

**ANALISIS EKSPRESI GEN YANG RESPONSIF
TERHADAP CEKAMAN KEKERINGAN PADA
TANAMAN SENGON (*Paraserianthes falcataria* L.
Nielsen)**

SKRIPSI

untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S-1 pada Program Studi Biologi



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Disusun oleh:
Susanti Maharani Karalo
21106040062

**PROGRAM STUDI BIOLOGI
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2025**

LEMBAR PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-2531/Un.02/DST/PP.00.9/12/2025

Tugas Akhir dengan judul : Analisis Ekspresi Gen yang Responsif terhadap Cekaman Kekeringan pada Tanaman Sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nielsen)

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : SUSANTI MAHARANI KARALO
Nomor Induk Mahasiswa : 21106040062
Telah diujikan pada : Rabu, 17 Desember 2025
Nilai ujian Tugas Akhir : A/B

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Anti Damayanti, H S.Si., M.Mol.Bio.
SIGNED

Valid ID: 694510007e72d



Penguji I

Dr. Ika Nugraheni Ari Martiwi, S.Si., M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6949f3cb7992a



Penguji II

Anisa Nazera Fauzia, M.Biotech
SIGNED

Valid ID: 6944f520784bb



Yogyakarta, 17 Desember 2025

UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 694a1c503a069

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Yang bertandatangan di bawah ini :

Nama : Susanti Maharani Karalo
NIM : 21106040062
Jurusan : Biologi
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “Analisis Ekspresi Gen Yang Responsif Terhadap Kekeringan Pada Tanaman Sengon (*Paraserianthes falcataria* (L.) Nielsen)” merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjana di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 12 Desember 2025



Susanti Maharani Karalo
NIM. 21106040062

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA



SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir

Lamp :

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Susanti Maharani Karalo

NIM : 21106040062

Judul Skripsi : Analisis Ekspresi Gen yang Responsif terhadap Cekaman Kekeringan pada Tanaman Sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nielsen)

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Biologi.

Dengan ini kami berharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 11 Desember 2025

Menyetujui,
Pembimbing 1

Anti Damayanti, H S.Si., M.Mol.Bio.
NIP. 19810522 200604 2 005

Mengetahui,
Pembimbing 2

BRIN

Dr. rer. nat Bernadetta Rina Hastilestari S.Si., M.Sc
NIP. 19810921 200812 2 001



Dokumen ini ditandatangani secara elektronik menggunakan sertifikat dari BSR, silakan lakukan verifikasi pada dokumen elektronik yang dapat diunduh dengan melakukan scan QR Code

Analisis Ekspresi Gen yang Responsif Terhadap Cekaman Kekeringan pada Tanaman Sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nielsen)

Susanti Maharani Karalo
21106040062

ABSTRAK

Cekaman kekeringan merupakan salah satu faktor lingkungan utama yang membatasi pertumbuhan dan produktivitas tanaman kehutanan, termasuk sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nielsen). Tanaman merespons kondisi ini melalui perubahan regulasi ekspresi gen yang berperan dalam metabolisme, transpor air, sinyal hormon, dan respons stres. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola ekspresi gen yang responsif terhadap cekaman kekeringan pada *provenance* Flores, Bandung, dan Solomon yang diberi perlakuan cekaman kekeringan selama 3, 10, dan 14 hari setelah penghentian pengairan. Analisis ekspresi gen dilakukan menggunakan metode *quantitative* PCR (qPCR) dengan gen target *SOD*, *PLP*, *SUSY*, *ATP-β*, *TIP*, *AUX*, *WRKY*, dan *ADH*, serta gen *UBQ* sebagai gen *housekeeping*. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh gen target bersifat responsif terhadap cekaman kekeringan, yang ditunjukkan oleh adanya perubahan tingkat ekspresi relatif gen dibandingkan kondisi kontrol pada berbagai durasi cekaman. Perubahan ini mencakup *upregulation* maupun *downregulation*. Setiap gen dan *provenance* memiliki pola ekspresi yang berbeda terhadap durasi cekaman. *Provenance* Flores dan Bandung umumnya menunjukkan respons ekspresi yang lebih aktif pada fase awal atau pertengahan cekaman, sedangkan *provenance* Solomon cenderung menunjukkan penekanan ekspresi pada fase awal dan pertengahan, dengan peningkatan pada fase akhir untuk gen tertentu. Berdasarkan hasil dapat disimpulkan bahwa regulasi ekspresi gen berperan penting dalam mekanisme adaptasi sengon terhadap kondisi kekurangan air dan berpotensi dimanfaatkan sebagai dasar pengembangan *provenance* sengon toleran kekeringan.

Kata Kunci: cekaman kekeringan, ekspresi gen, gen responsif kekeringan, *Paraserianthes falcataria*, *quantitative*-PCR.

***Analysis of Gene Expression Responsive to Drought Stress in Sengon Trees
(Paraserianthes falcataria L. Nielsen)***

Susanti Maharani Karalo
21106040062

ABSTRACT

Drought stress is one of the main environmental factors that limit the growth and productivity of forest plants, including sengon (Paraserianthes falcataria L. Nielsen). Plants respond to these conditions through changes in the regulation of gene expression that play a role in metabolism, water transport, hormone signaling, and stress response. This study aims to analyze gene expression patterns responsive to drought stress in Flores, Bandung, and Solomon varieties subjected to drought stress for 3, 10, and 14 days after irrigation cessation. Gene expression analysis was performed using quantitative PCR (qPCR) with the target genes SOD, PLP, SUSY, ATP- β , TIP, AUX, WRKY, and ADH, as well as the UBQ gene as a housekeeping gene. The results showed that all target genes were responsive to drought stress, as indicated by changes in relative gene expression levels compared to control conditions at various stress durations. These changes included both upregulation and downregulation. Each gene and variety had a different expression pattern in response to the duration of stress. The Flores and Bandung varieties generally showed more active expression responses in the early or middle stages of stress, while the Solomon variety tended to show suppressed expression in the early and middle stages, with an increase in the final stage for certain genes. Based on the results, it can be concluded that gene expression regulation plays an important role in the adaptation mechanism of sengon to water shortage conditions and has the potential to be used as a basis for developing drought-tolerant sengon varieties.

