yang terbentuk memiliki ukuran rata-rata berkisar antara 111,0-114,1 nm. Grafik distribusi menunjukkan puncak sekitar 122,3 nm. Ukuran tersebut menunjukkan bahwa partikel yang menghasilkan telah berada pada rentang nanopartikel karena memiliki ukuran kurang dari 1000 nm. Semakin kecil ukuran partikel, maka luas permukaan partikel akan semakin besar sehingga meningkatkan kemampuan penyerapan unsur hara oleh tanaman (Asworo dkk., 2023). Hal ini sesuai dengan pernyataan Ibrahim dkk., (2025) yang menyatakan bahwa distribusi ukuran nanopartikel zinc dianalisis menggunakan Zetasizer Nano ZS dengan teknik *Dynamic Light Scattering* (DLS). Hasil analisis menunjukkan bahwa nanopartikel memiliki ukuran rata-rata sebesar 368,6 nm dengan *Polydispersity Index* (PDI) 0,472. Pengukuran ini dilakukan pada konsentrasi prekursor zinc 0,2 mM dan pH 7, yang menghasilkan nanopartikel dengan ukuran rata-rata 368,6 nm. Berdasarkan ukuran tersebut, nanopartikel zinc dapat diklasifikasikan sebagai nanopartikel koloid karena masih berada dalam rentang nano (kurang dari 1000 nm).

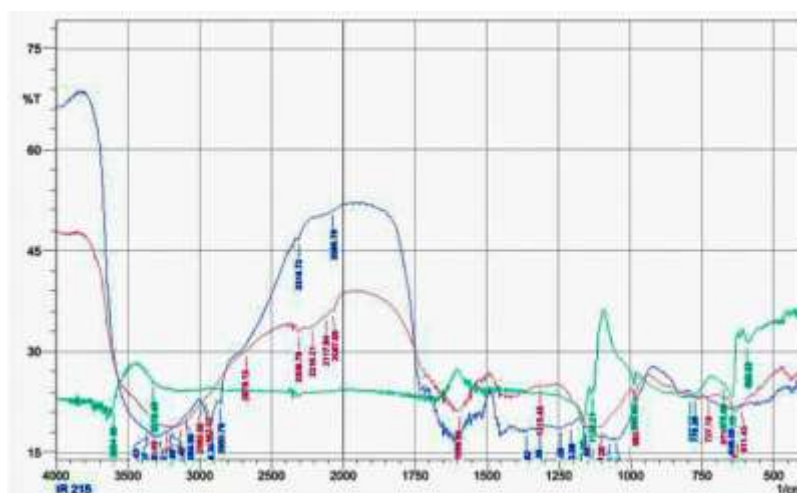
Menurut Vasquez et al. (2016), partikel dengan diameter <1000 nm memenuhi kriteria sebagai zat pembawa berukuran nano. Pembentukan nanopartikel zinc ini diduga dipengaruhi oleh efek stabilisasi metabolit sekunder dalam ekstrak daun mimba, yang mencegah terjadinya agregasi partikel dan memastikan partikel tetap berukuran nano. Stabilisasi ini terjadi karena gaya tolak antara ion Zn^{2+} , yang setelah direduksi membentuk atom zinc netral dan berikatan antar logam sehingga menghasilkan nanopartikel berukuran nano. Temuan ini sejalan dengan penelitian Nurbayasari & Saridewi (2017) menyatakan bahwa

distribusi ukuran partikel ZnO hasil biosintesis menggunakan *Caulerpa* sp. Sebesar 370,72 nm. Ukuran nanopartikel zinc yang diperoleh pada penelitian ini lebih besar dibandingkan hasil sintesis ZnO menggunakan bioreduktor kitosan oleh Yusof et al., (2019) yang menghasilkan partikel berukuran 327 nm. Menurut Romadhan & Pujilestari (2019) menyatakan bahwa nanopartikel ZnO yang disintesis dengan kalsinasi pada suhu 100°C memiliki ukuran 452,7 nm. Ukuran nanopartikel zinc pada penelitian ini memenuhi standar nanopartikel 1-1000 nm (Tiyaboonchai, 2003), dan sesuai dengan rekomendasi Abdassah (2017) bahwa diameter partikel sebaiknya berada pada kisaran 200-400 nm untuk kestabilan koloid. Selain itu, nilai PDI 0,472 menunjukkan bahwa nanopartikel zinc yang terbentuk relatif homogen.

Hasil pengukuran PSA, distribusi ukuran partikel nanopartikel zinc ekstrak mimba menunjukkan pola relatif homogen. Hal tersebut ditunjukkan oleh nilai *Polydispersity Index* (PDI) yang berkisar antara 0,201-0,227, nilai PDI <0,3 menunjukkan bahwa nanopartikel memiliki tingkat distribusi ukuran yang cukup seragam dan stabil. Xu et al., (2023) menyatakan bahwa PDI digunakan untuk menilai distribusi ukuran partikel dalam suspensi koloid, <0,5 menandakan distribusi partikel yang sempit dan seragam, sedangkan PDI >0,5 menunjukkan distribusi ukuran yang lebar dan cenderung heterogen. Dengan demikian, nanopartikel zinc ekstrak mimba pada penelitian ini dapat dikatakan memiliki distribusi ukuran yang cukup homogen dan stabil, sesuai dengan kriteria nanopartikel koloid.

4.1.2 Analisis Gugus Fungsi Nanopartikel Zinc Ekstrak Mimba Menggunakan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

Karakterisasi nanopartikel zinc ekstrak mimba menggunakan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) dilakukan untuk mengidentifikasi gugus fungsi yang berperan dalam proses sintesis dan stabilisasi nanopartikel. Spektrum FTIR menunjukkan adanya beberapa puncak serapan yang mengindikasikan keberadaan senyawa bioaktif dari ekstrak daun mimba yang terlibat dalam pembentukan nanopartikel zinc. FTIR merupakan metode karakterisasi yang digunakan untuk mengetahui interaksi gugus fungsi berdasarkan penyerapan gelombang inframerah oleh molekul. FTIR mengukur intensitas radiasi inframerah pada panjang gelombang 4000-400 cm. FTIR digunakan untuk menentukan apakah nanopartikel menyebabkan ketidakcocokan atau perubahan sifat ekstrak tumbuhan (Rudrapal., 2022). Spektra FTIR dari nanopartikel zinc *A. Indica* ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Spektra FTIR Representatif dari Nanopartikel Zinc *A.indica*

Hasil spektrum FTIR tersebut kemudian diinterpretasikan dalam bentuk tabel berdasarkan panjang gelombang fungsional untuk serapan nanopartikel zinc *A.indica*, ekstrak *A. indica* dan zinc sulfate yang dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Gugus Fungsi yang Terkandung dalam Nanopartikel Zinc A.indica, Ekstrak A.indica, dan Zinc Sulfate menggunakan FTIR

Sampel	Bilangan Gelombang (cm ⁻¹)	Vibrasi Gugus Fungsi
Nanopartikel zinc ekstrak <i>Azadirachta indica</i>	3319.49	O-H
	2953.02	C-H
	1598.99	C=C
	1315.45	C-O
	1103.28	C-O-C
	632.65	Zn-O
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	1165	SO ₄ ²⁻
	1132	SO ₄ ²⁻
Ekstrak <i>Azadirachta indica</i>	3375.43	O-H
	2918.3	C-H
	1606.7	C=C
	1244.09	C-O

Hasil spektrum FTIR sintesis nanopartikel zinc ekstrak mimba menunjukkan beberapa puncak utama pada bilangan gelombang sekitar 3319 cm⁻¹, 3223 cm⁻¹, 3128 cm⁻¹, 2989-2953 cm⁻¹, 1598 cm⁻¹, 1315 cm⁻¹, 1141-1103 cm⁻¹, serta daerah fingerprint sekitar 673-611 cm⁻¹. Puncak pada daerah sekitar 3319-3128 cm⁻¹ menunjukkan adanya gugus hidroksil O-H yang berasal dari senyawa fenol dan flavonoid ekstrak daun mimba. Gugus O-H diketahui berperan sebagai reducing agent dalam proses biosintesis nanopartikel. Selain itu, puncak pada daerah 2989-2953 cm⁻¹ menunjukkan vibrasi gugus C-H alifatik, sedangkan puncak pada 1598 cm⁻¹ mengindikasikan adanya C=C aromatik atau N-H bending yang berkaitan dengan senyawa flavonoid maupun protein. Puncak daerah 1141-1103 cm⁻¹

menunjukkan adanya gugus C-O dari alkohol, fenol, dan ester yang diduga berperan dalam proses stabilisasi nanopartikel (Iqbal dkk., 2021).

Spektrum nanopartikel hasil sintesis juga muncul puncak pada daerah sekitar 632 cm^{-1} dan 611 cm^{-1} yang diduga merupakan vibrasi ikatan Zn-O. Peak Zn-O umumnya muncul pada rentang $500\text{-}700\text{ cm}^{-1}$ sehingga keberadaan puncak tersebut mengindikasikan bahwa nanopartikel zinc oxide berhasil terbentuk. Munculnya puncak Zn-O menunjukkan bahwa ion Zn^{2+} dari zinc sulfate telah mengalami proses reduksi dan membentuk nanopartikel ZnO melalui bantuan senyawa bioaktif ekstrak daun mimba (Alamdari dkk., 2020).

Hasil spektrum FTIR ekstrak daun mimba menunjukkan beberapa puncak utama pada bilangan gelombang sekitar $3375\text{-}3184\text{ cm}^{-1}$, 2918 cm^{-1} , 1606 cm^{-1} , serta daerah $1244\text{-}1047\text{ cm}^{-1}$. puncak $3375\text{-}3184\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan adanya gugus hidroksil O-H yang berasal dari senyawa fenol dan flavonoid. Gugus hidroksi merupakan salah satu gugus utama metabolit skunder tumbuhan yang berperan dalam proses reduksi ion logam pada sintesis nanopartikel. Selain itu, puncak pada 2918 cm^{-1} menunjukkan vibrasi gugus C-H alifatik, sedangkan puncak pada 1606 cm^{-1} mengindikasikan adanya gugus C=C aromatik atau N-H. Puncak pada daerah $1244\text{-}1047\text{ cm}^{-1}$ menunjukkan keberadaan gugus C-O dari alkohol, fenol, dan ester. Keberadaan gugus tersebut menunjukkan bahwa ekstrak daun mimba mengandung senyawa bioaktif yang berpotensi berperan sebagai *reducing agen* dan *capping agent* dalam proses biosintesis nanopartikel zinc oxide (Tsegahun & Aklilu., 2025).

Hasil spektrum FTIR zinc sulfate sebagai prekursor Zn menunjukkan beberapa puncak utama pada daerah 1165 cm^{-1} , 1132 cm^{-1} , 985 cm^{-1} , serta daerah fingerprint sekitar $675\text{-}590\text{ cm}^{-1}$. puncak-puncak tersebut berkaitan dengan vibrasi

gugus sulfat (SO_4^{2-}) dari senyawa zinc sulfate. Selain itu, terdapat puncak pada daerah 3319 cm^{-1} dan 3604 cm^{-1} yang menunjukkan keberadaan gugus O-H yang kemungkinan berasal dari molekul air hidrat pada zinc sulfate. Spektrum zinc digunakan sebagai pembanding untuk memastikan adanya perubahan gugus fungsi setelah terbentuk nanopartikel zinc oxide hasil sintesis (Tsegahun & Aklilu., 2025).

Berdasarkan perbandingan spektrum ekstrak mimba dan zinc sulfate, pada nanopartikel hasil sintesis terlihat adanya perubahan intensitas dan penyederhanaan beberapa puncak serapan. Perubahan tersebut menunjukkan adanya interaksi antara senyawa metabolit sekunder daun mimba dengan ion Zn^{2+} selama proses sintesis nanopartikel. Senyawa bioaktif seperti flavonoid, fenol, dan protein diduga berperan dalam proses transfer elektron sehingga membantu reduksi ion Zn^{2+} menjadi nanopartikel zinc oxide sekaligus kestabilan nanopartikel agar tidak mudah mengalami agregasi (Mankad dkk., 2016). Fenomena tersebut menunjukkan bahwa senyawa alami yang terdapat pada tumbuhan memiliki peran penting dalam berbagai proses biologis maupun teknologi ramah lingkungan, termasuk sintesis nanopartikel secara hayati. Dalam perspektif Islam, keberadaan tumbuhan sebagai sumber manfaat bagi kehidupan telah dijelaskan dalam Al-Qur'an. Allah SWT berfirman dalam QS. An-Naba' ayat 14–16:

وَأَنْزَلْنَا مِنَ الْمُعْصِرَاتِ مَاءً ثَجَّاجًا ۚ لِنُخْرِجَ بِهِ حَبًّا وَنَبَاتًا ۚ وَجَنَّاتٍ أَلْفَافًا ۝١٦

Artinya: “Kami menurunkan dari awan air hujan yang tercurah dengan deras , agar kami menumbuhkan dengannya biji-bijian, tanam-tanaman, dan kebun-kebun yang rindang” (QS. An-Naba: 14-16).

Menurut Tafsir Al Mishbah Ayat-ayat di atas menguraikan tentang langit serta manfaat yang diperoleh manusia dari penciptaannya. Allah SWT menurunkan air dari awan yang terbentuk melalui penguapan air laut dan samudra. Uap-uap air itu berkumpul membentuk awan, kemudian semakin membesar hingga

menurunkan hujan yang deras. Hujan inilah yang menjadi sumber kehidupan di bumi, karena dengan air tersebut Allah menumbuhkan berbagai jenis biji-bijian, tumbuh-tumbuhan, dan kebun-kebun yang lebat sebagai bahan pangan bagi manusia maupun hewan (Shihab, 2002).

Menurut tafsir Thabari Air hujan yang diturunkan oleh Allah berasal dari awan yang mengandung air, sementara angin berperan sebagai pembawa air tersebut, bukan sebagai penghasilnya. Air hujan yang tercurah secara bertahap itu mengalir seperti tumpahan air yang dirancang untuk mengairi dan menyuburkan biji-bijian dan tanaman. Dari biji-biji kecil inilah kemudian tumbuh tanaman yang dapat dipanen, menunjukkan proses kehidupan yang sempurna dan seimbang. Penjelasan ini sangat relevan dengan penelitian saya, yang mengkaji bagaimana cekaman kekeringan mempengaruhi pertumbuhan kedelai, karena hujan sebagai sumber air menjadi kunci bagi biji untuk tumbuh dan berkembang menjadi tanaman yang sehat dan produktif.

Kalimat *“supaya Kami menumbuhkan”* menunjukkan bahwa Allah SWT menciptakan dan mengatur kehidupan dengan tujuan yang jelas, sedangkan *“kebun-kebun yang lebat”* menggambarkan tumbuhan yang tumbuh subur karena ketersediaan air yang cukup. Ayat ini menegaskan bahwa air merupakan faktor penting bagi pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Oleh karena itu, ketika terjadi kekeringan yang mengurangi ketersediaan air, manusia sebagai khalifah di bumi dituntut untuk berikhtiar mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi guna mendukung keberlangsungan pertanian serta menjaga keseimbangan alam sebagai bentuk syukur atas nikmat yang telah diberikan Allah SWT.

Ayat tersebut menjelaskan bahwa tumbuhan merupakan salah satu karunia Allah SWT yang memberikan berbagai manfaat bagi kehidupan manusia. Selain dimanfaatkan sebagai sumber pangan, tumbuhan juga mengandung berbagai senyawa bioaktif yang dapat dimanfaatkan dalam bidang kesehatan, pertanian, maupun pengembangan teknologi, termasuk sebagai agen pereduksi dan penstabil dalam sintesis nanopartikel zinc oxide secara hijau (*green synthesis*). Dengan demikian, pemanfaatan ekstrak daun mimba dalam sintesis nanopartikel ZnO tidak hanya menunjukkan potensi ilmiah, tetapi juga mencerminkan pemanfaatan sumber daya alam yang telah disediakan Allah SWT untuk kemaslahatan manusia.

4.2 Pengaruh Cekaman Kekeringan dan Aplikasi Nanofertilizer Zinc (Zn) Ekstrak *Azadirachta indica* terhadap Karakter Anatomi Daun Kedelai (*Glycine max* L. Merr).

Hasil pengaruh cekaman kekeringan dan aplikasi nanofertilizer zinc (Zn) ekstrak *Azadirachta indica* terhadap karakter anatomi daun kedelai disajikan pada tabel 4.2 sebagai berikut:

Tabel 4 2. Pengaruh cekaman kekeringan & aplikasi ZnO-NP terhadap karakter anatomi ukuran stomata, kerapatan stomata, kerapatan trikoma, tebal mesofil dan tebal kutikula.