Keywords: drought stress, drought-responsive genes, gene expression, Paraserianthes falcataria, quantitative-PCR.

HALAMAN MOTTO

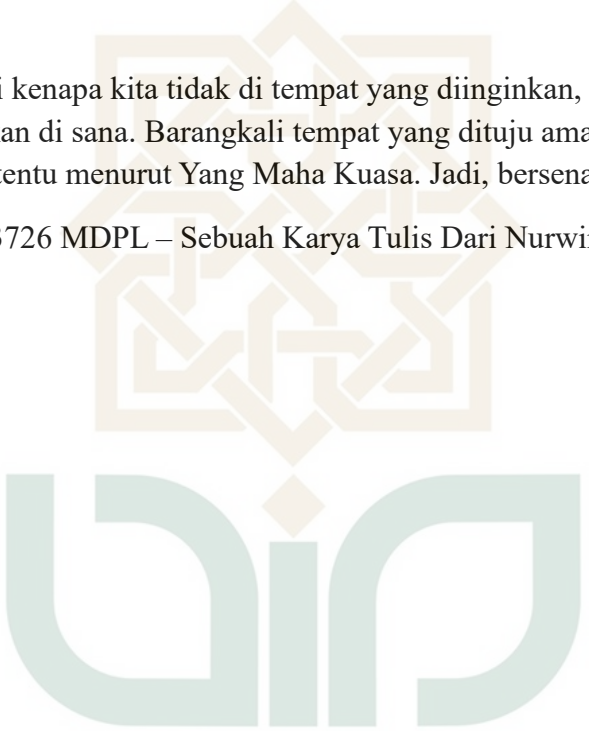
"Allahumma yassir wala tu'assir rabbi tammim bil khair"

“Ya Allah, mudahkanlah (urusanku) dan janganlah Engkau persulit. Tuhanku, sempurnakanlah dengan kebaikan”

(Hadist Shahih)

Barangkali kenapa kita tidak di tempat yang diinginkan, karena sesingkat rezekinya bukan di sana. Barangkali tempat yang dituju amat baik menurut kita, tapi belum tentu menurut Yang Maha Kuasa. Jadi, bersenanglah, bersyukur.

3726 MDPL – Sebuah Karya Tulis Dari Nurwina Sari



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan segala puji syukur kepada Allah SWT, serta atas dukungan dan doa dari orang-orang tercinta, penulis mampu menyelesaikan penulisan skripsi ini dengan baik. Oleh karena itu, skripsi ini penulis persembahkan kepada:

1. Papa dan Mama tercinta, Bapak Muhamad Karalo dan Ibu Iyus Rustini yang selalu tulus mendoakan, memberikan nasehat, dan juga semangat terbaik bagi penulis. Papa dan Mama yang selalu membukakan tangan dan bahunya serta banyak memberikan dukungan baik secara moral maupun material. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala pengorbanan, kasih sayang, kesabaran dan cinta yang diberikan menjadi motivasi terbesar bagi penulis untuk terus berjuang dan tidak menyerah.
2. Keluarga Besar Bapak H. Tarju dan Keluarga Besar Bapak Soleman Karalo, yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan doa tulus sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik.
3. Untuk diri penulis sendiri, Susanti Maharani Karalo terima kasih karena telah berjuang dan bertahan dengan perjalanan panjang ini, yang dipenuhi luka, rasa sakit, rapuh, senang serta kebahagiaan. Terima kasih karena selalu berusaha keras untuk menyelesaikan pendidikan Sarjana Strata Satu (S-1) ini, terima kasih karena tidak pernah menyerah meskipun jalan yang ditempuh terasa berat, mampu mengendalikan diri dari berbagai tekanan di luar keadaan dan tidak pernah memutuskan untuk berhenti. Setiap proses dalam penyusunan skripsi ini yang telah diupayakan dengan sebaik dan semaksimal mungkin, merupakan pencapaian yang patut dibanggakan untuk diri sendiri. Mari terus melangkah, bekerja lebih keras ke depannya, tetap semangat, dan jangan pernah menyerah.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Bismillahirrahmanirrahim

Alhamdulillah, segala puji syukur hanya bagi Allah SWT atas segala nikmat dan pertolongan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan skripsi yang berjudul **Analisis Ekspresi Gen Yang Responsif Terhadap Cekaman Kekeringan Pada Tanaman Sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nielsen)** dengan baik. Skripsi ini ditulis dalam rangka memenuhi syarat untuk mencapai gelar Sarjana Sains pada Program Studi Biologi Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Dalam penyelesaian studi dan penulisan skripsi ini, penulis banyak memperoleh bantuan baik pengajaran, bimbingan, dan arahan dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung. Untuk itu, penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang tak terhingga kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Muhammad Karalo dan Ibu Iyus Rustini, terimakasih atas segala kasih sayang yang diberikan dalam membesarkan dan membimbing penulis selama ini sehingga penulis dapat terus berjuang dalam meraih mimpi dan cita-cita. Kesuksesan dan segala hal baik yang kedepannya akan penulis dapatkan adalah karena dan untuk kalian berdua.
2. Dekan Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M. Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Ibu Dr. Ika Nugraheni Ari Martiwi, M.Si., selaku Ketua Program Studi Biologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta dan dosen penguji skripsi yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan masukan, kritik, dan saran yang membangun demi penyempurnaan skripsi ini.
4. Ibu Dr. rer. nat Bernadetta Rina Hastilestari S.Si., M.Sc. dan Ibu Anti Damayanti H, S.Si., M.Mol.Bio., selaku Pembimbing yang telah meluangkan waktu di tengah kesibukan untuk membimbing, memberikan kritik, saran pengarahan kepada penulis dalam proses penulisan skripsi ini.

5. Ibu Anisa Nazera F, Ph.D. selaku dosen penguji skripsi yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan masukan, kritik, dan saran yang membangun demi penyempurnaan skripsi ini.
6. Seluruh Dosen dan Staff Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta yang telah memberikan ilmu pengetahuan, pengalaman, dan pembelajaran berharga selama masa perkuliahan.
7. Badan Riset dan Inovasi Nasional, khususnya Pusat Riset Rekayasa Genetika yang telah memberikan kesempatan serta fasilitas untuk menjalankan kegiatan Tugas Akhir ini.
8. Keluarga Besar Bapak H. Tarju dan Keluarga Besar Bapak Soleman Karalo, yang senantiasa memberikan dukungan, semangat, dan doa dalam setiap tahap penyelesaian studi.
9. Teh Ziadaturrizqi, yang telah hadir dan menemani penulis sepanjang masa perkuliahan, sejak awal menjadi mahasiswa baru hingga proses penyusunan skripsi, bukan hanya sebagai seorang teman tetapi juga sebagai sosok saudara yang senantiasa ada dalam berbagai keadaan. Dengan penuh kesabaran dan ketulusan yang senantiasa memberikan dukungan, semangat, perhatian, serta bantuan yang berarti bagi penulis, baik di saat lelah, ragu, maupun hampir menyerah. Kehadirannya sebagai tempat berbagi cerita, keluh kesah, dan pikiran selama proses ini menjadi sumber kekuatan emosional yang sangat berharga. Doa, kepedulian, dan kebersamaan yang diberikan telah memberikan arti mendalam serta membantu penulis untuk tetap bertahan, bangkit, dan menyelesaikan skripsi ini hingga tuntas.
10. Kania Ardiya Maharani Putri dan Dimas Rolanda Agatha, selaku teman seperjuangan penulis dalam menjalani kegiatan Tugas Akhir di Cibinong. Dukungan serta kerja sama yang terjalin selama kegiatan tersebut memberikan semangat dan motivasi tambahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
11. Azka Zahra Dwi Maulani dan Regina Arisanti, selaku teman seperjuangan penulis selama menjalani kegiatan magang di Cibinong.

12. Kak Indah Nirmalasari, Gita Shanaya S, dan Danny Yuneo TW, selaku teman sepembimbingan Ibu Rina selama menjalani kegiatan Tugas Akhir di Cibinong, yang telah memberikan kebersamaan, dukungan, serta semangat selama proses pelaksanaan kegiatan magang dan penyusunan Tugas Akhir.
13. Fatkhiya Rahmawati FH dan Oryza Agustin, selaku teman seperjuangan sejak masa mahasiswa baru hingga saat ini, yang senantiasa kebersamai, memberikan dukungan, dan semangat kepada penulis.

Sebagai manusia biasa, penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih jauh dari kata sempurna, mengingat keterbatasan kemampuan serta ilmu pengetahuan yang dimiliki oleh penulis. Oleh karena itu, penulis dengan segala kerendahan hati memohon maaf atas segala kesalahan dan kekurangan yang terdapat dalam penulisan skripsi ini, serta terbuka dan bersedia menerima kritik dan saran yang bersifat membangun.

Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi siapa pun yang membacanya serta dapat menjadi kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 15 Desember 2025

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
HALAMAN PERSETUJUAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
HALAMAN MOTTO	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian	5
D. Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. Tanaman Sengon (<i>Paraserianthes falcataria</i> L. Nielsen).....	6
B. Cekaman Kekeringan dan Anomali Iklim di Indonesia.....	13
C. Respons Tanaman Terhadap Cekaman Kekeringan	15
D. Ekspresi Gen dan Regulasinya	18
E. Gen Responsif terhadap Cekaman Kekeringan.....	19
BAB III METODE PENELITIAN	24
A. Waktu dan Tempat Penelitian.....	24
B. Bahan dan Alat.....	24
C. Prosedur Kerja.....	25
1. Tanaman Uji	25
2. Pengamatan Morfologi Pasca Cekaman	26
3. Isolasi RNA	27
4. <i>NanoDrop</i>	28

5. Elektroforesis.....	28
6. Sintesis cDNA	29
7. Ekspresi Gen dengan qPCR.....	30
D. Analisis Data	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	33
A. Hasil Penelitian	33
1. Pengamatan Morfologi Tanaman Sengon.....	33
2. Isolasi RNA Total	36
3. Hasil <i>Quantitative</i> PCR	38
B. Pembahasan.....	65
1. Pengaruh Cekaman Kekeringan terhadap Pertumbuhan Tanaman Sengon.....	65
2. Analisis Kualitas RNA Tanaman Sengon	66
3. Pola Ekspresi Gen terhadap Cekaman Kekeringan	68
4. Hubungan antara Respons Fisiologis, Molekuler, dan Lingkungan	86
BAB V PENUTUP.....	87
A. Kesimpulan.....	87
B. Saran	87
DAFTAR PUSTAKA.....	89
LAMPIRAN.....	100