Faktor	Perlakuan	Ukuran Stomata (µm)	Kerapatan Stomata (mm ²)	Kerapatan Trikoma (mm ²)	Tebal Mesofil (µm)	Tebal Kutikula (µm)
Faktor A : Cekaman Kekeringan (K)	K1: 100% KL	176,02 ± 4,28 ^{ns}	301,53 ± 4,28 ^{ns}	294,98 ± 16,75 ^{ns}	139,99 ± 5,22 ^{ns}	5,99 ± 0,39 ^{ns}
	K2: 75% KL	178,66 ± 1,53 ^{ns}	301,32 ± 10,15 ^{ns}	316,74 ± 25,38 ^{ns}	141,99 ± 4,7 ^{ns}	6,33 ± 0,30 ^{ns}
	K3: 50% KL	182,36 ± 6,61 ^{ns}	268,99 ± 14,05 ^{ns}	309,35 ± 22,05 ^{ns}	138,72 ± 4,87 ^{ns}	6,42 ± 0,25 ^{ns}
Faktor B : Pemupukan (P)	P0: 0 ppm	180,13 ± 10,19 ^{ns}	319,07 ± 17,99 ^{ns}	247,93 ± 30,86 ^a	145,61 ± 9,73 ^b	4,88 ± 0,29 ^a
	P1: 100 ppm ZnO-NP	173,87 ± 5,52 ^{ns}	293,36 ± 17,73 ^{ns}	250,04 ± 12,33 ^a	151,47 ± 4,72 ^b	5,43 ± 0,13 ^a

	P2 : 200 ppm ZnO- NP	183,06 ± 1,90 ^{ns}	300,40 ± 16,62 ^{ns}	365,55 ±25,39 ^b	145,95 ± 3,03 ^b	6,41 ± 0,18 ^b
	P3 : 300 ppm ZnO- NP	173,39 ± 1,06 ^{ns}	267,65 ± 10,60 ^{ns}	298,29 ± 15,28 ^c	128,08 ± 5,58 ^a	6,70 ± 0,2 ^b
	P4 : 400 ppm ZnSO ₄	184,60 ± 2,03 ^{ns}	272,58 ± 18,26 ^{ns}	373,30 ± 18,81 ^c	130,08 ± 2,07 ^a	7,82 ± 0,22 ^c

Hasil penelitian menunjukkan bahwa faktor cekaman kekeringan tidak memberikan pengaruh nyata terhadap ukuran stomata, kerapatan stomata, kerapatan trikoma, tebal mesofil, maupun tebal kutikula daun kedelai. Meskipun secara deskriptif terdapat variasi nilai rerata antar perlakuan, perbedaan tersebut tidak signifikan secara statistik. Ukuran stomata menunjukkan peningkatan dari $176,02 \pm 4,28 \mu\text{m}$ pada K1 (100% kapasitas lapang) menjadi $182,36 \pm 6,61 \mu\text{m}$ pada K3 (50% kapasitas lapang). Sebaliknya, kerapatan stomata mengalami penurunan dari $301,53 \pm 4,28$ stomata/mm² pada K1 menjadi $268,99 \pm 14,05$ stomata/mm² pada K3. Hal ini sesuai dengan penelitian Meriko dan Abizar (2017) yang menyatakan bahwa penurunan kerapatan stomata pada kondisi cekaman kekeringan dipengaruhi oleh faktor lingkungan, terutama ketersediaan air. Berkurangnya ketersediaan air dapat menekan pembentukan stomata sehingga jumlah stomata yang terbentuk menjadi lebih sedikit dan kerapatan stomata cenderung menurun.

Menurut Toriq & Puspitawati., (2023) semakin lama interval waktu tanaman tidak disiram, karakteristik stomata yang meliputi jumlah, kerapatan, panjang, dan lebar akan mengalami penurunan drastis sebagai mekanisme adaptasi untuk memperkecil laju transpirasi (penguapan air). Nilai karakteristik stomata tertinggi dan optimum justru ditemukan pada perlakuan penyiraman 3 hari sekali,

dengan jumlah stomata abaksial mencapai 52 buah (kategori cukup banyak) dan kerapatan sebesar $263,95/\text{mm}^2$ (kategori rendah).

Menurut Taiz et al. (2015) menjelaskan bahwa tanaman yang mengalami defisit air akan mengutamakan mekanisme penghematan air melalui pengurangan perkembangan stomata dan pengendalian kehilangan air akibat transpirasi. Oleh karena itu, meskipun tidak berbeda nyata secara statistik, penurunan rata-rata kerapatan stomata pada penelitian ini mengindikasikan adanya respons adaptasi kedelai terhadap kondisi kekeringan. Namun demikian, penurunan tersebut belum menunjukkan perbedaan yang signifikan. Hal ini diduga karena media tanam yang digunakan mengandung tanah liat yang memiliki kemampuan retensi air tinggi, sehingga ketersediaan air bagi tanaman masih dapat dipertahankan selama periode perlakuan. Akibatnya, cekaman kekeringan yang diberikan belum cukup kuat untuk memicu perubahan anatomi stomata secara nyata.

Rata-rata kerapatan trikoma tertinggi terdapat pada perlakuan K2 (75% kapasitas lapang) sebesar $316,74 \pm 25,38$ trikoma/ mm^2 , diikuti K3 (50% kapasitas lapang) sebesar $309,35 \pm 22,05$ trikoma/ mm^2 , sedangkan nilai terendah terdapat pada K1 (100% kapasitas lapang) sebesar $294,98 \pm 16,75$ trikoma/ mm^2 . Hal ini sesuai dengan penelitian Camaba (2015) yang menyatakan bahwa kerapatan trikoma yang semakin banyak pada daun dapat mencegah transpirasi berlebihan pada kondisi cekaman kekeringan, sedangkan kerapatan sedikit akan mengurangi laju transpirasi.

Tebal kutikula dan tebal mesofil, cekaman kekeringan tidak menunjukkan pengaruh nyata. Namun secara deskriptif, tebal kutikula meningkat dari $139,99 \pm 5,22 \mu\text{m}$ pada K1 menjadi $141,99 \pm 4,77 \mu\text{m}$ pada K2. Hal ini sesuai dengan Chen

dkk. 92 (2020) yang menyatakan bahwa cekaman kekeringan dapat menyebabkan perubahan struktur kutikula, termasuk peningkatan ketebalan kutikula dan akumulasi lilin kutikula sebagai mekanisme tanaman untuk mengurangi kehilangan air. Sedangkan tebal mesofil meningkat dari $5,99 \pm 0,39 \mu\text{m}$ menjadi $6,42 \pm 0,25 \mu\text{m}$ pada K3. Menurut Rindyastuti & Hapsari (2017), karakteristik ketebalan mesofil mengindikasikan adaptasi/mekanisme tanaman terhadap paparan sinar matahari dan upaya mengoptimalkan aktifitas fotosintesis untuk mempertahankan produktivitas nya.

Hasil analisis menunjukkan bahwa aplikasi nanofertilizer zinc (Zn) ekstrak *Azadirachta indica* memberikan pengaruh yang berbeda terhadap karakter anatomi daun kedelai. Faktor pemupukan tidak berpengaruh nyata terhadap ukuran stomata, dan kerapatan stomata, tetapi berpengaruh nyata terhadap kerapatan trikoma, tebal mesofil dan tebal kutikula (Lampiran.5). Tidak adanya pengaruh nyata pemupukan terhadap ukuran dan kerapatan stomata menunjukkan bahwa aplikasi ZnO-NP maupun ZnSO_4 pada konsentrasi yang digunakan belum mampu mengubah karakter stomata secara signifikan. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Kolencik et al. (2021) yang menyatakan bahwa deformasi morfologi stomata hanya terjadi pada konsentrasi ZnO-NP yang sangat tinggi (300–2000 mg/L), sedangkan pada konsentrasi rendah ZnO-NP justru memberikan dampak positif pada kandungan klorofil dan protein tanpa mengubah struktur stomata.

Faktor pemupukan berpengaruh nyata terhadap kerapatan trikoma. Perlakuan P4 (400 ppm ZnSO_4) menghasilkan kerapatan trikoma tertinggi sebesar $373,30 \pm 18,81$ trikoma/ mm^2 dan berbeda nyata dengan perlakuan P0 ($247,93 \pm 30,86$ trikoma/ mm^2) serta P1 ($250,04 \pm 12,33$ trikoma/ mm^2). Perlakuan P2 (200 ppm

ZnO-NP) juga menunjukkan kerapatan trikoma yang relatif tinggi yaitu $365,55 \pm 25,39$ trikoma/mm². Hasil uji lanjut Duncan menunjukkan bahwa P4 berbeda nyata dengan P0 dan P1. Menurut beberapa penelitian, unsur Zn lebih berperan dalam mendukung aktivitas metabolisme, sintesis protein, dan sistem antioksidan tanaman dibandingkan secara langsung mengubah karakter anatomi permukaan daun. melalui mekanisme interaksi Zn dengan trikoma yang telah dijelaskan dalam literatur. Menurut Penelitian Ricachenevsky et al. (2021) yang menyatakan bahwa ketika ZnSO₄ diaplikasikan secara foliar pada kedelai, Zn terakumulasi secara cepat di trikoma non-kelenjar.

Faktor pemupukan berpengaruh nyata terhadap tebal mesofil daun kedelai. Perlakuan P4 (400 ppm ZnSO₄) menghasilkan tebal mesofil tertinggi sebesar $7,82 \pm 0,22$ μ m, diikuti oleh P3 (300 ppm ZnO-NP) sebesar $6,70 \pm 0,22$ μ m dan P2 (200 ppm ZnO-NP) sebesar $6,41 \pm 0,18$ μ m. Hasil uji lanjut menunjukkan bahwa perlakuan P3 dan P4 berada dalam kelompok yang sama sehingga tidak berbeda nyata satu sama lain, tetapi berbeda nyata dengan P0, P1, dan P2. Menurut penelitian Di Baccio et al. (2009), perlakuan Zn dapat meningkatkan ketebalan daun melalui penebalan jaringan mesofil palisade dan spons tanpa mengubah jumlah lapisan selnya. Peningkatan ketebalan mesofil ini merupakan respons perkembangan daun untuk memperluas area asimilasi tanaman dalam menghadapi kondisi stres lingkungan.

Faktor pemupukan juga berpengaruh nyata terhadap tebal kutikula daun kedelai. Berdasarkan hasil uji lanjut Duncan, perlakuan P1 (100 ppm ZnO-NP) menghasilkan tebal kutikula tertinggi sebesar $151,47 \pm 4,72$ μ m dan berbeda nyata dengan beberapa perlakuan lainnya. Perlakuan P2 (200 ppm ZnO-NP) juga

menunjukkan nilai yang relatif tinggi yaitu $145,95 \pm 3,03 \mu\text{m}$. Berdasarkan uji lanjut Duncan, kelompok a ($4,88 \pm 0,29$ dan $5,43 \pm 0,13$) dan kelompok b ($6,41 \pm 0,18$ dan $6,70 \pm 0,20$) tidak berbeda nyata dalam masing-masing kelompok, namun kelompok b berbeda nyata dengan kelompok a. Sementara itu, kelompok c ($7,82 \pm 0,22$) berbeda nyata dan memiliki nilai tertinggi dibandingkan seluruh perlakuan lainnya. Hal ini sesuai dengan penelitian Alloway (2008) yang menyatakan bahwa Zn mendukung stabilitas membran sel dan sintesis enzim terkait pertumbuhan jaringan daun. Dengan demikian, pemupukan ZnSO_4 tidak hanya meningkatkan ketahanan daun terhadap kehilangan air, tetapi juga memperkuat karakter anatomi daun yang adaptif terhadap stres lingkungan. Hal ini sesuai dengan QS. Al-An'am ayat 99 sebagai berikut:

وَهُوَ الَّذِي أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَأَخْرَجْنَا بِهِ نَبَاتَ كُلِّ شَيْءٍ فَأَخْرَجْنَا مِنْهُ خَضِرًا
نُخْرِجُ مِنْهُ حَبًّا مُتَرَاكِبًا وَمِنَ النَّخْلِ مِنَ طَلْعِهَا قِنْوَانٌ دَانِيَةٌ وَجَنَّتٍ مِّنْ أَعْنَابٍ
وَالزَّيْتُونَ وَالرَّيْمَانَ مُشْتَبِهًا وَغَيْرَ مُتَشَابِهٍ انظُرُوا إِلَى ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَيَنْعِهِ إِنَّ فِي ذَٰلِكُمْ
لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يُؤْمِنُونَ ﴿٩٩﴾

Artinya : “Dialah yang menurunkan air dari langit lalu dengannya Kami menumbuhkan segala macam tumbuhan. Maka, darinya Kami mengeluarkan tanaman yang menghijau. Darinya Kami mengeluarkan butir yang bertumpuk (banyak). Dari mayang kurma (mengurai) tangkai-tangkai yang menjuntai. (Kami menumbuhkan) kebun-kebun anggur. (Kami menumbuhkan pula) zaitun dan delima yang serupa dan yang tidak serupa. Perhatikanlah buahnya pada waktu berbuah dan menjadi masak. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda (kekuasaan Allah) bagi kaum yang beriman” (QS. Al – An’am: 99).

Menurut Tafsir Al Mishbah ayat ini menjelaskan tentang tanda-tanda kebesaran

Allah SWT yang terlihat dari alam. Manusia diarahkan untuk mengamati bumi dan langit, mulai dari pertumbuhan biji dan benih hingga peredaran matahari dan bulan yang menciptakan siang dan malam, sebagai bukti kekuasaan-Nya. Allah menurunkan hujan yang menyuburkan tanah, menumbuhkan berbagai tanaman hijau, dan dari tanaman itu

menghasilkan biji-bijian yang tersusun rapat, menunjukkan bagaimana sesuatu yang kecil dapat berkembang menjadi banyak melalui kuasa Allah. Proses ini, dari benih menjadi tanaman dan biji baru yang melimpah, mencerminkan ketelitian, keseimbangan, dan kebesaran Allah dalam menciptakan serta memelihara kehidupan setiap makhluk (Shihab, 2002).

Menurut tafsir An-Nur Allah menjelaskan bahwa Dia menurunkan air hujan dari awan yang kemudian menjadi sumber kehidupan bagi seluruh makhluk di bumi, termasuk tumbuhan dan tanaman. Air hujan ini memungkinkan tumbuh-tumbuhan untuk berkembang mulai dari bibit hingga menghasilkan daun, batang, dan buah dengan berbagai bentuk dan rasa. Proses ini menunjukkan kekuasaan Allah dalam mengatur kehidupan dan pertumbuhan tanaman melalui air yang menjadi faktor utama kesuburan tanah dan kelangsungan hidup tanaman.

Kedua tafsir tersebut relevan dengan penelitian ini karena menegaskan bahwa air merupakan faktor utama yang menunjang pertumbuhan dan kelangsungan hidup tanaman. Dalam Tafsir Al-Mishbah dan An-Nur dijelaskan bahwa air hujan merupakan karunia Allah SWT yang memungkinkan tanaman tumbuh, berkembang, dan menghasilkan buah. Ketersediaan air yang cukup mendukung berbagai proses fisiologis tanaman, termasuk pengaturan stomata yang berperan dalam pertukaran gas dan pengaturan kehilangan air melalui transpirasi. Sebaliknya, kondisi cekaman kekeringan dapat mengganggu fungsi stomata sehingga memengaruhi pertumbuhan dan produktivitas tanaman kedelai. Oleh karena itu, ayat ini menunjukkan pentingnya air sebagai salah satu faktor penentu keberlangsungan kehidupan tanaman serta menjadi dasar bagi manusia untuk terus mengembangkan ilmu pengetahuan dalam mengatasi permasalahan kekeringan.

4.3 Pengaruh Kombinasi Aplikasi Nanofertilizer Zinc (Zn) Ekstrak Mimba (*A. indica*) dan Cekaman Kekeringan terhadap Karakter Anatomi Daun Kedelai (*Glycine max* L.)

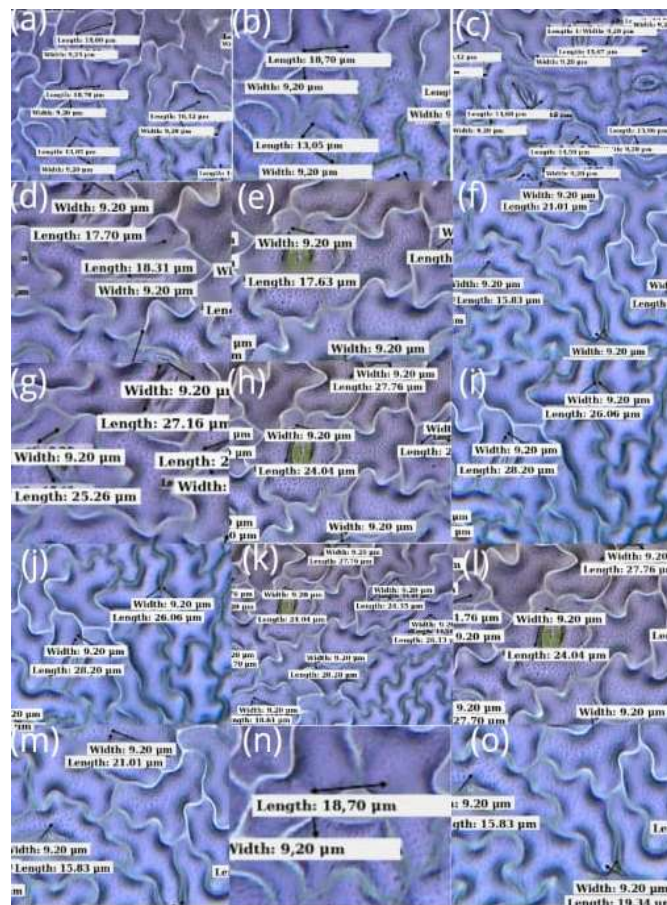
Hasil Pengaruh kombinasi aplikasi nanofertilizer zinc ekstrak mimba dan cekaman kekeringan terhadap karakter anatomi daun kedelai disajikan pada tabel 4.3 sebagai berikut:

Tabel 4. 3 Pengaruh kombinasi aplikasi nanofertilizer zinc (Zn) ekstrak mimba (*A. indica*) dan cekaman kekeringan terhadap karakter anatomi ukuran stomata, kerapatan stomata, kerapatan trikoma, tebal mesofil dan tebal kutikula.