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Gen-Gen Responsif Kekeringan.....	20
Tabel 2. Sampel daun sengon dengan Lokasi, Perlakuan, dan Waktu	26
Tabel 3. Komposisi DNase I reaction solution.....	29
Tabel 4. Komposisi reverse transcription solution.....	30
Tabel 5. Komposisi quantitative PCR (qPCR).....	30
Tabel 6. Tahapan proses quantitative PCR (qPCR).....	31
Tabel 7. Susunan basa primer yang digunakan beserta T_m	31
Tabel 8. Data Pengamatan Morfologi Tanaman Sengon Pasca.....	34
Tabel 9. Konsentrasi RNA hasil pengukuran <i>NanoDrop</i>	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Pohon Sengon <i>Paraserianthes falcataria</i> (L) Nielsen (Haruni et al.,	6
Gambar 2. a) Batang Sengon <i>Paraserianthes falcataria</i> L. Nielsen (Haruni et al.,.....	7
Gambar 3. Buah Tanaman Sengon Sumber	8
Gambar 4. Skema sistem signaling network dalam proses adaptasi tanaman terhadap	16
Gambar 5. a) provenance Flores umur 1 tahun, b) provenance Flores umur 1 tahun 3	33
Gambar 6. Hasil Elektroforesis Isolasi RNA yang menunjukkan kualitas RNA.	36
Gambar 7. a) Kurva Amplifikasi, b) Kurva <i>Melting gene SUSY</i>	38
Gambar 8. Ekspresi relatif Gen <i>SUSY</i> Pada Provenance a) Flores, b) Bandung,.....	40
Gambar 9. a) Kurva Amplifikasi, b) Kurva <i>Melting gene PLP</i>	41
Gambar 10. Ekspresi relatif Gen <i>PLP</i> Pada Provenance a) Flores, b)	42
Gambar 11. a) Kurva Amplifikasi, b) Kurva <i>Melting gene SOD</i>	43
Gambar 12. Ekspresi relatif Gen <i>SOD</i> Pada Provenance a) Flores, b)	45
Gambar 13. a) Kurva Amplifikasi, b) Kurva <i>Melting gene ATP-β</i>	47
Gambar 14. Ekspresi relatif Gen <i>PATP β</i> Pada Provenance a) Flores, b)	49
Gambar 15. a) Kurva Amplifikasi, b) Kurva <i>Melting gene TIP</i>	50
Gambar 16. Ekspresi relatif Gen <i>TIP</i> Pada Provenance a) Flores, b)	52
Gambar 17. a) Kurva Amplifikasi, b) Kurva <i>Melting gene AUX</i>	54
Gambar 18. Ekspresi relatif Gen <i>AUX</i> Pada Provenance a) Flores, b).....	55
Gambar 19. a) Kurva Amplifikasi, b) Kurva <i>Melting gene WRKY</i>	57
Gambar 20. Ekspresi relatif Gen <i>WRKY</i> Pada Provenance a) Flores, b)	59
Gambar 21. a) Kurva Amplifikasi, b) Kurva <i>Melting gene ADH</i>	60
Gambar 22. Ekspresi relatif Gen <i>ADH</i> Pada Provenance a) Flores, b).....	62
Gambar 23. Hasil a) Kurva Amplifikasi, b) Kurva <i>Melting gene UBQ</i>	64
Gambar 24. Hasil a) Kurva Amplifikasi, b) Kurva <i>Melting gene</i> dari.....	65

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nielsen) atau yang lebih populer dengan nama botani *Albizia moluccana* Miq, *Albazia falcata* Backer, *Albizia falcataria* (L.) Fosberg adalah tanaman yang tumbuh di Kepulauan Maluku Indonesia dan termasuk dalam famili Fabaceae (Haruni *et al.*, 2011). Sengon sudah banyak dibudidayakan di Indonesia, karena sengon memiliki kemampuan untuk meningkatkan kualitas lingkungan seperti memperbaiki tata air dan meningkatkan kesuburan tanah. Selain itu, semua bagian pohon sengon mulai dari daun hingga perakarannya dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan yang menjadikan permintaan pasar kayu sengon terus meningkat (Wijayanto & Nurhayati, 2022)

Karakteristik kayu sengon sangat ideal untuk penggunaan industri dan sering digunakan untuk penanaman hutan dibandingkan dengan jenis kayu lainnya. Kayu pohon sengon ini kuat, berwarna terang, dan ringan dengan kepadatan antara 0,20 kg/m³ hingga 0,49 kg/m³ sehingga masyarakat Eropa menyukai karakter seperti itu (Hartati *et al.*, 2010). Saat ini, kayu sengon dijual kepada masyarakat dengan harga yang sangat menarik, karena harganya lebih murah dibandingkan dengan jenis kayu lainnya. Kayu sengon menawarkan pemanfaatan yang lebih beragam dibandingkan kayu *akasia* (Putra *et al.*, 2015). Oleh karena itu, kayu sengon banyak digunakan sebagai bahan baku dalam produksi berbagai jenis material kayu seperti partisi, pembuatan peti berbagai ukuran, konstruksi pelat beton, produksi korek api, pensil, papan partikel, dan kayu sengon ini secara khusus digunakan dalam produksi *pulp* dan kertas yang memiliki *market share* yang menjanjikan di pasar global (Kusuma *et al.*, 2020). Oleh karena itu, pohon sengon ini salah satu spesies yang cocok untuk ditanam di Hutan Tanaman Industri (HTI) dan hutan rakyat (Hartati *et al.*, 2008).

Pertumbuhan pohon sengon sangat cepat dan dapat dipanen setelah 5-7 tahun sejak ditanam. Pohon sengon biasanya tumbuh 7 m per tahun dan mencapai ketinggian rata-rata 25,5 m serta diameter batang 17 cm setelah 6 tahun. Setelah 15 tahun, pohon sengon dapat mencapai ketinggian 39 m dan diameter 63,5 cm. Pohon sengon dapat tumbuh dengan baik di tanah yang kurang subur karena hidup dalam simbiosis dengan bakteri *Rhizobium* yang mengikat nitrogen dan jamur mikoriza yang meningkatkan kandungan fosfor. Sengon menjadi salah satu pohon alternatif yang dapat ditanam secara ekstensif untuk tujuan rehabilitasi lahan-lahan marginal karena mampu beradaptasi dengan berbagai jenis tanah. Wardhani (2010) menunjukkan bahwa lahan dengan tanaman bermikoriza umumnya tahan terhadap kekeringan. Namun, ketahanan terhadap kekeringan ini tidak berarti sengon sepenuhnya kebal terhadap cekaman kekeringan (Wijayanto & Nurhayati, 2022).

Kekeringan yang berkepanjangan pada tahap pertumbuhan dan perkembangan sengon dapat meningkatkan risiko kematian bibit maupun pohon dewasa, menurunkan produksi serta kualitas tanaman, dan memicu tingginya serangan hama dan penyakit (Haruni *et al.*, 2011). Dampak ini turut berpengaruh pada beberapa aspek sosial-ekonomi, terutama menurunkan stabilitas ekonomi petani dan industri pengolahan sengon yang bergantung pada ketersediaan bahan baku berkualitas (Fadila *et al.*, 2021).

Kondisi perubahan iklim global telah memicu peningkatan kasus kekeringan di Indonesia. Berdasarkan data Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) periode 2019–Oktober 2024, terdapat 407 kasus kekeringan di Indonesia. Lonjakan besar pada tahun 2019 (124 kasus) dan tahun 2023 (189 kasus) secara kumulatif tercatat 407 kasus pada periode ini. Lonjakan tersebut berkaitan erat dengan siklus *El Nino* (BNPB, 2024). Pada fase *El Nino*, melemahnya angin pasat menyebabkan akumulasi air laut hangat di wilayah tengah hingga timur Samudra Pasifik. Suhu muka laut meningkat, yang mengakibatkan pergeseran pusat penguapan, pembentukan awan, dan curah hujan yang lebih tinggi ke arah timur sehingga curah hujan

yang lebih sedikit turun di Indonesia (Alfina *et al.*, 2025) . Fenomena ini menunjukkan bahwa keberlanjutan sistem pertanian dan kehutanan, termasuk budidaya sengon yang sangat bergantung pada air memunculkan ancaman yang nyata.

Untuk menjawab permasalahan tersebut, pendekatan teknis (teknologi) seperti penambahan irigasi atau pemupukan dapat membantu secara temporer. Namun, solusi jangka panjang memerlukan pendekatan yang lebih mendasar, yaitu dengan memahami bagaimana sengon merespons cekaman kekeringan pada tingkat molekuler dan genetik. Salah satu pendekatan ilmiah yang efektif adalah analisis ekspresi gen, yakni dengan melihat bagaimana gen bertindak dalam kondisi stres tertentu. Dengan metode pendekatan ini, gen yang bertindak atau berperan dalam respons tanaman terhadap kekeringan memungkinkan dapat diidentifikasi secara spesifik. Ini menjadi dasar untuk pemuliaan atau rekayasa genetika untuk menghasilkan *provenance* sengon yang lebih tahan terhadap kekeringan. Menurut Song *et al.* (2022) dan Bortoloto *et al.* (2020), analisis ekspresi gen dapat menghasilkan biomarker molekuler dan karakter kandidat gen yang toleran terhadap cekaman air. Oleh sebab itu, metode pendekatan ini sesuai untuk diterapkan pada sengon di Indonesia, yang memiliki nilai ekologi dan ekonomi yang tinggi.

Penelitian terkait ekspresi gen responsif terhadap cekaman kekeringan pada tanaman sengon masih sangat terbatas. Sebagian besar studi yang tersedia lebih banyak difokuskan pada respons tanaman terhadap stres biotik seperti serangan hama atau patogen, misalnya pada gen *HSP70* yang terekspresi tinggi saat infeksi bakteri. Namun, potensi sengon sebagai tanaman cepat tumbuh dan penyumbang utama bahan baku kehutanan membuat studi tentang stres abiotik khususnya kekeringan menjadi semakin relevan. Mengingat sengon menunjukkan tingkat keragaman genetik yang tinggi di berbagai wilayah Indonesia, tanaman ini berpeluang besar untuk dikembangkan sebagai *provenance* toleran kekeringan melalui pendekatan

molekuler, salah satunya dengan analisis ekspresi gen (Safitri *et al.*, 2020; Putri *et al.*, 2013).

Untuk menganalisis ekspresi gen secara kuantitatif dan spesifik, salah satu metode yang terbukti unggul adalah *quantitative Polymerase Chain Reaction* (qPCR). Metode ini memiliki keunggulan dalam hal sensitivitas tinggi, akurasi, dan kemampuan untuk membandingkan ekspresi gen dalam berbagai kondisi yang berbeda, serta dapat dilakukan dalam waktu yang relatif singkat (Aryunita Putri *et al.*, 2023). Menurut Nugroho *et al.* (2021) qPCR menjadi metode standar dalam penelitian ekspresi gen karena mampu mendeteksi perubahan ekspresi bahkan pada konsentrasi yang sangat rendah.

Dalam banyak studi, keunggulan ini memberikan peluang untuk diterapkan pada sengan dalam skema penelitian yang lebih terarah dan efisien, qPCR banyak digunakan untuk validasi ekspresi gen target seperti *DREB*, *RD29A*, *LEA*, *NCED*, dan *CAT*, terutama setelah hasil identifikasi awal diperoleh dari analisis ekspresi global (Wang *et al.*, 2021). Penelitian Çelik (2024) menggunakan qPCR pada kentang juga berhasil mengidentifikasi gen-gen responsif terhadap cekaman kekeringan dengan gen *StRD22* menunjukkan ekspresi tertinggi dan paling konsisten dalam mendukung toleransi terhadap kekeringan. Metode qPCR terbukti efektif untuk menganalisis ekspresi gen secara kuantitatif dan dapat digunakan sebagai dasar seleksi *provenance* tahan kekeringan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis ekspresi gen pada tanaman sengan yang diberi perlakuan kelompok cekaman kekeringan dan kelompok kontrol untuk identifikasi gen-gen responsif kekeringan yang relevan pada sengan. Dengan memahami mekanisme ekspresi gen yang mendukung adaptasi sengan terhadap kekeringan, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan *provenance* sengan yang lebih adaptif, dan menyediakan dasar molekuler untuk meningkatkan strategi budidaya sengan di lahan-lahan kering.

B. Rumusan Masalah

Bagaimana pola ekspresi gen responsif kekeringan pada tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nielsen) yang mengalami cekaman kekeringan dibandingkan dengan tanaman yang tumbuh dalam kondisi normal?