Perlakuan	Ukuran Stomata (µm)	Kerapatan Stomata (mm ²)	Kerapatan Trikoma (mm ²)	Tebal Mesofil (µm)	Tebal Kutikula (µm)
K1 (100% KL) x ZnO NP (0 ppm)	147,97 ± 1,15 ^{ns}	311,67 ± 50,39 ^{ns}	239,83 ± 53,11 ^a	125,63 ± 22,62 ^{ns}	4,17 ± 0,66 ^a
K1 (100% KL) x ZnO NP (100 ppm)	174,62 ± 0,72 ^{ns}	288,43 ± 7,31 ^{ns}	263,07 ± 18,02 ^{ab}	144,14 ± 12,55 ^{ns}	5,15 ± 0,10 ^{ab}
K1 (100% KL) x ZnO NP (200 ppm)	217,81 ± 1,32 ^{ns}	357,10 ± 8,64 ^{ns}	303,22 ± 30,74 ^f	167,07 ± 6,05 ^{ns}	5,33 ± 0,43 ^f
K1 (100% KL) x ZnO NP (300 ppm)	191,66 ± 0,95 ^{ns}	330,69 ± 34,34 ^{ns}	308,50 ± 34,34 ^{cde}	158,94 ± 9,82 ^{ns}	5,54 ± 0,11 ^{cde}
K1 (100% KL) x ZnSO ₄ (400 ppm)	175,07 ± 4,47 ^{ns}	296,88 ± 18,78 ^{ns}	360,27 ± 16,40 ^{ab}	157,03 ± 3,53 ^{ns}	5,14 ± 0,21 ^{ab}
K2 (75% KL) x ZnO NP (0 ppm)	154,89 ± 2,56 ^{ns}	252,51 ± 26,53 ^{ns}	256,73 ± 70,09 ^{bc}	138,30 ± 5,32 ^{ns}	5,62 ± 0,33 ^{bc}
K2 (75% KL) x ZnO NP (100 ppm)	175,83 ± 0,60 ^{ns}	293,71 ± 19,56 ^{ns}	238,77 ± 23,88 ^{ef}	141,90 ± 0,83 ^{ns}	6,06 ± 0,33 ^{ef}
K2 (75% KL) x ZnO NP (200 ppm)	184,80 ± 0,56 ^{ns}	345,48 ± 30,45 ^{ns}	418,38 ± 38,55 ^g	151,55 ± 4,94 ^{ns}	6,53 ± 0,41 ^g
K2 (75% KL) x ZnO NP (300 ppm)	188,57 ± 0,23 ^{ns}	262,01 ± 15,23 ^{ns}	290,54 ± 27,53 ^{ef}	144,41 ± 7,78 ^{ns}	6,65 ± 0,12 ^{ef}
K2 (75% KL) x ZnSO ₄ (400 ppm)	173,18 ± 0,32 ^{ns}	265,18 ± 21,21 ^{ns}	379,29 ± 50,12 ^{bcd}	139,54 ± 5,85 ^{ns}	5,75 ± 0,41 ^{bcd}
K3 (50% KL) x ZnO NP (0 ppm)	174,25 ± 1,16 ^{ns}	282,09 ± 26,58 ^{ns}	247,22 ± 60,22 ^{cde}	124,05 ± 15,28 ^{ns}	7,08 ± 0,12 ^{cde}
K3 (50% KL) x ZnO NP (100 ppm)	172,75 ± 3,38 ^{ns}	255,67 ± 3,80 ^{ns}	248,28 ± 27,95 ^{ef}	120,66 ± 2,13 ^{ns}	7,26 ± 0,39 ^{ef}
K3 (50% KL) x ZnO NP (200 ppm)	191,47 ± 0,16 ^{ns}	306,39 ± 31,12 ^{ns}	375,06 ± 43,85 ^g	133,93 ± 2,99 ^{ns}	8,42 ± 0,02 ^g
K3 (50% KL) x ZnO NP (300 ppm)	184,56 ± 0,02 ^{ns}	293,71 ± 17,00 ^{ns}	295,82 ± 27,95 ^f	133,18 ± 2,42 ^{ns}	7,76 ± 0,43 ^f
K3 (50% KL) x ZnSO ₄ (400 ppm)	177,78 ± 1,62 ^{ns}	217,64 ± 21,05 ^{ns}	380,34 ± 36,59 ^{def}	123,14 ± 0,51 ^{ns}	7,27 ± 0,28 ^{def}

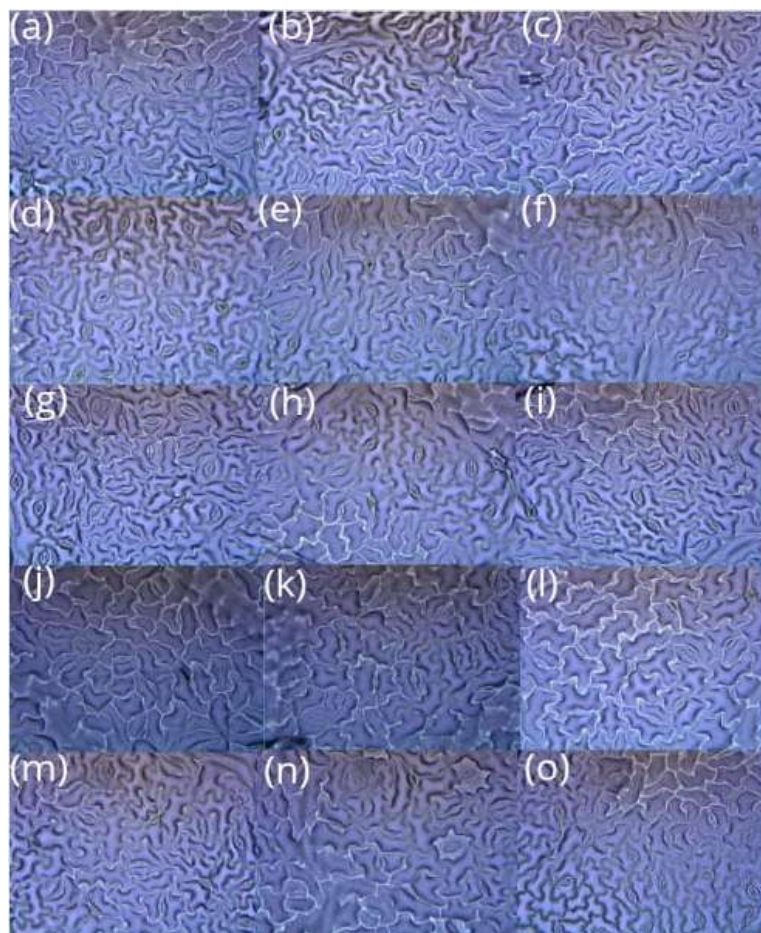
Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi aplikasi nano fertilizer zinc berbasis ekstrak mimba dengan cekaman kekeringan tidak memberikan pengaruh

nyata terhadap ukuran stomata, kerapatan stomata, dan tebal mesofil daun kedelai. Namun, interaksi antara nanofertilizer zinc dan cekaman kekeringan memberikan pengaruh signifikan terhadap kerapatan trikoma dan tebal kutikula. Perbedaan respons antar parameter anatomi ini mencerminkan kompleksitas mekanisme adaptasi tanaman kedelai dalam menghadapi cekaman lingkungan, yang dipengaruhi oleh sifat media tanam, konsentrasi ZnO-NP yang diaplikasikan, serta peran fisiologis unsur Zn di dalam tanaman. Visualisasi hasil pengukuran ukuran stomata daun kedelai pada setiap kombinasi perlakuan disajikan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Ukuran stomata. (a) P0K1 (b) P0K2 (c) P0K3 (d) P1K1 (e) P1K2 (f) P1K3 (g) P2K1 (h) P2K2 (i) P2K3 (j) P3K1 (k) P3K2 (l) P3K3 (m) P4K1 (n) P4K2 (o) P4K3.

Rata-rata ukuran stomata pada seluruh kombinasi perlakuan berkisar antara $147,97 \pm 1,15 \mu\text{m}$ hingga $217,81 \pm 1,32 \mu\text{m}$, dengan nilai tertinggi pada perlakuan K1 (100% kapasitas lapang) $\times$ ZnO-NP 200 ppm dan terendah pada perlakuan kontrol K1 $\times$ ZnO-NP 0 ppm. Tidak adanya pengaruh nyata perlakuan pemupukan terhadap ukuran stomata diduga karena konsentrasi ZnO-NP yang diaplikasikan belum mencapai ambang batas yang diperlukan untuk mengubah dimensi anatomis sel penjaga stomata secara struktural. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian Ahmed et al. (2023) yang melaporkan bahwa ZnO-NP meningkatkan ukuran ultrastruktur stomata seperti panjang, lebar, dan panjang pori secara signifikan hanya pada konsentrasi optimal tertentu sebagai mekanisme adaptasi terhadap kekeringan. Pada konsentrasi yang lebih rendah atau lebih tinggi dari dosis optimal, perubahan struktural tersebut tidak selalu tampak secara nyata. Dokumentasi hasil pengamatan kerapatan stomata daun kedelai pada masing-masing perlakuan disajikan pada Gambar 4.4.

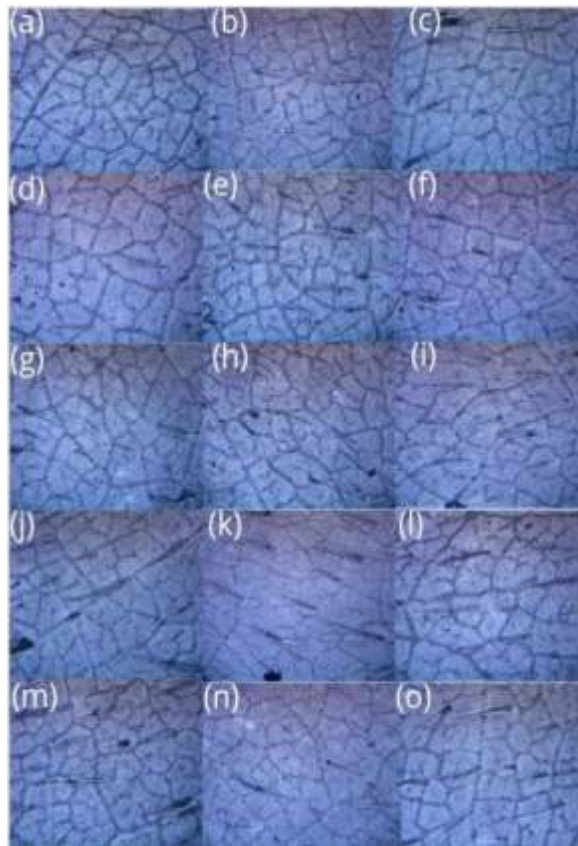


Gambar 4.4 Kerapatan stomata. (a) P0K1 (b) P0K2 (c) P0K3 (d) P1K1 (e) P1K2 (f) P1K3 (g) P2K1 (h) P2K2 (i) P2K3 (j) P3K1 (k) P3K2 (l) P3K3 (m) P4K1 (n) P4K2 (o) P4K3.

Interaksi antara cekaman kekeringan dan pemupukan tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap kerapatan stomata daun kedelai. Berdasarkan Tabel 4.5, rata-rata kerapatan stomata tertinggi terdapat pada perlakuan P2K1, yaitu $357,10 \pm 8,64$ stomata/mm². Nilai tinggi lainnya terdapat pada perlakuan P2K2 sebesar $345,48 \pm 30,45$ stomata/mm² dan P3K1 sebesar $330,69 \pm 34,34$ stomata/mm². Rerata kerapatan stomata terendah terdapat pada perlakuan P4K3, yaitu $217,64 \pm 21,05$ stomata/mm². Nilai rendah lainnya terdapat pada perlakuan P0K2 sebesar $252,51 \pm 26,53$ stomata/mm² dan P1K3 sebesar $255,67 \pm 3,80$ stomata/mm². Menurut Taiz et al. (2015), perubahan karakter stomata tidak hanya

dipengaruhi oleh faktor lingkungan, tetapi juga dikendalikan oleh faktor genetik dan proses perkembangan daun selama fase pertumbuhan. Oleh karena itu, kerapatan stomata cenderung lebih stabil dan tidak mudah berubah akibat perlakuan yang diberikan dalam jangka waktu tertentu.

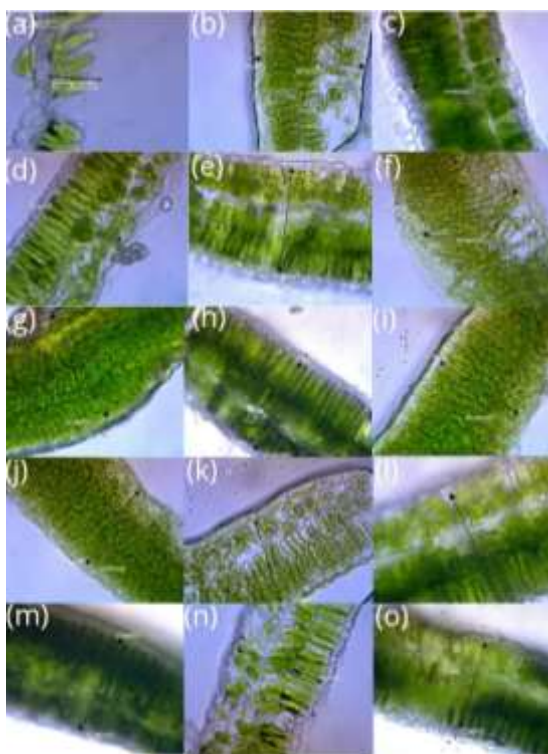
Menurut penelitian Hassan dkk (2020) menyatakan bahwa meskipun tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kerapatan stomata, unsur Zn diketahui memiliki peran penting dalam menjaga fungsi stomata, terutama pada kondisi cekaman kekeringan. Zinc berperan dalam mempertahankan integritas membran sel penjaga serta mengatur keseimbangan ion K^+ yang diperlukan dalam mekanisme buka-tutup stomata. Kecukupan Zn mendukung masuknya ion K^+ ke dalam sel penjaga sehingga konduktansi stomata, fotosintesis, dan efisiensi penggunaan air (Water Use Efficiency/WUE) dapat dipertahankan dengan baik. Sebaliknya, kekurangan Zn dapat mengganggu regulasi stomata akibat kerusakan membran dan menurunkan efisiensi penggunaan air tanaman (Hassan dkk., 2020). Visualisasi hasil pengamatan kerapatan trikoma daun kedelai pada masing-masing perlakuan disajikan pada Gambar 4.5.



Gambar 4.4 Kerapatan trikoma. (a) P0K1 (b) P0K2 (c) P0K3 (d) P1K1 (e) P1K2 (f) P1K3 (g) P2K1 (h) P2K2 (i) P2K3 (j) P3K1 (k) P3K2 (l) P3K3 (m) P4K1 (n) P4K2 (o) P4K3.