C. Tujuan Penelitian

Menganalisis dan membandingkan pola ekspresi gen responsif kekeringan pada tanaman sengon (*Paraserianthes falcataria* L. Nielsen) yang mengalami cekaman kekeringan dan yang tidak mengalami cekaman sebagai kontrol.

D. Manfaat Penelitian

Memberikan informasi dan menambah referensi ilmiah mengenai pola ekspresi gen pada tanaman sengon sebagai respons tanaman terhadap cekaman kekeringan

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh gen yang dianalisis merespons cekaman kekeringan dengan pola regulasi yang bersifat temporal dan berbeda antar *provenance*, menunjukkan tahapan adaptasi fisiologis tanaman dari respons awal hingga stres berkepanjangan. Pada fase adaptasi awal (hari ke-3), gen *AUX*, *ADH*, dan *ATP-β* berperan dominan dalam regulasi hormonal, metabolisme *anaerob*, dan penyediaan energi. Fase stres puncak (hari ke-10) ditandai oleh aktivasi kuat gen *SUSY*, *SOD*, *AUX*, dan *WRKY* yang mendukung keseimbangan energi, mitigasi stres oksidatif, dan regulasi transkripsi. Pada fase kelelahan fisiologis (hari ke-14), sebagian besar gen metabolik mengalami penurunan ekspresi, namun gen regulator seperti *WRKY* dan gen terkait transport air seperti *TIP* tetap atau meningkat, menunjukkan adaptasi terhadap stres kronis. Perbedaan pola ekspresi antar *provenance* menegaskan bahwa toleransi kekeringan pada sengon merupakan hasil interaksi kompleks berbagai gen responsif, dengan *provenance* Solomon menunjukkan respons molekuler yang lebih stabil dan berkelanjutan dibandingkan Bandung dan Flores.

B. Saran

Penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan analisis statistik inferensial seperti ANOVA, Tukey HSD, dan korelasi *Pearson* untuk menguji hubungan signifikan antar gen serta keterkaitannya dengan parameter morfologi. Penggunaan tanaman yang sama pada setiap waktu pengambilan sampel selama periode cekaman juga perlu dilakukan untuk meningkatkan akurasi, konsistensi, dan validitas hasil yang diperoleh. Selain itu, disarankan juga untuk analisis interaksi antar protein yang dikodekan oleh gen-gen yang diuji untuk memperdalam pemahaman mengenai mekanisme molekuler respon cekaman kekeringan pada sengon

agar dapat memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai jaringan regulasi dan fungsi biologis gen-gen dalam adaptasi tanaman terhadap cekaman kekeringan.



DAFTAR PUSTAKA

- Al Toriq, M. R., & Puspitawati, R. P. (2023). Pengaruh Cekaman Kekeringan Terhadap Stomata dan Trikoma pada Daun Tanaman Semangka (*Citrullus lanatus*). *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 12(3), 258–272. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v12n3.p258-272>
- Alfina, S. N. N., Oktasajidah, T., Ardana, A. R., Nurjannah, S. Q., & Rosa, A. (2025). Hidrologi dan Al-Qur ' an: Fenomena La-Nina dan Anomali Iklim Dalam Mempengaruhi Intensitas Hujan Serta Dampaknya Bagi Indonesia. *AL-IKLIL: Jurnal Dirasah Al-Qur'an Dan Tafsir*, 3(1), 1–17.
- Ali, S., Mir, R. A., & Haque, A. (2025). *Exploring physiological and molecular dynamics of drought stress responses in plants : challenges and future directions*. March, 1–20. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1565635>
- Andersson, D., Akrap, N., Svec, D., Godfrey, T. E., Kubista, M., & Sta, A. (2015). Properties of targeted preamplification in DNA and cDNA quantification. *Expert Review of Molecular Diagnostics*, 15(8), 1085–1100.
- Anggraeni, W. D. dan I. (2018). Serangan Boktor (*Xystrocera festiva Pascoe*) Dan Karat Tumor (*Uromycladium tepperianum* (Sacc.) McAlpine) Pada Sengon (*Falcataria moluccana* (Miq.) Di Perkebunan Teh Ciater. *Jurnal Pertanian*, 2(1), 59–64.
- Antara, N. Y., Sari, B. A., Trianes, J., Rastuti, M. R., Bastian, M., & lainnya. (2025). *Biologi molekuler untuk teknologi laboratorium medis*. Yayasan Bina Lentera Insan.
- Aryunita Putri, I., Achyar, A., Atifah, Y., & Hilda Putri, D. (2023). *SERAMBI Primary Design and Optimization of Dehydroascorbate reductase (DHAR) Gene Amplification in Oryza sativa L. Desain dan Optimasi Primer Amplifikasi Gen Dehydroascorbate reductase (DHAR) pada Oryza sativa L.* 8(3), <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/tools/primer-blast>
- Astuti, R., Saniyah, K., Anggraeni, R., & M.Nur, D. M. (2024). Dampak La Nina dan El Nino Bagi Kehidupan Masyarakat Indonesia. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 1(5), 69–75.
- Bashir, K., Todaka, D., Rasheed, S., Matsui, A., Ahmad, Z., Sako, K., Utsumi, Y., Vu, A. T., Tanaka, M., Takahashi, S., Ishida, J., Tsuboi, Y., Watanabe, S., Kanno, Y., Ando, E., & Shin, K. (2022). *Ethanol-Mediated Novel Survival Strategy against Drought Stress in Plants Editor-in-Chief ' s Choice*. 63(August), 1181–1192.
- Bashir, S. S., Hussain, A., Hussain, S. J., Ali, O., Nabi, S. Z., Dar, N. A., & Baloch, F. S. (2022). Plant drought stress tolerance : understanding its physiological , biochemical and molecular mechanisms. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 35(1), 1912–1925. <https://doi.org/10.1080/13102818.2021.2020161>
- Betti Kusuma, R., Kaskoyo, H., & Qurniati, R. (2020). Efisiensi Pemasaran Kayu Sengon (*Falcataria Moluccana*) Di Areal Hutan Rakyat Pekon Lengkokai, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung (Marketing Efficiency of Sengon (*Falcataria moluccana*) Wood in Lengkokai Village, Tanggamus District, Lampung Province). *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 17(2), 101–116. <https://doi.org/10.20886/jpht.2020.17.2.101-116>
- BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika). (2023). *Dampak El Nino terhadap Musim Kemarau di Indonesia*. Retrieved from <https://www.bmkg.go.id>
- Bortoloto, T. M., Fuchs-Ferraz, M. C. P., Kettener, K., Martins Rubio, L., González, E. R., de Souza, I. C. G., Oda, S., Rossini, B. C., & Marino, C. L. (2020). Identification of