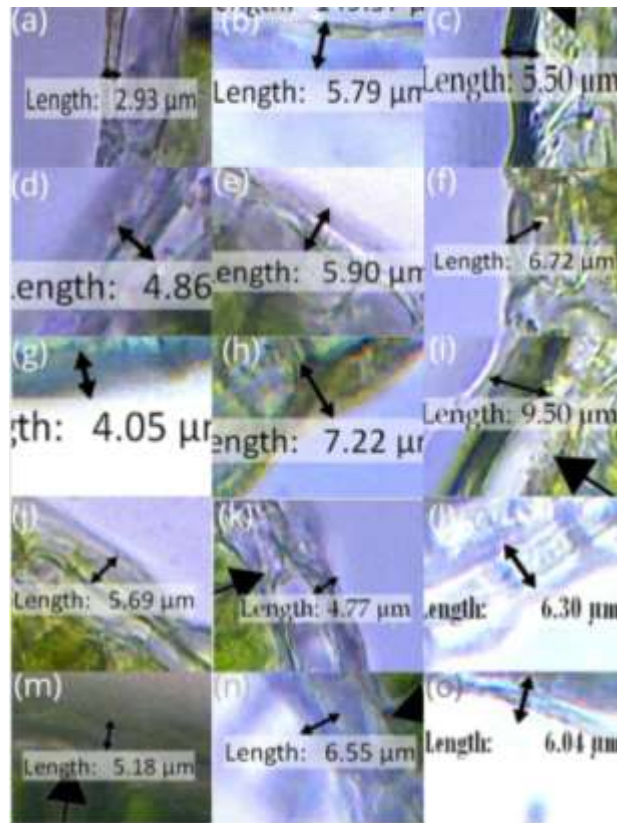
Interaksi antara nanofertilizer zinc dan cekaman kekeringan berpengaruh nyata terhadap kerapatan trikoma dan tebal kutikula. Kerapatan trikoma tertinggi diperoleh pada perlakuan K2P2 (75% kapasitas lapang + 200 ppm ZnO-NP) sebesar $418,38 \pm 41,55$ trikoma/mm², sedangkan nilai terendah terdapat pada K2P1 sebesar $238,77 \pm 23,88$ trikoma/mm². Selain itu, hasil uji lanjut menunjukkan bahwa kerapatan trikoma pada perlakuan P2K2 berbeda nyata dan lebih tinggi dibandingkan perlakuan P1K2 maupun kontrol (P0K1). Hal ini sesuai dengan peningkatan kerapatan trikoma pada beberapa kombinasi perlakuan diduga merupakan mekanisme adaptasi tanaman dalam mengurangi kehilangan air akibat transpirasi. Trikoma dapat membentuk lapisan pelindung pada permukaan daun

sehingga mengurangi radiasi yang diterima daun, menurunkan suhu permukaan daun, dan memperlambat laju penguapan air. Menurut penelitian Qi & Torii. (2018), struktur epidermis seperti stomata dan trikoma berperan penting dalam respons tanaman terhadap perubahan kondisi lingkungan, termasuk cekaman kekeringan. Selain itu, Plants Nazir et al. (2021) melaporkan bahwa peningkatan jumlah trikoma merupakan salah satu bentuk adaptasi morfologi yang membantu tanaman mempertahankan status air selama periode kekeringan. Dokumentasi hasil pengamatan tebal mesofil daun kedelai pada masing-masing perlakuan disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4.4 Tebal mesofil. (a) P0K1 (b) P0K2 (c) P0K3 (d) P1K1 (e) P1K2 (f) P1K3 (g) P2K1 (h) P2K2 (i) P2K3 (j) P3K1 (k) P3K2 (l) P3K3 (m) P4K1 (n) P4K2 (o) P4K3.

Rata-rata tebal mesofil pada rata-rata tertinggi yaitu P2K1, yaitu kombinasi 200 ppm ZnO-NP dengan 100% kapasitas lapang sebesar $167,07 \pm 6,05 \mu\text{m}$. Nilai tinggi lainnya terdapat pada perlakuan P3K1 sebesar $158,94 \pm 9,82 \mu\text{m}$, P4K1 sebesar $157,03 \pm 3,53 \mu\text{m}$, dan P2K2 sebesar $151,55 \pm 4,94 \mu\text{m}$. Rata-rata tebal mesofil terendah terdapat pada perlakuan P1K3, yaitu kombinasi 100 ppm ZnO-NP dengan 50% kapasitas lapang sebesar $120,66 \pm 2,13 \mu\text{m}$. Nilai rendah lainnya terdapat pada perlakuan P4K3 sebesar $123,14 \pm 0,51 \mu\text{m}$ dan P0K3 sebesar $124,05 \pm 15,28 \mu\text{m}$. Hal ini menunjukkan bahwa nilai tebal mesofil bervariasi antar kombinasi perlakuan pupuk dan cekaman kekeringan. Menurut Rasheed dkk. (2022), pemberian pupuk nanopartikel dapat membantu memperbaiki struktur anatomi tanaman, menjaga kestabilan membran dan sel, serta mendukung penyerapan air yang lebih baik. Aplikasi nanopartikel ZnO melalui penyemprotan pada daun juga dapat meningkatkan penyerapan hara dan mengurangi dampak negatif cekaman kekeringan. Dengan demikian, pengaruh ZnO-NP terhadap tanaman tidak hanya berkaitan dengan peningkatan pertumbuhan, tetapi juga dengan kemampuan tanaman dalam menyesuaikan diri terhadap kondisi kekurangan air. Oleh karena itu, mesofil yang lebih tebal tidak selalu menunjukkan kondisi tanaman yang lebih baik, tetapi dapat menjadi salah satu bentuk respons adaptasi tanaman terhadap cekaman kekeringan. Dokumentasi hasil pengamatan tebal kutikula daun kedelai pada masing-masing perlakuan disajikan pada Gambar 4.7



Gambar 4.4 Tebal kutikula. (a) P0K1 (b) P0K2 (c) P0K3 (d) P1K1 (e) P1K2 (f) P1K3 (g) P2K1 (h) P2K2 (i) P2K3 (j) P3K1 (k) P3K2 (l) P3K3 (m) P4K1 (n) P4K2 (o) P4K3.

Tebal kutikula tertinggi diperoleh pada perlakuan P2K3 sebesar $8,42 \pm 0,02$ μm , sedangkan nilai terendah terdapat pada P0K1 sebesar $4,17 \pm 0,66$ μm . Hasil uji lanjut Duncan menunjukkan bahwa perlakuan P2K3 (200 ppm ZnO-NP + 50% kapasitas lapang) menghasilkan tebal kutikula tertinggi sebesar $8,42 \pm 0,02$ μm . Perlakuan ini berbeda nyata dengan seluruh kombinasi perlakuan lainnya, kecuali P2K2 (200 ppm ZnO-NP + 75% kapasitas lapang) yang tidak berbeda nyata. Sebaliknya, tebal kutikula terendah diperoleh pada perlakuan P0K1 (0 ppm + 100% kapasitas lapang) sebesar $4,17 \pm 0,66$ μm . Hasil ini menunjukkan bahwa pemberian ZnO-NP dosis 200 ppm pada kondisi cekaman kekeringan sedang hingga tinggi

mampu meningkatkan ketebalan kutikula daun kedelai dibandingkan kombinasi perlakuan lainnya.

Hal ini menunjukkan bahwa cekaman kekeringan dan ketersediaan Zn dapat bekerja bersama dalam merangsang pembentukan kutikula yang lebih tebal dan lebih protektif. Kutikula merupakan lapisan terluar pada permukaan daun yang berperan penting sebagai pelindung tanaman, terutama untuk mengurangi kehilangan air melalui permukaan daun di luar jalur stomata. Selain itu, struktur epidermis daun, termasuk kutikula dan lilin kutikula, membantu tanaman beradaptasi dan bertahan pada kondisi kekurangan air. Secara fisiologis, saat tanaman mengalami cekaman kekeringan, kadar hormon asam absisat (ABA) akan meningkat. Peningkatan ABA ini kemudian memicu aktivitas gen-gen yang berperan dalam pembentukan lilin kutikula. Pada perlakuan P4, ketersediaan Zn yang lebih tinggi diduga membantu memperkuat respons tersebut, sehingga pembentukan lapisan kutikula menjadi lebih optimal. Lilin kutikula bersifat hidrofobik atau sulit ditembus air, sehingga mampu membatasi kehilangan air dari permukaan daun dan menjaga kestabilan jaringan tanaman (Yang dkk., 2021). Hal ini sesuai dengan QS. Al-Qaaf [50]:9 sebagai berikut:

وَنَزَّلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً مُّبْرَكًا فَأَنْبَتْنَا بِهِ جِبْتٍ وَحَبَّ الْحَصِيدِ ۝٩

Artinya: “Kami turunkan dari langit air yang diberkahi, lalu Kami tumbuhkan dengannya kebun-kebun dan biji-bijian yang dapat dipanen.” (Qs. Qaaf:9).

Menurut Tafsir Al-Misbah ayat ini merupakan ayat ini merupakan lanjutan dari penjelasan mengenai bukti-bukti kekuasaan Allah SWT dalam mengatur kehidupan di alam semesta. Salah satu bukti tersebut adalah diturunkannya air hujan yang menjadi sumber kehidupan bagi seluruh makhluk di bumi. Air hujan berasal dari proses yang telah Allah

tetapkan melalui siklus alam, kemudian diturunkan sesuai kebutuhan makhluk-Nya. Dengan air tersebut Allah menumbuhkan berbagai jenis tumbuhan, buah-buahan, biji-bijian, serta pohon-pohon yang menghasilkan manfaat bagi kehidupan manusia dan makhluk lainnya. Selain menjadi sumber rezeki, air juga berperan menghidupkan tanah yang sebelumnya kering dan tandus sehingga kembali subur dan mampu mendukung pertumbuhan tanaman. Melalui peristiwa ini, Allah menunjukkan kebesaran dan kuasa-Nya dalam menjaga keseimbangan kehidupan di bumi. Oleh karena itu, air merupakan faktor yang sangat penting bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman, karena tanpa ketersediaan air yang cukup berbagai proses fisiologis dan pertumbuhan tanaman tidak dapat berlangsung secara optimal (Shihab., 2002).

Menurut Tafsir Ath-Thabari, yang dimaksud dengan "*air yang penuh berkah*" adalah hujan yang Allah turunkan dengan membawa banyak manfaat bagi kehidupan makhluk-Nya. Melalui air hujan tersebut, Allah menumbuhkan berbagai jenis tanaman, pepohonan, dan biji-bijian yang menjadi sumber makanan bagi manusia dan hewan. Ath-Thabari menjelaskan bahwa tumbuhnya tanaman setelah turunnya hujan merupakan bukti nyata kekuasaan Allah dalam menghidupkan sesuatu yang sebelumnya mati dan kering. Oleh karena itu, hujan tidak hanya dipandang sebagai fenomena alam, tetapi juga sebagai rahmat dan sarana keberlangsungan kehidupan yang telah ditetapkan oleh Allah SWT.

Ayat tersebut menjelaskan bahwa Allah SWT memicu pertumbuhan tanaman di bumi melalui air hujan yang berasal dari biji-bijian. Air ini memungkinkan biji-bijian yang sebelumnya dalam fase dormansi untuk berkecambah dan berkembang menjadi tanaman yang subur. Selain itu, air berfungsi sebagai media transportasi bagi zat-zat dari satu sel ke sel lainnya karena berperan sebagai mediator dalam berbagai reaksi biokimia di dalam sel. Air juga memberikan tekanan hidrolik yang menciptakan turgor pada sel, sehingga mendukung kekuatan dan stabilitas sel-sel tanaman. Hal ini menunjukkan bahwa air memiliki peranan penting dalam pembentukan struktur dan perkembangan tanaman. Salah

satu contoh tanaman berbiji adalah kedelai, yang secara anatomi memiliki fitur adaptif untuk bertahan, seperti kerapatan trikoma, panjang trikoma, dan ketebalan kutikula.

.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Nilai ukuran partikel nanofertilizer zinc (Zn) yang disintesis menggunakan bioreduktor ekstrak daun mimba (*A. indica*) berdasarkan PSA yaitu 122,3 nm dengan nilai PDI 0,201, serta hasil FTIR menunjukkan adanya gugus fungsi yang berperan sebagai agen pereduksi dan penstabil, sehingga mengindikasikan keberhasilan sintesis nanopartikel Zn.
2. Aplikasi nanofertilizer zinc (Zn) ekstrak mimba (*A. indica*) berpengaruh terhadap karakter anatomi daun kedelai, yaitu kerapatan trikoma pada dosis 400 ppm ZnSO_4 terhadap peningkatan kerapatan trikoma, tebal mesofil pada dosis 100 ppm terhadap peningkatan tebal mesofil dan kutikula pada dosis 400 ppm terhadap peningkatan tebal kutikula.
3. Cekaman kekeringan tidak berpengaruh terhadap karakter anatomi daun kedelai yaitu ukuran stomata, kerapatan stomata, kerapatan trikoma, tebal mesofil dan tebal kutikula.
4. Kombinasi antara aplikasi nanofertilizer zinc (Zn) ekstrak mimba (*A. indica*) dan cekaman kekeringan berpengaruh terhadap karakter anatomi daun kedelai yaitu kerapatan trikoma dan tebal kutikula.

5.2 Saran

Saran penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan karakterisasi lanjutan terhadap nanopartikel Zn menggunakan teknik seperti Scanning Electron Microscopy (SEM), X-Ray Diffraction (XRD)
2. Perlu dilakukan analisis karakteristik tanah atau media tanam, seperti jenis tanah, tekstur tanah, pH, bahan organik, dan kemampuan menahan air, agar pengaruh cekaman kekeringan terhadap tanaman dapat diamati dengan lebih akurat.
3. Perlu digunakan alat pemotong jaringan yang lebih presisi, seperti Accu-Cut SRM 200 Rotary Microtome, dalam pembuatan sayatan melintang daun agar pengamatan mesofil, kutikula lebih jelas dan rata .

DAFTAR PUSTAKA

- Adeosun, Y.M., Adeoti, O., & Koyenikan, O. (2023) An Assessment Of The Elemental Composition Of Neem (*A. indica* A. Juss) Products For Biofertilizer Production. *Journal Of Engineering Research And Reports*, Vol 25 (12) : 171-175.
- Alamdari, S., Ghamsari, M. S., Lee, C., Han, W., Park, H. H., Tafreshi, M. J., Afarideh, H., & Ara, M. H. M. (2020). Preparation and Characterization of Zinc Oxide Nanoparticles Using Leaf Extract of *Sambucus ebulus*. *Applied Sciences*, 10(10), 3620. <https://doi.org/10.3390/app10103620>
- Adie, M Dan A. Krisnawati. (2007). *Biologi Tanaman Kedelai. Balai Penelitian Kacang-Kacangan Dan Umbi-Umbian (Balitkabi)*. Malang.
- Adisarwanto, T., (2008). *Budidaya Kedelai Tropika*. Penebar Swadaya, Jakarta.
- Adisarwanto. (2005). *Kedelai*. Swadaya. Jakarta.
- Aminah (2020) *Adaptasi Tanaman Kedelai Pada Lahan Kering Dan Lahan Sawah. Pusaka Almaida*. Makasar.
- Alloway, B. J. (2008). *Zinc in soils and crop nutrition (2nd ed.)*. International Zinc Association and International Fertilizer Industry Association.
- Ariffin. (2008). Respons Tanaman Kedelai Terhadap Lama Penyinaran. *Agrivita* 30(1): 61–66.
- Ali, S., Mehmood, A., and Khan, N. (2021). Uptake, translocation, and consequences of nanomaterials on plant growth and stress adaptation. *J. Nanomaterials*, 6677616. doi: 10.1155/2021/6677616
- Azim, Z., Singh, N., Singh, A., Amist, N., Niharika, Khare, S., et al. (2023). A review summarizing uptake, translocation and accumulation of nanoparticles within the plants: current status and future prospectus. *J. Plant Biochem. Biotechnol.* 32, 211– 224. doi: 10.1007/s13562-022-00800-6
- Aulia, R., Riyadi, Dan Suharmanto. (2014). Pengaruh Inflasi Dan Nilai Tukar Rupiah Terhadap Impor Kedelai Di Jawa Tengah (Periode 2001-2013).” *Journal Of Business Studies* 1, No. 1(2014):185-195.
- Agbangba, C.E., Aide, E.S., Honfo, H. and Kakai, R.G. (2024) ‘On the use of post-hoc tests in environmental and biological sciences: A critical review’, *Heliyon*, 10(3), e25131.
- Ahmed, S., Khan, M. T., Abbasi, A., Haq, I. U., Hina, A., Mohiuddin, M., Tariq, M. A. U. R., Afzal, M. Z., Zaman, Q. U., Ng, A. W. M., & Li, Y. (2023). Characterizing stomatal attributes and photosynthetic induction in relation to biochemical changes in *Coriandrum sativum* L. by foliar-applied zinc oxide nanoparticles under drought conditions. *Frontiers in Plant Science*, 13, Article 1079283. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1079283>
- Ahmadov, I. S., Ramazanov, M. A., Gasimov, E. K., Rzayev, F. H., and Veliyeva, S. B. (2020). The migration study of nanoparticles from soil to the leaves of plants. *Biointerface Res. Appl. Chem.* 10, 6101–6111. doi: 10.33263/BRIAC105.61016111
- Aziez, A. F., Supriyadi, T., Dewi, T. S. K., & Saputra, A. F. (2021). Analisis pertumbuhan kedelai varietas grobogan pada cekaman kekeringan. *Jurnal Ilmiah Agrineca*, 21(1), 25–33. <https://doi.org/10.36728/afp.v21i1.1335>

- Aulia,M,O.,Amintarti,S & Rezeki,A (2023) Tipe-Tipe Stomata Tumbuhan Myrtaceae Di Lingkungan Kampus Fkip Ulm Sebagai Booklet Bahan Ajar Pendamping Mata Kuliah Anatomi Tumbuhan. *Bioedikasi*. Vol 14 (2).
- Aljaf,M,M., Hasan, S., & Al- Hadeethi, H,A,M (2025) Pengaruh Penyemprotan Daun Nano-Seng terhadap Karakteristik Anatomi Tanaman Kedelai (*Glycine max*), *IHJPAS*. 38 (4)
- Babu, S.; Singh, R.; Yadav, D.; Rathore, S.S.; Raj, R.; Avasthe, R.; Yadav, S.K.; Das, A.; Yadav, V.; Yadav, B.; *Et al* (2022). Nanofertilizers Foragricultural And Environmental Sustainability.*Chemosphere*,292,133451.
- Bahri.S., (2017) Respon Pertumbuhan Dan Hasil Tiga Varietas Kedelai (*Glycine Max*, L.) Terhadap Cekaman Kekeringan, *Agrosamudra*, Vol.4 (2).
- Bps.(2022). Statistik Indonesia 2022 <https://www.bps.go.id/publication/2022/02/25/0a2afea4fab72a5d052cb315/statistik-indonesia-2022.html>
- Bhuyan, T., Mishra, K., Khanuja, M., Prasad, R., & Varma, A. (2015). Biosynthesis of zinc oxide nanoparticles from *Azadirachta indica* for antibacterial and photocatalytic applications. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 32, 55–61. <https://doi.org/10.1016/j.mssp.2014.12.053>
- Bhattacharjee, S. (2016). DLS and zeta potential – What they are and what they are not? *Journal of Controlled Release*, 235, 337–351. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2016.06.017>
- Bi, H., Kovalchuk, N., Langridge, P., Tricker, P. J., Lopato, S., & Borisjuk, N. (2017). The impact of drought on wheat leaf cuticle properties. *BMC Plant Biology*, 17, 85. <https://doi.org/10.1186/s12870-017-1033-3>
- Bussieres, P. (2014). *Estimating the number and size of phloem sieve plate pores using longitudinal views and geometric reconstruction*. *Sci. Rep.* 4, 4929. doi: 10.1038/ srep04929
- Chartzoulakis K, Patakas A, Kofidis G, Bosabalidis A, Nastou A. (2002). Water Stress Affects Leaf Anatomy, Gas Exchange, Water Relations And Growth Of Two Avocado Cultivars. *Scientia Horticulturae* 95: 39-50.
- Cambaba S, 2015. Karakter Anatomis daun Kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill) ‘Grobogan’ Hasil Perlakuan Kekeringan dan Mulsa Jerami. *Prosiding Seminar Nasional*; 2(1): 881-896.
- Chen, M., Zhu, X., Zhang, Y., Du, Z., Chen, X., Kong, X., & Chen, C. (2020). Drought stress modify cuticle of tender tea leaf and mature leaf for transpiration barrier enhancement through common and distinct modes. *Scientific Reports*, 10, 6696. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63683-4>
- Chichiriccò, G., and Poma, A. (2015). Penetration and toxicity of nanomaterials in higher plants. *Nanomaterials* 5, 851–873. doi: 10.3390/nano5020851
- Databoks. (2022). Nilai Impor Kedelai Indonesia Naik Jadi Us\$ 1,48 Juta Pada 2021. Disunting Oleh Annissa Mutia. 07 Maret 2022.
- Daszkowska-Golec, A., & Szarejko, I. (2013). Open or close the gate – stomata action under the control of phytohormones in drought stress conditions. *Frontiers in Plant Science*, 4, 138. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.000138>
- Dola.D.B & Mannan.M.A. (2022) Efek Aplikasi Nanopartikel Seng Oksida Pada Daun Terhadap Pertumbuhan, Hasil Dan Toleransi Kekeringan Pada Kedelai. *Bangladesh Agron. J*, 25(2): 73-82

- Drake R, Froend H, Dan Cowan E,(2013). Smaller Faster Stomata: Scaling Of Stomata Size, Rate Of Response, And Stomatal Conductance. *Journal Of Experimental Botany*; 64(2): 495-505.
- Deviona., Roslim, I.D., Zul. D., Suhartina., Syafitri. R.A (2024) Keragaman Genetik dan Heritabilitas Berbagai Karakter Tanaman Kedelai .
- Diptaningsari, D. (2013). Analisis keragaan karakter agronomis dan stabilitas galur harapan padi gogo turunan padi lokal Pulau Buru hasil kultur anthera. Tesis. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor.(*Glycine max* (L.) Merrill). *Jurnal Penelitian Agronomi*, 26(1): 38-42
- Di Baccio, D., Minnocci, A., & Sebastiani, L. (2010). Leaf structural modifications in *Populus × euramericana* subjected to Zn excess. *Biologia Plantarum*, 54(3), 502–508. <https://doi.org/10.1007/s10535-010-0070-8>
- Effendy, Respatijarti dan B. Waluyo. 2018. Keragaman genetik dan heritabilitas karakter komponen hasil dan hasil ciplukan (*Physalis* sp.). *Jurnal Agro*. 5(1): 30-38.
- Elsharkawy, S. F., Haroun, S. A., Abbas, M. A., Sofy, M. R., & Agha, M. S. (2025). Synergistic role of zinc oxide nanoparticles in enhancing antioxidative defense and drought tolerance via metabolic and essential oil modulation in marjoram. *Functional Plant Biology*, 52(11), FP25177. <https://doi.org/10.1071/FP25177>
- Etesami, H., Fatemi, H., and Rizwan, M. (2021). Interactions of nanoparticles and salinity stress at physiological, biochemical and molecular levels in plants: A review. *Ecotoxicology Environ. Saf.* 225, 112769. doi: 10.1016/j.ecoenv.2021.112769
- Fachrudin, L. (2000). *Budidaya Kacang-Kacangan*. Kanisius. Yogyakarta. 118 Hal.
- Fageria, N.K.; Filho, M.P.B.; Moreira, A.; Guimarães, C.M. (2009) Foliar Fertilization Of Crop Plants. *J. Plant Nutr.*, 32, 1044–1064 <https://doi.org/10.1080/01904160902872826>.
- Gulo,K,D & Nurhayati (2022) Proses Fisiologis Pembentukan Protein Kedelai Pada Kondisi Tanaman Mengalami Cekaman Kekeringan. *Jurnal Pertanian Berkelanjutan*. Vol 1(1) : 16-18.
- Ghasemi, A. and Zahediasl, S. (2012) ‘Normality tests for statistical analysis: A guide for non-statisticians’, *International Journal of Endocrinology and Metabolism*, 10(2), pp. 486–489.
- Hasdi, A, Dan S Alpon. (2014). “Prospek Konsumsi Dan Impor Kedelai Di Indonesia Tahun 2015-2020.”*Jurnal Kajian Ekonomi* 5,(3):1-13. <http://ejournal.unp.ac.id/index.php/ekonomi/article/download/4157/3304>.
- Hassan, M. U., Aamer, M., Chattha, M. U., Haiying, T., Shahzad, B., Barbanti, L., Nawaz, M., Rasheed, A., Afzal, A., Liu, Y., & Guoqin, H. (2020). Peran Penting Seng pada Tanaman dalam Menghadapi Stres Kekeringan. *Agriculture*, 10(9), 396. <https://doi.org/10.3390/agriculture10090396>
- Hasan, M., Tariq, T., Mustafa, G., Ismail, E. A. A., Awwad, F. A., & Hatami, M. (2024). Biogenic zinc oxide nanoregulator determines the quantitative analysis of morpho-anatomical and antioxidant capacity in *Lactuca sativa* L. *Food Science & Nutrition*, 12(10), 7954–7967.

- Hulu, A., (2023) Study Of Policy Innovation Strategy To Accelerate Achievement Of Indonesian Soybean Self-Sufficiency In 2035. *Matra Pembaruan*, 7(1), 13-23 <https://doi.org/10.21787/Mp.7.1.2023.13-23>
- Hussain, I., Singh, A., Singh, N., and Singh, P. (2019). Plant-nanoceria interaction: Toxicity, accumulation, translocation and biotransformation. *South Afr. J. Bot.* 121, 239–247. doi: 10.1016/j.sajb.2018.11.013
- Hu, P., An, J., Faulkner, M. M., Wu, H., Li, Z., Tian, X., et al. (2020). Nanoparticle charge and size control foliar delivery efficiency to plant cells and organelles. *ACS nano* 14, 7970–7986. doi: 10.1021/acsnano.9b09178
- Imakumbili, M.L. (2019) *Making Water Stress Treatments in Pot Experiments: An Illustrated Step-by-Step Guide*; Sokoine University of Agriculture: Morogora, Tanzania; pp. 1–17.
- Iqbal, J., Abbasi, B. A., Yaseen, T., Zahra, S. A., Shahbaz, A., Shah, S. A., Uddin, S., Ma, X., Raouf, B., Kanwal, S., Amin, W., Mahmood, T., El-Serehy, H. A., & Ahmad, P. (2021). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Elaeagnus angustifolia* L. leaf extract and its various in vitro biological applications. *Scientific Reports*, 11, 20988. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99839-z>
- Jaya Ab, Tambaru E, Latunra Ai, Dan Salam Ma, (2015). Perbandingan Karakteristik Stomata Daun Pohon Leguminosae Di Hutan Kota Universitas Hasanuddin Dan Di Jalan Tamalate Makassar. *Jurnal Of Biological Diversity*; 7(1): 6.
- Jahan, E., Sharwood, R. E., Tissue, D. T., et al. (2023). Effects of leaf age during drought and recovery on photosynthesis, mesophyll conductance and leaf anatomy in wheat leaves. *Frontiers in Plant Science*, 14, Article 1091418. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1091418>
- Jones C, Jacobsen J. (2001). *Plant Nutrition And Soil Fertility. Nutrient Management Module No. 2*. Bozeman : Montana State University Extension Service.
- Jalata, Z., Ayana, A., dan Zeleke, H. 2011. Variability, heritability and genetic advance for some yield and yield related traits in Ethiopian barley (*Hordeum vulgare* L.) landraces and crosses. *International Journal of Plant Breeding and Genetics*. 5(1): 44-52.
- Juanda, P. A., Ismail., Guswenrivo I., & Laksono, D.S.H (2023) Skrining Fitokimia dan Ekstraksi Senyawa Azadirachtin dari Ampas Biji Mimba, *Warta akab* Vol 47 (1) : 33-40.
- Jeeva, M., Seshagiri, S., & Minchitha, K. U. (2026). Plant mediated synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Azadirachta indica* for biomedical applications. *Next Research*, 8, 101658. <https://doi.org/10.1016/j.nexres.2026.101658>
- Kementan(2021). *Rencana Strategis (Renstra) Pusat Perpustakaan Dan Penyebaran Teknologi Pertanian (Pustaka)* Tahun 2020-2024. Jakarta: Kementerian Pertanian, 2020.
- Koentjoro, Y., Sukendah, Purwanto, E. and Purnomo, D. (2020) ‘Stomatal behaviour of soybean under drought stress with silicon application’, *Annals of Agri-Bio Research*, 25(1), pp. 146–152.
- Karubuy CNS, Rahmadaniarti A, dan Wanggai J, (2018). Karakteristik Stomata dan Kandungan Klorofil Daun Anakan Kayu Cina (*Sundacarpus amarus*

- (Blume) C. N. Page) Pada Beberapa Intensitas Naungan. *Jurnal Kehutanan Papuaasia*; 4(1): 45-56.
- Kim, H.Y. (2014) 'Statistical notes for clinical researchers: Two-way analysis of variance (ANOVA)-exploring possible interaction between factors', *Restorative Dentistry & Endodontics*, 39(2), pp. 143–147.
- Kolencik, M., Ernst, D., Komar, M., Urik, M., Sebesta, M., Durisova, L., Bujdos, M., Cerny, I., Chlpik, J., Juriga, M., et al. (2022). Effects of Foliar Application of ZnO Nanoparticles on Lentil Production, Stress Level and Nutritional Seed Quality under Field Conditions. *Nanomaterials*, 12(3), 310. DOI: 10.3390/nano12030310
- Lagiman.,Suryawati,A.,& Widayanto,B (2022) Budidaya Tanaman Kedelai Di Lahan Pasir Pantai. Lppm Upn Veteran Yogyakarta. Yogyakarta.
- Li'aini, A. S., Wibawa, I. P. A. H., & Lugrayasa, I. N. (2021). Karakterisasi Aktivitas Antioksidan Ekstrak Daun Mimba (*A. indica* A. Juss) Dari Desa Jagaraga, Kecamatan Sawan, Kabupaten Buleleng, Bali. *Buletin Plasma Nutfah*, 27(1), 51–56.
- Lisanti.E.,Puspitaningrum.R., Tresnawati.E.N & Arwin (2021) Inovasi Aneka Pangan Bergizi Tinggi Dari Bahan Kedelai Iradiasi Gamasugen Untuk Meningkatkan Pendapatan Masyarakat Rawamangun Jakarta Timur. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat* Vol. 18 No. 1. Doi: <https://doi.org/10.21009/Sarwahita.181.8>
- Lu, X., Yin, Y., Yang, M., Zhang, S., Niu, Z., Wu, L., & Chen, C. (2025). Effects of drought stress on the growth and physiological characteristics of *Idesia polycarpa* Maxim. *Horticulturae*, 11(7), 834. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11070834>
- Liu, K. (2004). *Soybeans As Functional Foods And Ingredients*. Aocs Publishing.
- Liu, H., Song, S., Zhang, H., Li, Y., Niu, L., Zhang, J., & Wang, W. (2022). Signaling Transduction of ABA, ROS, and Ca²⁺ in Plant Stomatal Closure in Response to Drought. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(23), 14824. <https://doi.org/10.3390/ijms232314824>
- Lv, J.; Christie, P.; Zhang, S. Uptake, Translocation, And Transformation Of Metal-Based Nanoparticles In Plants: Recent Advances And Methodological Challenges. *Environ. Sci. Nano* 2019, 6, 41–59 <https://doi.org/10.1039/C8en00645h>.
- Larue, C., Castillo-Michel, H., Sobanska, S., Cé cillon, L., Bureau, S., Barthès, V., et al. (2014). Foliar exposure of the crop *Lactuca sativa* to silver nanoparticles: evidence for internalization and changes in Ag speciation. *J. hazardous materials* 264, 98–106. doi: 10.1016/j.jhazmat.2013.10.053
- Li, L., Luo, Y., Li, R., Zhou, Q., Peijnenburg, W. J., Yin, N., et al. (2020). Effective uptake of submicrometre plastics by crop plants via a crack-entry mode. *Nat. sustainability* 3, 929–937. doi: 10.1038/s41893-020-0567-9
- Makin Fmpr, Welsiliana, Dan Wiguna Ga, (2022). Karakterisasi Stomata Dan Trikomata Daun Kirinyuh (*Chromolaena Odorata* L.). *Journal Science Of Biodiversity*, 3(1): 61-67.
- Mandic, V., Simic, A., Krnjaja, V., Bijelic, Z., Tomic, Z., Stanojkovic, A., & Ruzic, M.D. (2015). Effect Of Foliar Fertilization On Soybean Grain Yield. *Biotechnology In Animal Husbandry*, 31(1), 133-143.

- Mateosapario, I; Redondo Cuenca, A.; Villanuevasuárez, M.J.; Zapata Revilla, M.A. (2008). Soybean, A Promising Health Source. *Nutrición Hospitalaria*. 23: 305-312.
- Miarsih, R. A. (2017). *Uji Aktivitas Antioksidan Dan Antihemolisis Ekstrak Rimpang Jahe Merah (Zingiber Officinale Var. Rubrum)*. Universitas Pendidikan Indonesia. <https://doi.org/10.36990/Hijp.V16i3.1298>
- Mulyono.,Febriana.R.E., & Hidayat.T (2022) Effects Of Foliar Application Of Oil Palm Empty Fruit Bunch Ash Nanoparticles On Stomatal Anatomy Of Potato Leaf Plants (*Solanum Tuberosum* L.). *Planta Tropika: Jurnal Agrosains (Journal Of Agro Science)* Vol 10 (2) 10.18196/Pt.V10i2.15645.
- Munir Ms, Avivi S, Dan Soeparjono S, (2022). Pengaruh Dosis Pupuk Kcl Dan Berbagai Level Penyiraman Terhadap Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis* Jacq.) Di Pre-Nursery. *Agriprima Journal Of Applied Agricultural Sciences*; 6(1): 62-72.
- Meriko L dan Abizar, (2017). Struktur Stomata Daun Beberapa Tumbuhan Kantong Semar (*Nepenthes* spp.). *Berita Biologi*; 16(3): 325-330.
- Mashud N dan Octavia F, 2015. Karakteristik Fisiologi Daun Aren Varietas Akel Toumuung. *Buletin Palma*; 16(1): 49-56.
- Makin FMPR, Welsiliana, dan Wiguna GA, 2022. Karakterisasi Stomata dan Trikoma Daun Kirinyuh (*Chromolaena odorata* L.). *Journal Science of Biodiversity*, 3(1): 61-67.
- Mankad, M., Patil, G., Patel, S., Patel, D., & Patel, A. (2016). Green synthesis of zinc oxide nanoparticles using *Azadirachta indica* A. Juss. leaves extract and its antibacterial activity against *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae*. *Annals of Phytomedicine*, 5(2), 76–86.
- Mattiello, E. M., Ruiz, H. A., Neves, J. C. L., Ventrella, M. C., & Araújo, W. L. (2015). Zinc deficiency affects physiological and anatomical characteristics in maize leaves. *Journal of Plant Physiology*, 183, 138–143. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2015.05.014>
- Muttaqin,Z,S (2023) *Anatomi Tumbuhan (Sel, Jaringan, Dan Organ Vegetatif Pada Tumbuhan)*. Uki Press. Jakarta Timur.
- Mustaanah, D., Rusmiyanto. E., & Turnip, M. (2024) Karakteristik Morfologi Dan Anatomi Akar, Batang, Dan Daun Kedelai (*Glycine Max* (L.) Merr.) Pada Intensitas Cahaya Yang Berbeda. *Protobiont*, Vol. 13 (1) : 1-7
- Mardhiyah, A., Ismail, F. Y., & Ada', I. (2024). Studi Anatomi Trikoma Daun pada Famili Solanaceae. *BioTeach: Biology and Biology Education Journal*, 1(1), 16-20.
- Madaan, I., Sharma, P., Singh, A. D., Dhiman, S., Kour, J., Kumar, P., Kaur, G., Sharma, I., Gautam, V., Kaur, R., Sharma, A., Sirhindi, G., & Bhardwaj, R. (2025). Chapter 8 - Zinc and plant hormones: an updated review. Dalam *Zinc in Plants: Current Knowledge and Recent Advances* (hal. 193–223). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91314-0.00016-8>
- Marbun, N., Parhan, S., Silalahi, A. A., & Chandra, P. (2022). *Nanopartikel bahan alam*. PT Bululoka Literasi Bangsa. <https://books.google.co.id/books?id=0JTTEQAAQBAJ&lpg=PA1&ots=-ZFM10vgTN&dq=Nanopartikel%20dengan%20Senyawa%20Bioaktif%20sebagai%20Capping%20Agent&lr&hl=id&pg=PP1#v=onepage&q&f=true>