- a molecular marker associated with lignotuber in Eucalyptus ssp. *Scientific Reports*, 10(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60308-8>
- Bouzroud, S., Gouiaa, S., Hu, N., Bernadac, A., Mila, I., Bendaou, N., Smouni, A., Bouzayen, M., & Zouine, M. (2018). Auxin Response Factors (ARFs) are potential mediators of auxin action in tomato response to biotic and abiotic stress (*Solanum lycopersicum*). *PLoS ONE*, 13(2), 1–20.
- BPDAS Solo. (2020). *Laporan tahunan Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Solo*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Bray, E. A. (2004). *Genes commonly regulated by water-deficit stress in Arabidopsis thaliana*. 55(407), 2331–2341. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh270>
- Buchori, A., Firmansyah, H., Anika, M., Ratnawati, S., Ulfa, U. T., & Zendrato, Y. (2023). Komparasi Metode Ekstraksi DNA Menggunakan Daun Padi: Review. *Agriculture and Biological Technology*, 1(1).
- Cahyo, A. N., Murti, R. H., & Putra, E. T. S. (2020). Dampak kekeringan terhadap proses fisiologis, pertumbuhan, dan hasil tanaman karet (*. Warta Perkaratan*, 39(1), 57–72.
- Çelik, S. (2024). Gene expression analysis of potato drought-responsive genes under drought stress in potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars. *PeerJ*, 12. <https://doi.org/10.7717/PEERJ.17116>
- Chen, S., Wang, X., Yu, Y. *et al.* WRKY transcription factor *RrWRKY56* negatively regulates salt and drought stress tolerance by suppressing *RrUSP* expression in *Rosa rugosa*. *BMC Plant Biol* 25, 1666 (2025). <https://doi.org/10.1186/s12870-025-07718-w>
- Choi, S. J., Lee, Z., Kim, S., Jeong, E., & Shim, J. S. (2023). *Modulation of lignin biosynthesis for drought tolerance in plants*. *April*, 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1116426>
- Dreyer, B. H., & Schippers, J. H. (2018). Copper-Zinc superoxide dismutases in plants: evolution, enzymatic properties, and beyond. *Annual plant reviews online*, 933–968. <https://doi.org/10.1002/9781119312994.apr0705>
- Edenberg, H. J. (2007). The genetics of alcohol metabolism: Role of alcohol dehydrogenase and aldehyde dehydrogenase variants. *Alcohol Research and Health*, 30(1), 5–13.
- Fadila, Y. Z., Andriyani, I., Purnomo, B. H., & Masudi, A. F. (2021). Provision of land resources for the sustainable sengon raw material industry in Bedadung Jember Watershed. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 11(3), 453–462. <https://doi.org/10.29244/jpsl.11.3.453-462>
- Fan, X., Zhang, Y., Gu, P., & Naz, M. (2025). Epitranscriptomic Control of Drought Tolerance in Rice: The Role of RNA Methylation. *Plants*, 14(13), 2002. <https://doi.org/10.3390/plants14132002>
- Fauzie, M. A. (2021). Determinasi Temperatur Annealing Optimum dan Uji Efisiensi Primer IFN terhadap Plasmid Rekombinan. *Jurnal IPB University Bogor Indonesia*, 1(1), 1–16.
- Fendrych, M., Leung, J., Friml, J., Fendrych, M., Leung, J., Friml, J., & Iaa, T. I. R. A. (2016). TIR1 / AFB-Aux / IAA auxin perception mediates rapid cell wall acidification and growth of Arabidopsis hypocotyls To cite this version : HAL Id : hal-01606950 TIR1 / AFB-Aux / IAA auxin perception mediates rapid cell wall acidification and growth of Arabi. *ELife*, 1–18. <https://doi.org/10.7554/eLife.19048>
- Feng, K., Yang, Z., Yan, Y., & Sun, N. (2023). Selection of suitable reference genes for qPCR normalization in different developmental stages of *Oenanth javanica*. *Front. Plant Sci*, December, 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1287589>
- Fleige, S., & Pfaffl, M. W. (2006). RNA integrity and the effect on the real-time qRT-PCR performance. *Molecular aspects of medicine*, 27(2-3), 126–139.