- Nongbet, A., Mishra, A. K., Mohanta, Y. K., Mahanta, S., Ray, M. K., Khan, M., Baek, K. H., & Chakrabartty, I. (2022). Nanofertilizers: A Smart And Sustainable Attribute To Modern Agriculture. *Plants*, 11(19). <https://doi.org/10.3390/Plants1119258>
- Nuryana, M. H., Darmanti, S., & Prihastanti, E. (2024). Respon Anatomi Daun Adam Hawa (*Rhoeo discolor*) dan Pucuk Merah (*Syzygium oleana*) terhadap Polutan CO di Kecamatan Tembalang dan Banyumanik Kota Semarang. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(5), 1184–1193.
- Nazir, F. et al. (2021). Trichome density as a morphological response to abiotic stress in plants. *Journal of Plant Physiology*, 263, 153-161.
- Nurfitriyana, N., Fithri, N. A., Fitria, F., & Yanuarti, R. (2022). Analisis interaksi kimia Fourier Transform Infrared (FTIR) tablet gastroretentif ekstrak daun petai (*Parkia speciosa* Hassk) dengan polimer HPMC-K4M dan kitosan. *IONTech: Journal of Science and Technology*, 3(2), 27–33.
- Nugroho, I., Putri, N., Adji, J. E. P., Nur, S. R., & Sekarningrum, N. A. (2024). Tinjauan kritis kemampuan Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) dalam analisis dan karakterisasi senyawa obat. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 10(15), 332–344. <https://doi.org/10.5281/zenodo.13777154>
- Pompelli MF, Martins SCV, Celin EF, Ventrella MC, Damatta, FM. 2010. What is the influence of ordinary epidermal cells and stomata on the leaf plasticity of coffee plants grown under full-sun and shady conditions?. *Braz. J. Biol.* 70 (4): 1083-1088.
- Primawati, R., & Daningsih, E. (2022). Distribusi dan Luas Stomata pada Enam Jenis Tanaman Dikotil (Distribution and Area of Stomata on Six Types of Dicot Plants). *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 27(1), 27–33. <https://doi.org/10.18343/jipi.27.1.27>
- Patil, L., Hamsa, N., Adivappa, M., Asangi, M., & Meena, H. (2018). Influence Of Rhizosphereic Biogeochemical Process Of Plant Nutrition. *Int. J. P Ure A Pp. B Iosci* , 6(4) , 506-515. <http://dx.doi.org/10.18782/2320-7051.6728>
- Pérez-De-Luque, A. (2017). *Interaction of nanomaterials with plants: what do we need for real applications in agriculture?* *Front. Environ. Sci.* 5, 12. doi: 10.3389/fenvs.2017.00012
- Qurrataayun, S., Rifai, Y., & Rante, H. (2022). Sintesis hijau nanopartikel perak (AgNP) menggunakan ekstrak daun serai (*Cymbopogon citratus*) sebagai bioreduktor. *Majalah Farmasi dan Farmakologi*, 26(3), 124–128.
- Qi, X., & Torii, K. U. (2018) Hormonal and environmental signals guiding stomatal development. *BMC Biology*, 16, 21. <https://doi.org/10.1186/s12915-018-0488-5>
- Rahbarian, R., Khavari Nejad, R., Ganjeali, A., Bagheri, A. & Najafi, F. (2011) Drought Stress Effects On Photosynthesis, Chlorophyll Fluorescence And Water Relations In Tolerant And Susceptible Chickpea (*Cicer Arietinum* L.) Genotypes. *Acta Biologica Cracov. Ser. Botánica* 53(1). <https://doi.org/10.2478/V10182-011-0007-2>.
- Rindyastuti, R. & Hapsari, L., 2017, Adaptasi Ekofisiologi Terhadap Iklim Tropis Kering: Studi Anatomi Daun Sepuluh Jenis Tumbuhan Berkayu, *Jurnal Biologi Indonesia*, 13(1): 1-14.

- Rohmah, E.F. Dan Saputro, T.B. (2016). Analisis Pertumbuhan Tanaman Kedelai (*Glycine max* L.) Varietas Grobogan Pada Kondisi Cekaman Genangan. *Jurnal Sains Dan Seniits* Vol. 5.
- Rasheed, A., Li, H., Tahir, M. M., Mahmood, A., Nawaz, M., Shah, A. N., Aslam, M. T., Negm, S., Moustafa, M., Hassan, M. U., & Wu, Z. (2022). The role of nanoparticles in plant biochemical, physiological, and molecular responses under drought stress: A review. *Frontiers in Plant Science*, 13, Article 976179. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.976179>
- Rohman F Dan Hamida R, (2017). Keragaman Karakter Morfologi, Stomata, Dan Klorofil Enam Varietas Tembakau Lokal Tulungagung. *Buletin Tanaman Tembakau, Serat Dan Minyak Industri*; 9(1): 15-23.
- Rosawanti.P., (2015) Respon Pertumbuhan Kedelai (*Glycine max* (L.) Meer.) Terhadap Cekaman Kekeringan, *Jurnal Ilmiah Pertanian Dan Kehutanan*, Vol 2 (1).
- Ricachenevsky et al. (2021). *A. thaliana* zinc accumulation in leaf trichomes is correlated with zinc concentration in leaves. *Sci. Rep.*, 11, 5278. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84508-y>
- Rehman, A.,, S., Sun, F., Peng, Z., Feng, K., Wang, N., Jia, Y., Pan, Z., He, S., Wang, L., Qayyum, A., Du, X., & Li, H. (2024). Exploring the nano-wonders: unveiling the role of Nanoparticles in enhancing salinity and drought tolerance in plants. *Frontiers in Plant Science*, 14, Article 1324176. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1324176>
- Sahri.J.R., Hidayah.N., Fadhilah.N., Fuadi.A., Abidin.I., Hannifa.W., & Wulandari.S (2022) Tanaman Pangan Sebagai Sumber Pendapatan Petani Di Kabupaten Karo. *Jurnal Inovasi Penelitian*, Vol 2 (10).
- Salsabila., Budiyanto, S. & Rosyida. (2024). Respons pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai (*Glycine max* L. Merrill) akibat cekaman kekeringan dan pemberian konsentrasi asam salisilat. *Jurnal Agro*, 11(1), 59-74. <https://doi.org/10.15575/28244>
- Soeslistyono, Agus S, dan Roedy RRI, 2017. Kajian Iklim Mikro Terhadap Berbagai Sistem Tanam dan Populasi Tanaman Jagung Manis (*Zea mays Saccharata* Sturt). *Jurnal Produksi Tanaman*; 5(1): 92-99.
- Sari.M.J., Turnip.M & Zakiah.Z (2023) Pengaruh Cekaman Kekeringan Terhadap Karakteristik Anatomi Daun Batang Dan Akar Tanaman *Nepenthes Mirabilis* (Lour.) Druce. *Buletin Kebun Raya*, Vol 26 (1) : 1-10. <https://ejournal.brin.go.id/bkr>
- Semenova, N. A., Burmistrov, D. E., Shumeyko, S. A., & Gudkov, S. V. (2024). Nanoparticle-Based Fertilizers As A Source Of Macro- And Micronutrients For Plant Growth: A Review. *Agronomy*, 14(8), 1646. <https://doi.org/10.3390/agronomy14081646>
- Shihab, M. Quraish. (2003) Tafsir Al Misbah Pesan-Pesan Dan Keserasian Al-Quran. Vol 11 Jakarta: Lentera Hati.
- Shihab, Q. (2002). Tafsir Al-Mishbah: Pesan, Kesan Dan Keserasian Al-Quran. Jakarta: Lentera Hati.
- Silaen.S (2021) Pengaruh Transpirasi Tumbuhan Dan Komponen Didalamnya, *Agroprimatech*, Vol 5 (1) : 14 - 20.
- Siregar.R (2023) Eksistensi Pertanian Menurut Al-Qur'an Dan Hadits (Analisis Kekuatan Ekonomi Petani Swasembada Dalam Masa Covid-19 Di

- Kabupaten Tapanuli Selatan). Al Fawatih. *Jurnal Kajian Al-Qur'an Dan Hadis*. Vol 4(1):156-171.
- Soeslistyono, Agus S, Dan Roedy Rri, (2017). Kajian Iklim Mikro Terhadap Berbagai Sistem Tanam Dan Populasi Tanaman Jagung Manis (*Zea Mays Saccharata Sturt*). *Jurnal Produksi Tanaman*; 5(1): 92-99.
- Sopandie,E (2013) *Fisiologi Adaptasi Tanaman Terhadap Cekaman Abiotik Terhadap Agroekosistem Tropika*. Kampus Ipb Taman Kencana Bogor. Bogor.
- Su, Y.; Ashworth, V.; Kim, C.; Adeleye, A.S.; Rolshausen, P.; Roper, C.; White, J.; Jassby, D (2019). Delivery, Uptake, Fate, And Transport Of Engineered Nanoparticles In Plants: A Critical Review And Data Analysis. *Environ. Sci. Nano*, 6, 2311–2331. <https://doi.org/10.1039/C9en00461k>
- Subaedah (2020) *Peningkatan Hasil Tanaman Kedelai Dengan Perbaikan Teknik Budidaya*. Fakultas Pertanian Universitas Muslim Indonesia. Makassar.
- Sukmawati T, Fitrihidajati H, Indah Nk.(2015). Penyerapan Karbon Dioksida Pada Tanaman Hutan Kota Di Surabaya. *Lenterabio*. 4 (1): 108–111.
- Sumarno, M. (2016). *Persyaratan Tumbuh Dan Wilayah Produksikedelai Di Indonesia*. Pusat Penelitian Dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor.
- Sun Y, Yan F, Cui X, Dan Liu F, (2018). Plasticity In Stomatal Size And Density Of Potato Leaves Under Different Irrigation And Phosphorus Regimes. *J Plant Physiol*; 171: 1248-1255.
- Sunar., Gustina.R.,& Nikmah (2021) Respn Pertumbuhan, Produkssi Dan Kandungan Seng (Zn) Tanaman Padi (*Oryxza Sativa L.*) Terhadap Teknik Pemberian Dan Dosis Pupuk Zinc Sulfat, *Jurnal Agrisia* Vol 14 (1).
- Sundari, T., & Atmaja, R. P. (2011). Bentuk sel epidermis, tipe dan indeks stomata 5 genotipe kedelai pada tingkat naungan berbeda. *Jurnal Biologi Indonesia*, 7(1), 67–79.
- Suhartina. (2003). Perkembangan dan deskripsi varietas unggul kedelai 1918–2002. Malang: Balai Penelitian Tanaman Kacang-kacangan dan Umbi-umbian.
- Stetefeld, J., McKenna, S. A., & Patel, T. R. (2016). Dynamic light scattering: a practical guide and applications in biomedical sciences. *Biophysical Reviews*, 8(4), 409–427. <https://doi.org/10.1007/s12551-016-0218-6>
- Tarek, A., & Hassan, El-R. (2017). Foliar Application: From Plant Nutrition To Biofortification. *Env Biodiv Soil Security*,1, 71-83.
- Toriq.A.R.M & Puspitawati.P.R (2023) Pengaruh Cekaman Kekeringan Terhadap Stomata Dan Trioma Pada Tanaman Semangka (*Citrullus Lanatus*). *Lenterabio*, Vol 12 (3) : 258-272.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development* (6th ed.). Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Tsegahun, E., & Aklilu, M. (2025). Neem (*Azadirachta indica*) leaf extract mediated synthesis of zinc oxide nanoparticles (ZnO NPs) and their antibacterial activity. *Discover Nano*, 20(1), 145. <https://doi.org/10.1186/s11671-025-04260-4>
- Timotiwu, P. B., Nurmiaty, N., Pramono, E., & Maysaroh, S. (2020). Growth and yield responses of four soybean (*Glycine max* (L.) Merrill.) cultivars to different methods of NPK fertilizer application. *Planta Tropika: Jurnal Agrosains (Journal of Agro Science)*, 8(1), 39-43.

- Usnawiyah & Khaidir (2017) *Produksi Kedelai Pada Lahan Marjinal*. Sefa Bumi Persada, Aceh Utara.
- Utami, Y. P., Imrawati, I., Jariah, A., Mustarin, R., Bone, M., & Bachri, N. (2024). Penetapan Sifat Fisikokimia Ekstrak Etanol Daun Mimba (*A. indica* A. Juss): Penelitian Eksperimen Berskala Laboratorium. *Health Information: Jurnal Penelitian*, 16(3), 351–360.
- Valle, G. E., & Lourenção, A. L. (2012). Attractiveness of adult whitefly *Bemisia tabaci* biotype B and oviposition preference on soybean genotypes with different trichome densities. *Journal of Pest Science*, 85: 431–442.
- Wahyuni, S., Purwanti, E., Hadi, S., & Fatmawati, D. (2019). *Anatomi Fisiologi Tumbuhan* (Vol. 1). Malang: Ummpress.
- Wang, X., Xie, H., Wang, P., and Yin, H. (2023). Nanoparticles in plants: uptake, transport and physiological activity in leaf and root. *Materials* 16, 3097. doi: 10.3390/ma16083097
- Yadav, A., Yadav, K., & Abd-Elsalam, K. A. (2023). Nanofertilizers: Types, Delivery And Advantages In Agricultural Sustainability. *Agrochemicals*, 2(2), 296–336. <https://doi.org/10.3390/Agrochemicals2020019>
- Yang, K.Y., Doxey, S., Mclean, J.E., Britt, D., Watson, A., Al Qassy, D., Jacobson, A., & Anderson, A.J. (2018) Remodeling Of Root Morphology By CuO And ZnO Nanoparticles: Effects On Drought Tolerance For Plants Colonized By A Beneficial Pseudomonad. *Botany* 96, 175-186, <http://doi.org/10.1139/Cjb-2017-0124>.
- Ying, S., Guan, Z., Ofoegbu, P. C., Clubb, P., Rico, C., He, F., & Hong, J. (2022). Green Synthesis Of Nanoparticles: Current Developments And Limitations. *Environmental Technology & Innovation*, 26, 102336. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102336>
- Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z., & Chen, S. (2021). Response mechanism of plants to drought stress. *Horticulturae*, 7(3), 50. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7030050>
- Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z., & Chen, S. (2021). Response mechanism of plants to drought stress. *Horticulturae*, 7(3), Article 50. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7030050>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran. 1 Perhitungan $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ untuk sintesis nanopartikel

Diketahui:

- Senyawa : Zinc sulfate heptahydrate ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
- Konsentrasi akhir : 0,05 M
- Volume larutan : 100 mL

$$m = M \times V \times Mr$$

$$m = 0,05 \times 0,1 \times 287,45$$

$$m = 1,43725 \text{ g}$$

Hasil

Massa Zinc sulfate heptahydrate yang dibutuhkan untuk membuat larutan 0,05 M sebanyak 100 mL adalah:

1,44 gram

Lampiran. 2. Perhitungan Taraf Zinc

2.1 Perhitungan Pembuatan Larutan Stok dan Pengenceran Nanopartikel

ZnO

Pembuatan larutan nanopartikel ZnO dilakukan melalui dua tahap, yaitu pembuatan larutan stok dan pengenceran menjadi berbagai konsentrasi perlakuan.

1. Pembuatan Larutan Stok 1000 ppm

Larutan stok dibuat dengan konsentrasi 1000 ppm dengan volume target larutan stok yang disiapkan adalah 180 mL (0,18 L), sehingga massa nanopartikel ZnO yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned}\text{Massa (mg)} &= \text{Konsentrasi (mg/L)} \times \text{Volume (L)} \\ &= 1000 \times 0,18 = 180 \text{ mg}\end{aligned}$$

2. Pengenceran Larutan Stok

Larutan stok 1000 ppm selanjutnya diencerkan untuk memperoleh konsentrasi 100 ppm, 200 ppm, dan 300 ppm. Perhitungan pengenceran menggunakan persamaan:

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

Keterangan:

C_1 = konsentrasi larutan stok (ppm)

V_1 = volume larutan stok yang diambil (mL)

C_2 = konsentrasi larutan yang diinginkan (ppm)

V_2 = volume akhir larutan (mL)

a. Konsentrasi 100 ppm

$$\begin{aligned}V_1 &= \frac{C_2 \times V_2}{C_1} \\ &= \frac{100 \times 180}{1000} \\ &= 18 \text{ mL}\end{aligned}$$

Sebanyak 18 mL larutan stok diambil, kemudian ditambahkan akuades hingga volume mencapai 180 mL.

b. Konsentrasi 200 ppm

$$\begin{aligned}V_1 &= \frac{200 \times 180}{1000} \\ &= 36 \text{ mL}\end{aligned}$$

Sebanyak 36 mL larutan stok diambil, kemudian ditambahkan akuades hingga volume mencapai 180 mL.

c. Konsentrasi 300 ppm

$$V_1 = \frac{300 \times 180}{1000}$$

$$= 54 \text{ mL}$$

Sebanyak 54 mL larutan stok diambil, kemudian ditambahkan akuades hingga volume mencapai 180 mL.

2.2 Perhitungan Pembuatan Larutan Zinc Sulfat ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 400 ppm

Pembuatan larutan zinc sulfat dilakukan dengan pendekatan berbasis unsur, di mana konsentrasi 400 ppm diartikan sebagai 400 mg Zn per liter larutan. Volume larutan yang akan dibuat adalah 180 mL (0,18 L).

1. Perhitungan Kebutuhan Zn

Jumlah Zn yang dibutuhkan dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Massa Zn (mg)} = \text{Konsentrasi (mg/L)} \times \text{Volume (L)}$$

$$= 400 \times 0,18 = 72 \text{ mg Zn}$$

2. Konversi ke $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Karena senyawa yang digunakan adalah $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (heptahidrat), maka dilakukan konversi berdasarkan massa molekul relatif (Mr).

- Mr Zn = 65,38
- Mr $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ = 287,54

Fraksi Zn dalam $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$:

$$\frac{65,38}{287,54} = 0,227$$

Massa $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ yang dibutuhkan:

$$\frac{72}{0,227} = 317,18 \text{ mg}$$

Sehingga, dibutuhkan 317 mg $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ untuk stock 180 mL.

Lampiran. 3 Perhitungan Kapasitas Lapang Tanah

3.1. Penentuan Kadar Air Tanah Udara-Kering

Sebanyak 100 g tanah udara-kering dioven pada suhu 105°C hingga berat konstan.

Data mentah tanah udara-kering

Sampel Berat awal (g) Berat setelah oven (g)

1	100	66,5
2	100	66,0
3	100	65,5
4	100	65,0
5	100	66,5
6	100	68,0

Rata-rata berat kering oven

$$\frac{66,5 + 66,0 + 65,5 + 65,0 + 66,5 + 68,0}{6}$$

$$= 66,25 \text{ g}$$

Perhitungan kadar air tanah udara-kering

Rumus:

$$KA = \frac{BB - BK}{BK} \times 100\%$$

Keterangan:

- KA = kadar air (%)
- BB = berat basah (g)
- BK = berat kering oven (g)

Substitusi:

$$\begin{aligned}
 KA &= \frac{100 - 66,25}{66,25} \times 100\% \\
 &= \frac{33,75}{66,25} \times 100\% \\
 &= 50,94\%
 \end{aligned}$$

Sehingga kadar air tanah udara-kering adalah:

50,94% atau 0,5094 g air/g tanah kering

3.2. Penentuan Berat Tanah Udara-Kering untuk Mendapatkan 5 kg Tanah Kering Oven

Target tanah kering oven dalam polybag:

$$5 \text{ kg} = 5000 \text{ g}$$

Karena tanah udara-kering masih mengandung air sebesar 50,94%, maka massa tanah udara-kering yang harus ditimbang dihitung menggunakan rumus:

Berat tanah udara-kering = Berat tanah kering oven + (kadar air tanah $\times$ berat tanah kering oven)

Maka:

$$\begin{aligned}
 \text{Berat tanah udara-kering} &= 5000 + (0,5094 \times 5000) \\
 &= 5000 + 2547 \\
 &= 7547 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Sehingga massa tanah udara-kering yang harus dimasukkan ke polybag agar diperoleh 5 kg tanah kering oven adalah:

$$\boxed{7547 \text{ g}}$$

3.3. Penentuan Kapasitas Lapang Tanah

Tanah dijenuhkan selama 2 hari, kemudian dioven pada suhu 105°C hingga berat konstan.

Data mentah tanah jenuh

Sampel Berat tanah jenuh (g) Berat setelah oven (g)

1	100	57,8
2	100	53,4
3	100	56,5
4	100	59,5
5	100	60,8

Rata-rata berat kering oven tanah jenuh

$$\frac{57,8 + 53,4 + 56,5 + 59,5 + 60,8}{5}$$

$$= 57,6 \text{ g}$$

Perhitungan kadar air kapasitas lapang

$$KA = \frac{100 - 57,6}{57,6} \times 100\%$$

$$= \frac{42,4}{57,6} \times 100\%$$

$$= 73,61\%$$

Sehingga kadar air kapasitas lapang tanah adalah:

$$73,61\% \text{ atau } 0,7361 \text{ g air/g tanah kering}$$

3.4. Perhitungan Selisih Air dari Tanah Udara-Kering ke Kapasitas Lapang

Jumlah air yang perlu ditambahkan untuk sampai pada kapasitas lapang diperoleh dari selisih kadar air kapasitas lapang dengan kadar air tanah udara-kering.

$$0,7361 - 0,5094 = 0,2267 \text{ g air/g tanah}$$

Artinya setiap 1 g tanah membutuhkan tambahan: 0,2267 g air untuk mencapai kapasitas lapang.

3.5. Perhitungan Kebutuhan Air untuk 5 kg Tanah

Target tanah kering oven: 5 kg = 5000 g

1. Perlakuan 100% Kapasitas Lapang

$$0,2267 \times 5000 = 1133,5 \text{ g air}$$

Karena densitas air = 1 g/mL maka 1133,5 g = 1133,5 mL

2. Perlakuan 75% Kapasitas Lapang

$$75\% \times 1134 = 850,5 \text{ mL}$$

3. Perlakuan 50% Kapasitas Lapang

$$50\% \times 1134 = 567 \text{ mL}$$

3.5. Ringkasan Volume Air Perlakuan

Perlakuan	Persentase kapasitas lapang	Volume air	Berat tanah setelah penyiraman
P1	100% KL	1134 mL	8,613 g
P2	75% KL	851 mL	8,398 g

P3	50% KL	567 mL	8,114 g
----	--------	--------	---------

Lampiran. 4 Data Hasil Pengamatan

Ukuran Panjang				
KODE	U1	U2	U3	RATA-RATA
P0K1	150,27	146,67	146,97	147,97
P1K1	176,07	174,00	173,80	174,62
P2K1	215,18	219,33	218,94	217,82
P3K1	193,51	191,13	190,34	191,66
P4K1	180,37	178,67	166,19	175,08
P0K2	159,53	150,67	154,47	154,89
P1K2	177,03	175,23	175,23	175,83
P2K2	183,76	185,69	184,96	184,80
P3K2	189,03	188,34	188,34	188,57
P4K2	173,84	172,86	172,86	173,19
P0K3	174,55	176,10	172,11	174,25
P1K3	176,29	175,99	165,98	172,75
P2K3	191,15	191,63	191,63	191,47
P3K3	184,56	184,57	184,57	184,57
P4K3	176,20	176,13	181,03	177,79

Kerapatan Stomata					
ULANGAN 1		ULANGAN 2		ULANGAN 3	
P0K1	412,044	P0K1	253,566	P0K1	332,805
P1K1	275,754	P1K1	301,11	P1K1	288,432
P2K1	345,484	P2K1	374,012	P2K1	359,748
P3K1	399,364	P3K1	294,772	P3K1	347,068
P4K1	332,806	P4K1	288,432	P4K1	310,619
P0K2	297,94	P0K2	206,022	P0K2	251,981

P1K2	332,806	P1K2	275,752	P1K2	304,279
P2K2	405,706	P2K2	323,296	P2K2	364,501
P3K2	240,888	P3K2	291,6	P3K2	266,244
P4K2	307,45	P4K2	247,226	P4K2	277,338
P0K3	237,72	P0K3	329,634	P0K3	283,677
P1K3	253,566	P1K3	250,396	P1K3	251,981
P2K3	266,242	P2K3	367,67	P2K3	316,956
P3K3	285,262	P3K3	326,468	P3K3	305,865
P4K3	253,566	P4K3	180,666	P4K3	217,116

Kerapatan Trikoma					
ULANGAN 1		ULANGAN 2		ULANGAN 3	
P0K1	177,496	P0K1	152,138	P0K1	164,817
P1K1	196,512	P1K1	228,208	P1K1	212,36
P2K1	345,482	P2K1	389,86	P2K1	367,671
P3K1	297,942	P3K1	285,264	P3K1	291,603
P4K1	237,718	P4K1	206,02	P4K1	221,869
P0K2	253,566	P0K2	225,04	P0K2	239,303
P1K2	256,734	P1K2	424,722	P1K2	340,728
P2K2	361,332	P2K2	481,776	P2K2	421,554
P3K2	291,602	P3K2	348,654	P3K2	320,128
P4K2	244,058	P4K2	266,244	P4K2	255,151
P0K3	320,13	P0K3	259,906	P0K3	290,018
P1K3	361,33	P1K3	345,484	P1K3	353,407
P2K3	393,028	P2K3	456,42	P2K3	424,724
P3K3	345,486	P3K3	396,198	P3K3	370,842
P4K3	342,316	P4K3	285,262	P4K3	313,789

Kode	Tebal Mesofil			
	I	II	III	rata-rata
P0K1	80,40	147,42	149,07	125,63
P1K1	119,03	156,53	156,87	144,14
P2K1	154,96	173,20	173,07	167,08
P3K1	139,29	168,53	169,00	158,94
P4K1	149,97	160,33	160,81	157,04
P0K2	148,95	132,77	133,20	138,31
P1K2	143,57	140,93	141,20	141,90
P2K2	141,67	156,33	156,67	151,56
P3K2	128,84	152,00	152,40	144,41
P4K2	127,83	145,20	145,60	139,54
P0K3	154,61	108,67	108,87	124,05
P1K3	124,93	118,40	118,67	120,67
P2K3	127,94	136,80	137,07	133,94
P3K3	138,04	130,64	130,87	133,18
P4K3	124,15	122,47	122,80	123,14

Kode	Tebal Kutikula			
	I	II	III	rata-rata
P0K1	2,84	4,87	4,81	4,17
P1K1	4,95	5,25	5,26	5,15
P2K1	4,46	5,84	5,71	5,33
P3K1	5,32	5,64	5,68	5,55
P4K1	4,72	5,33	5,37	5,14
P0K2	4,96	5,94	5,97	5,62
P1K2	5,41	6,46	6,33	6,06
P2K2	5,70	6,94	6,97	6,54
P3K2	6,41	6,76	6,78	6,65
P4K2	4,92	6,14	6,20	5,75
P0K3	6,84	7,14	7,27	7,08
P1K3	6,48	7,64	7,67	7,26
P2K3	8,37	8,44	8,47	8,43
P3K3	6,90	8,14	8,24	7,76
P4K3	6,70	7,54	7,58	7,27

Lampiran. 5 Data Hasil SPSS

5.1 Ukuran Stomata

1. Uji Normalitas

	gupuk	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
ukuran_stomata	0 ppm	,220	9	,200 [*]	,839	9	,056
	100 ppm	,173	9	,200 [*]	,903	9	,269
	200 ppm	,215	9	,200 [*]	,838	9	,055
	300 ppm	,232	9	,178	,817	9	,032
	Zn sulfat	,192	9	,200 [*]	,877	9	,146

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

	kompartemen	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
ukuran_stomata	P0K1	,221	3	,	,888	3	,775
	P1K1	,226	3	,	,883	3	,752
	P2K1	,199	3	,	,995	3	,868
	P3K1	,274	3	,	,944	3	,545
	P4K1	,198	3	,	,993	3	,870
	P0K2	,232	3	,	,886	3	,729
	P1K2	,265	3	,	,953	3	,583
	P2K2	,313	3	,	,894	3	,267
	P3K2	,375	3	,	,775	3	,057
	P4K2	,190	3	,	,997	3	,902
	P0K3	,223	3	,	,879	3	,721
	P1K3	,258	3	,	,962	3	,623
	P2K3	,288	3	,	,927	3	,479
	P3K3	,348	3	,	,831	3	,190
	P4K3	,253	3	,	,965	3	,638

a. Lilliefors Significance Correction

	ukuran_kakeangan	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
ukuran_stomata	100%	,204	15	,095	,935	15	,302
	75%	,223	15	,044	,905	15	,112
	50%	,144	15	,200 [*]	,959	15	,625

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

2. Uji Homogenitas

Levene's Test of Equality of Error Variances^{a,b}

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
ukuran_stomata	Based on Mean	1,658	14	30	,121
	Based on Median	,559	14	30	,880
	Based on Median and with adjusted df	,559	14	14,286	,868
	Based on trimmed mean	1,559	14	30	,152

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Dependent variable: ukuran_stomata

b. Design: Intercept + p + k + p * k

3. Uji Two-Way ANOVA

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ukuran_stomata

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	1443216,88 ^a	15	96214,459	283,507	,000
p	962,364	4	240,591	,709	,592
k	38,660	2	19,330	,057	,945
p * k	95,184	8	11,898	,035	1,000
Error	10181,183	30	339,373		
Total	1453398,063	45			

a. R Squared = ,993 (Adjusted R Squared = ,989)

5.2 Kerapatan Stomata

1. Uji Normalitas

Tests of Normality

	kapasitas_lapang	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
kerapatan_stomata	100%	,161	15	,200	,921	15	,196
	75%	,107	15	,200	,987	15	,997
	50%	,142	15	,200	,924	15	,222

^a. This is a lower bound of the true significance.
a. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality

	gupuk	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
kerapatan_stomata	0 ppm	,155	9	,200 [*]	,953	9	,720
	100 ppm	,209	9	,200 [*]	,911	9	,321
	200 ppm	,100	9	,200 [*]	,992	9	,998
	300 ppm	,187	9	,200 [*]	,974	9	,925
	Zn sulfat	,113	9	,200 [*]	,988	9	,992

^a. This is a lower bound of the true significance.
a. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality

	kombinasi	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
kerapatan_stomata	P0K1	,177	3		1,000	3	,974
	P1K1	,249	3		,989	3	,659
	P2K1	,186	3		,988	3	,919
	P3K1	,385	3		,750	3	,000
	P4K1	,317	3		,888	3	,348
	P0K2	,222	3		,985	3	,769
	P1K2	,337	3		,855	3	,253
	P2K2	,305	3		,907	3	,407
	P3K2	,330	3		,866	3	,295
	P4K2	,248	3		,970	3	,609
	P0K3	,301	3		,912	3	,424
	P1K3	,187	3		,988	3	,915
	P2K3	,292	3		,923	3	,463
	P3K3	,292	3		,923	3	,463
	P4K3	,389	3		,767	3	,085

a. Lilliefors Significance Correction

2. Uji Homogenitas

Levene's Test of Equality of Error Variances^{a,b}

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
kerapatan_stomata	Based on Mean	1,560	14	30	,150
	Based on Median	,656	14	30	,796
	Based on Median and with adjusted df	,656	14	16,450	,784
	Based on trimmed mean	1,487	14	30	,176

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Dependent variable: kerapatan_stomata

b. Design: cekaman_kekeringan * pupuk * cekaman_kekeringan * pupuk

3. Uji Two-Way ANOVA

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: kerapatan_stomata

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	6572738,98 ^a	15	438182,599	98,596	,000
cekaman_kekeringan	3551,887	2	1775,944	,400	,674
pupuk	35276,251	4	8819,063	1,984	,122
cekaman_kekeringan * pupuk	19941,043	8	2492,630	,561	,801
Error	133327,158	30	4444,239		
Total	6706066,139	45			

a. R Squared = ,980 (Adjusted R Squared = ,970)

5.3 Kerapatan Trikoma

1. Uji Normalitas

Tests of Normality

kerapatan_trikoma	kapasitas_isirang	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
kerapatan_trikoma	100%	,096	15	,200 [*]	,955	15	,815
	75%	,150	15	,200 [*]	,982	15	,983
	50%	,114	15	,200 [*]	,989	15	,996

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality

kerapatan_trikoma	pupuk	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
kerapatan_trikoma	0 ppm	,133	9	,200 [*]	,963	9	,830
	100 ppm	,224	9	,200 [*]	,892	9	,208
	200 ppm	,186	9	,200 [*]	,933	9	,510
	300 ppm	,154	9	,200 [*]	,954	9	,735
	Zn sulfate	,171	9	,200 [*]	,943	9	,618

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality

kerapatan_trikoma	kombinasi	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
kerapatan_trikoma	P0K1	,347	3	—	,835	3	,201
	P1K1	,288	3	—	,929	3	,483
	P2K1	,252	3	—	,905	3	,642
	P3K1	,246	3	—	,970	3	,665
	P4K1	,361	3	—	,808	3	,130
	P0K2	,260	3	—	,959	3	,608
	P1K2	,297	3	—	,917	3	,442
	P2K2	,204	3	—	,993	3	,843
	P3K2	,362	3	—	,805	3	,126
	P4K2	,244	3	—	,971	3	,678
	P0K3	,299	3	—	,916	3	,439
	P1K3	,253	3	—	,964	3	,636
	P2K3	,356	3	—	,816	3	,153
	P3K3	,253	3	—	,964	3	,637
	P4K3	,175	3	—	1,000	3	,999

a. Lilliefors Significance Correction

2. Uji Homogenitas

Levene's Test of Equality of Error Variances^{a,b}

kerapatan_trikoma		Levene Statistic		df1	df2	Sig.
		Based on Mean	Based on Median			
kerapatan_trikoma	Based on Mean	1,319	,344	14	30	,254
	Based on Median			14	30	,981
	Based on Median and with adjusted df			14	17,504	,976
	Based on trimmed mean	1,217		14	30	,314

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Dependent variable: kerapatan_trikoma

b. Design: Intercept + p * k + p * k

3. Uji Two-Way ANOVA

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: *kerapatan_trikoma*

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	726,068 ^a	15	48,405	60,011	,000
kekaman_kekeringan	,561	2	,280	,348	,709
pupuk	5,331	4	1,333	1,652	,187
kekaman_kekeringan * pupuk	19,477	8	2,435	3,019	,013
Error	24,198	30	,807		
Total	750,266	45			

a. R Squared = ,966 (Adjusted R Squared = ,952)

4. Uji Lanjut Duncan

kerapatan_trikoma

Duncan^{a,b}

kombinasi	N	1	2	3
P1K2	3	3,0710000		
P0K1	3	3,0866667		
P0K3	3	3,1790000	3,1790000	
P1K3	3	3,1933333	3,1933333	
P0K2	3	3,3020000	3,3020000	
P1K1	3	3,3833333	3,3833333	
P2K2	3	3,7366667	3,7366667	3,7366667
P3K3	3	3,8046667	3,8046667	3,8046667
P2K1	3	3,8966667	3,8966667	3,8966667
P3K1	3	3,9666667	3,9666667	3,9666667
P4K1	3	4,6366667	4,6366667	4,6366667
P2K3	3	4,7830000	4,7830000	4,7830000
P4K2	3		4,8783333	4,8783333
P4K3	3		4,8916667	4,8916667
P2K2	3			5,3806667
Sig.		,057	,057	,063

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = ,807.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.
b. Alpha = ,05.

kerapatan_trikoma

Duncan^{a,b}

kekaman_kekeringan	N	1
100%	15	3,7940000
50%	15	3,9703333
75%	15	4,0737333
Sig.		,429

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = ,807.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,000
b. Alpha = ,05.

kerapatan_trikoma

Duncan^{a,b}

pupuk	N	1	2	3
0 ppm	9	3,1892222		
100 ppm	9	3,2158889		
300 ppm	9	3,8360000	3,8360000	
200 ppm	9		4,6867778	4,6867778
Zn sulfate	9			4,8022222
Sig.		,159	,054	,787

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = ,807.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000
b. Alpha = ,05.

5.4 Tebal Mesofil

1. Uji Normalitas

Tests of Normality							
	kapasitas_lapang	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
total_mesofit	100%	,149	15	,200 [*]	,916	15	,168
	25%	,139	15	,200 [*]	,969	15	,838
	50%	,100	15	,200 [*]	,983	15	,987

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality							
	pupuk	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
total_mesofit	0 ppm	,256	9	,090	,806	9	,024
	100 ppm	,230	9	,187	,894	9	,219
	200 ppm	,133	9	,200 [*]	,958	9	,778
	300 ppm	,177	9	,200 [*]	,942	9	,608
	Zn surtat	,109	9	,200 [*]	,973	9	,917

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Tests of Normality							
	kombinasi	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
total_mesofit	P0K1	,178	3	,	1,000	3	,960
	P1K1	,354	3	,	,821	3	,165
	P2K1	,342	3	,	,845	3	,227
	P3K1	,353	3	,	,823	3	,169
	P4K1	,282	3	,	,936	3	,510
	P0K2	,243	3	,	,972	3	,880
	P1K2	,301	3	,	,911	3	,421
	P2K2	,278	3	,	,940	3	,527
	P3K2	,295	3	,	,932	3	,497
	P4K2	,204	3	,	,993	3	,846
	P0K3	,257	3	,	,961	3	,619
	P1K3	,302	3	,	,911	3	,420
	P2K3	,280	3	,	,937	3	,517
	P3K3	,285	3	,	,932	3	,499
	P4K3	,201	3	,	,994	3	,856

a. Lilliefors Significance Correction

2. Uji Homogenitas

Levene's Test of Equality of Error Variances ^{a,b}					
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
total_mesofit	Based on Mean	1,737	14	30	,100
	Based on Median	,758	14	30	,703
	Based on Median and with adjusted df	,758	14	14,971	,695
	Based on Trimmmed mean	1,661	14	30	,115

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Dependent Variable: total_mesofit

b. Design: cekaman_kekeringan * pupuk * cekaman_kekeringan * pupuk

3. Uji Two-Way ANOVA

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: total_mesofit					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	9281,034 ^a	14	591,502	2,431	,020
Intercept	884962,083	1	884962,083	3636,612	,000
kekeringan	81,710	2	40,855	,168	,846
pupuk	3937,939	4	984,485	4,046	,010
kekeringan * pupuk	4261,385	8	532,673	2,189	,059
Error	7300,438	30	243,348		
Total	900543,556	45			
Corrected Total	15581,473	44			

a. R Squared = ,531 (Adjusted R Squared = ,313)

4. Uji Lanjut Duncan

tebal_mesofil

Duncan^{a,b}

kombinasi	N	Subset		
		1	2	3
P0K1	3	118,1300000		
P3K2	3	124,0900000	124,0900000	
P3K3	3	124,3800000	124,3800000	
P4K2	3	129,9700000	129,9700000	129,9700000
P4K1	3	130,0433333	130,0433333	130,0433333
P4K3	3	130,2466667	130,2466667	130,2466667
P3K1	3	135,7900000	135,7900000	135,7900000
P2K1	3	138,0266667	138,0266667	138,0266667
P1K1	3	146,0700000	146,0700000	146,0700000
P2K2	3		149,7533333	149,7533333
P2K3	3		150,0900000	150,0900000
P1K2	3		153,8766667	153,8766667
P1K3	3		154,3366667	154,3366667
P0K2	3			159,0500000
P0K3	3			159,6700000
Sig.		,074	,057	,062

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 252,107.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.
b. Alpha = 0.05

tebal_mesofil

Duncan^{a,b}

pupuk	N	Subset		
		1	2	3
300 ppm	9	128,0866667		
Zn sulfate	9	130,0866667	130,0866667	
0 ppm	9		145,6166667	145,6166667
200 ppm	9		145,9566667	145,9566667
100 ppm	9			151,4277778
Sig.		,791	,053	,471

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 252,107.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.
b. Alpha = 0,05.

5.5 Tebal Kutikula

1. Uji Normalitas

Tests of Normality

	kapasitas_tanah	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
tebal_kutikula	100%	,093	15	,200 [*]	,977	15	,945
	75%	,138	15	,200 [*]	,953	15	,575
	50%	,183	15	,188	,908	15	,126

^a. This is a lower bound of the true significance.
a. Lilliefors Significance Correction.

Tests of Normality

	pupuk	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
tebal_kutikula	0 ppm	,190	9	,200 [*]	,920	9	,391
	100 ppm	,170	9	,200 [*]	,927	9	,454
	200 ppm	,108	9	,200 [*]	,984	9	,983
	300 ppm	,270	9	,057	,858	9	,092
	Zn sulfat	,110	9	,200 [*]	,960	9	,801

^a. This is a lower bound of the true significance.
a. Lilliefors Significance Correction.

Tests of Normality						
kombinasi	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
tebal_kutikula	P0K1	300	.3	.913	3	.427
	P1K1	219	.3	.987	3	.780
	P2K1	274	.3	.944	3	.546
	P3K1	319	.3	.885	3	.339
	P4K1	345	.3	.830	3	.210
	P0K2	224	.3	.905	3	.763
	P1K2	176	.3	1.000	3	.982
	P2K2	232	.3	.980	3	.726
	P3K2	253	.3	.964	3	.637
	P4K2	253	.3	.964	3	.637
	P0K3	175	.3	1.000	3	1.000
	P1K3	177	.3	1.000	3	.963
	P2K3	271	.3	.948	3	.560
	P3K3	262	.3	.935	3	.509
	P4K3	288	.3	.928	3	.480

a. Lilliefors Significance Correction

2. Uji Homogenitas

Levene's Test of Equality of Error Variances^{a,b}

tebal_kutikula		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
	Based on Mean	1,821	14	30	,128
	Based on Median	,639	14	30	,719
	Based on Median and with adjusted df	,639	14	13,746	,724
	Based on trimmed mean	1,492	14	30	,145

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Dependent Variable: tebal_kutikula

b. Design: cekaman_kekeringan * pupuk + cekaman_kekeringan * pupuk

3. Uji Two-Way ANOVA

Tests of Between-Subjects Effects

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	56,333 ^a	14	4,024	11,649	,000
Intercept	1759,188	1	1759,188	5392,699	,000
kekeringan	1,578	2	,789	2,284	,119
pupuk	46,914	4	11,729	33,953	,000
kekeringan * pupuk	7,841	8	,980	2,837	,019
Error	10,363	30	,345		
Total	1825,964	45			
Corrected Total	66,696	44			

a. R Squared = ,845 (Adjusted R Squared = ,772)

4. Uji Lanjut Duncan

tebal_kutikula

		Subset for alpha = 0.05							
Source	df	1	2	3	4	5	6	7	8
Duncan ^a	P0K1	3	194,8173						
	P1K1	3	212,3830	212,3608					
	P4K1	3	216,5967	216,5867					
	P0K2	3	238,7747	238,7747					
	P4K2	3	254,6227	254,6227	254,6227				
	P0K3	3	288,4327	288,4327	288,4327	288,4327			
	P3K1	3		284,7729	284,7729	284,7729			
	P4K3	3			314,8453	314,8453	314,8453		
	P3K2	3			323,2973	323,2973	323,2973		
	P1K2	3			338,6873	338,6873	338,6873		
	P1K3	3			351,8227	351,8227	351,8227		
	P2K1	3				366,6167	366,6167		
	P2K3	3					374,0107		
	P3K3	3						431,0627	
	P3K2	3						436,2667	
	Sig		,007	,176	,873	,055	,852	,099	,888

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3,000.

tebal_kutikula

Duncan^{a,b}

pupuk	N	Subset		
		1	2	3
0 ppm	9	4,88778		
100 ppm ZnO-NP	9	5,43667		
200 ppm ZnO-NP	9		6,41778	
300 ppm ZnO-NP	9		6,70000	
400 ppm Zn sulfat	9			7,82000
Sig.		,057	,317	1,000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Based on observed means.

The error term is Mean Square(Error) = ,345.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.

b. Alpha = ,05.

Lampiran. 6 Dokumentasi Penelitian

6.1 Proses Ekstraksi

			
Penimbangan Simplisia daun mimba 5 gram	Serbuk daun mimba dilarutkan dalam 100 mL deionized water dan dihomogenkan dengan magnetic stirrer (300 rpm, 40 menit, <80°C).	Penyaringan ekstrak	Ekstrak daun mimba

6.2 Proses Sintesis Nanopartikel Zinc

		
Penimbangan 3,27 gram Zinc	Zinc dilarutkan dalam 100 mL deionized water dan	Sintesis nanopartikel dilakukan dengan mencampurkan larutan Zn dan ekstrak mimba (2:2 v/v), lalu

Sulfate ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	dihomogenkan secara manual.	dihomogenkan (400 rpm, 40°C, 24 jam).
--	-----------------------------	---------------------------------------

6.3 Pembuatan Media Tanam dan Proses Penanaman

		
Media tanam terdiri atas tanah dan kompos fermentasi (75%:25%) dalam polybag 5 kg.	Media ditimbang hingga mencapai 5 kg/polybag.	Benih kedelai direndam 60 menit
		
ditanam 4 benih/polybag.	Pupuk fosfat diberikan saat tanam sebanyak 0,675 g/polybag.	

6.4 Pengamatan Anatomi Daun (Stomata)

			
Mengambil sampel daun kedelai dari setiap perlakuan.	Mengoleskan kutek pada permukaan bawah daun dan tunggu hingga kering	Kelupasan kutek diambil dengan selotip dan diletakkan pada gelas benda.	Preparat diamati dengan mikroskop Olympus CX23 pada perbesaran 400×.

	
Kerapatan stomata dihitung menggunakan ImageJ.	Mengukur (Ukuran stomata) menggunakan aplikasi ImageJ

6.5 Pengamatan Anatomi Daun (Trikoma)

			
Mengambil sampel daun kedelai dari setiap perlakuan	Mengoleskan kutek pada permukaan atas daun dan tunggu hingga kering	Kelupasan kutek diambil dengan selotip dan diletakkan pada gelas benda.	Preparat diamati dengan mikroskop Olympus CX23 pada perbesaran 400×.
			
Menghitung jumlah trikomata menggunakan aplikasi ImageJ (Kerapatan)			

6.6 Pengamatan Anatomi Daun (Mesofil & Kutikula)

		
Mengambil sampel daun kedelai dari setiap perlakuan	Irisan melintang tipis diletakkan pada gelas benda, ditetesi air, lalu ditutup dengan kaca penutup.	Mengamati tebal mesofil dan kutikula pada perbesaran 400×.
		
Mengukur tebal mesofil dan kutikula menggunakan aplikasi <i>Measurements</i>		

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

JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

IDENTITAS MAHASISWA

220602110012
SILFINA
SAINS DAN TEKNOLOGI
BIOLOGI
Prof. Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.
KIVAH AHA PUTRA, M.Pd.I
APLIKASI NANOFERTILIZER ZINC (ZN) EKSTRAK MIMBA (*Azadirachta indica*) TERHADAP KARAKTER ANATOMI DAUN TANAMAN KEDELAI (*GLYCINE MAX L*) PADA STRES KEKERINGAN

IDENTITAS BIMBINGAN

Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
06 Mei 2025	Prof. Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.	Diskusi topik penelitian	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
30 Juni 2025	Prof. Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.	Acc judul penelitian	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
27 Agustus 2025	Prof. Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.	Bimbingan Bab 1, 2 dan 3	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
10 September 2025	Prof. Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.	Acc Bab 1, 2 dan bimbingan bab 3	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
17 September 2025	Prof. Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.	Bimbingan Bab 3	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
24 September 2025	Prof. Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.	Acc Bab 3	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
14 Oktober 2025	KIVAH AHA PUTRA, M.Pd.I	Bimbingan agama ayat dan tafsir	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
15 Oktober 2025	KIVAH AHA PUTRA, M.Pd.I	Acc bimbingan agama	Ganjil 2025/2026	Sudah Dikoreksi
08 April 2026	Prof. Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.	Bimbingan hasil nanopartikel	Genap 2026/2027	Sudah Dikoreksi
22 Mei 2026	KIVAH AHA PUTRA, M.Pd.I	Bimbingan agama bab 4 integrasi dan tafsir	Genap 2026/2027	Sudah Dikoreksi
25 Mei 2026	KIVAH AHA PUTRA, M.Pd.I	Bimbingan agama Bab 4	Genap 2026/2027	Sudah Dikoreksi
26 Mei 2026	Prof. Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.	Bimbingan kepenulisan pembahasan	Genap 2026/2027	Sudah Dikoreksi
03 Juni 2026	KIVAH AHA PUTRA, M.Pd.I	Bimbingan Agama dan Acc ayat integrasi	Genap 2026/2027	Sudah Dikoreksi
03 Juni 2026	Prof. Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.	Acc Bab 4 dan keseluruhan	Genap 2026/2027	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2



KIVAH AHA PUTRA, M.Pd.I

Malang, _____
Dosen Pembimbing 1



Prof. Dr. EVIKA SANDI SAVITRI, M.P.





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

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

Form Checklist Plagiasi

Nama : Silfina
NIM : 220602110012
Judul : Aplikasi Nanofertilizer Zinc (Zn) Ekstrak Mimba (A. indica) Terhadap Karakter Anatomi Daun Tanaman Kedelai (Glycine max L.) Dega 1 Pada Stres Kekeringan

No	Tim Check plagiasi	Skor Plagiasi	TTD
1	Azizatur Rohmah, M.Sc	24 %	
2	Berry Fakhry Hanifa, M.Sc		
3	Bayu Agung Prahardika, M.Si		
4	Tyas Nyonita Punjungsari, M.Sc		
5	Maharani Retna Duhita, M.Sc., PhD.Med.Sc		

Mengetahui,
 Ketua Program Studi Biologi



Prof. Dr. Retno Susilowati, M.Si
 NIP. 19671113 199402 2 001