- Fleury, D., Jefferies, S., Kuchel, H., & Langridge, P. (2010). Genetic and genomic tools to improve drought tolerance in wheat. *Journal of experimental botany*, 61(12), 3211–3222.
- Fu, X., Tang, X., Liu, W. *et al.* Ubiquitination in plant biotic and abiotic stress. *Plant Growth Regul* **103**, 33–50 (2024). <https://doi.org/10.1007/s10725-023-01095-w>
- Ge, M., Tang, Y., Guan, Y., Lv, M., Zhou, C., Ma, H., & Lv, J. (2024). TaWRKY31, a novel WRKY transcription factor in wheat, participates in regulation of plant drought stress tolerance. *BMC Plant Biology*, 24(27), 1–18.
- Geovana, D. (2020). Mekanisme Ekspresi Gen Pada Organisme dan Enzim-enzim yang Berperan. *Universitas Muhammadiyah Prof.Dr.Hamka : Jakarta, January*, 6–26.
- Gibbs, D. J., Lee, S. C., Md Isa, N., Gramuglia, S., Fukao, T., Bassel, G. W., Correia, C. S., Corbineau, F., Theodoulou, F. L., Bailey-Serres, J., & Holdsworth, M. J. (2011). Homeostatic response to hypoxia is regulated by the N-end rule pathway in plants. *Nature*, 479(7373), 415–418. <https://doi.org/10.1038/nature10534>
- Guo, D., Ji, X., Li, Q., Zhang, G., & Yu, Y. (2020). Genome-wide characterisation of superoxide dismutase genes in grape and their expression analyses during berry development process. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 95(1), 53–64. <https://doi.org/10.1080/14620316.2019.1647799>
- Guo, H. J., Rahimi, N., & Tadi, P. (2023). Biochemistry, Ubiquitination. In *StatPearls*. StatPearls Publishing.
- Guo, A., Hao, J., Su, Y., Li, B., Zhao, N., Zhu, M., & Huang, Y. (2022). Two Aquaporin Genes, GhPIP2; 7 and GhTIP2; 1, Positively Regulate the Tolerance of Upland Cotton to Salt and Osmotic Stresses. 12(February), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.780486>
- Haghpanah, M., Hashemipetroudi, S., Arzani, A., & Araniti, F. (2024). Drought Tolerance in Plants: Physiological and Molecular Responses. *Plants*, 13(21), 2962. <https://doi.org/10.3390/plants13212962>
- Hao, B., Zhang, R., Zhang, C., Wen, N., Xia, Y., Zhao, Y., Li, Q., Qiao, L., & Li, W. (2024). Characterization of OsPIN2 mutants reveal novel roles for reactive oxygen species in modulating not only root gravitropism but also hypoxia tolerance in rice seedlings. *Plants*, 13(4), 476. <https://doi.org/10.3390/plants13040476>
- Haris, M. I., Takdir, N., Safitri, A., Habibi, A. R., Fatmawati, A., Pangestika, Y., Jannah, M., Palupi, D., Alfikri, M. R., Fitrianti, V., Burhan, R., Yulianti, M. E. P., Alkawi, & Harsachatri, D. O. (2025). *Biologi dasar*. Azzia Karya Bersama.
- Hartati, N. S., Sudarmonowati, E., & Sofyan, K. (2010). Molecular cloning of gene fragment encoding 4-coumarate: Coenzyme A ligase of Sengon (Paraserianthes falcata). *Indonesian Journal of Biotechnology*, 15(1), 20–28.
- Hartati, S., Sudarmonowati, E., Yong, W. P., Kaku, T., Kaida, R., Baba, K. I. I., & Hayashi, T. (2008). Overexpression of poplar cellulase accelerates growth and disturbs the closing movements of leaves in sengon. *Plant Physiology*, 147(2), 552–561. <https://doi.org/10.1104/pp.108.116970>
- Haruni, K., Eveliina, V., Maarit, K., & Markku, K. (2011). Paraserianthes falcata L. Nielsen: Ekologi, silvikultur dan produktivitas. In K. Haruni, V. Eveliina, K. Maarit, & K. Markku (Eds.), *Paraserianthes falcata (L.) Nielsen: Ekologi, silvikultur dan produktivitas*. Center for International Forestry Research. <https://doi.org/10.17528/cifor/003482>
- Haq, I. U., Ijaz, S., Hashem, A., Avila-Quezada, G. D., & Abd_Allah, E. F. (2023). Selection and validation of reference genes for normalizing qRT-PCR gene expression studies in Colletotrichum gloeosporioides and interaction with the guava plants. *Frontiers in Plant Science*, 14(November), 1–8.

<https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1235848>

- Hidayah, N. (2024). Regulasi Transkripsi dan Pasca Transkripsi pada Ekspresi Gen. *Jurnal Ilmu Kedokteran Dan Islam*.
- Indarto, Wahyuningsih, S., Pudjojono, M., Ahmad, H., & Ahmad, Y. (2014). Studi Pendahuluan tentang Penerapan Metode Ambang Bertingkat untuk Analisis Kekeringan Hidrologi pada 15 DAS di Wilayah Jawa Timur. *Jurnal Agroteknologi*, 08(02), 112–121. jurnal.unej.ac.id/index.php/JAGT/article/view/3040/2446
- Iqbal, N., Masood, A., Mubeen, H., Deebe, F., Waheed, R., Noreen, I., Zafar, A., & Khanum, P. (2023). Atp Synthase Subunits: Structure and Role in Plants Under Stress Conditions. *Pakistan Journal of Botany*, 55(5), 1661–1668. [https://doi.org/10.30848/PJB2023-5\(11\)](https://doi.org/10.30848/PJB2023-5(11))
- Istikorini, Y., & Sari, O. Y. (2020). Survey dan Identifikasi Penyebab Penyakit Damping-Off pada Sengon (*Paraserianthes falcataria*) di Persemaian Permanen IPB (The Cause of Sengon (*Paraserianthes falcataria*) Damping-off Disease: Survey and Identification in Permanent Nursery, IPB University). *Jurnal Sylva Lestari*, 8(1), 32–41. <https://doi.org/10.23960/jsl1832-41>
- Jedličková, V., Ebrahimi Naghani, S., & Robert, H. S. (2022). On the trail of auxin: Reporters and sensors. *The Plant cell*, 34(9), 3200–3213. <https://doi.org/10.1093/plcell/koac179>
- Jiang, Y., Liang, G., & Yu, D. (2012). Activated expression of *WRKY57* confers drought tolerance in *Arabidopsis*. *Molecular Plant*, 5(6), 1375–1388. <https://doi.org/10.1093/mp/sss080>
- Jiao, Y., Gong, X., Qi, K., Xie, Z., Wang, Y., Yuan, K., Pan, Q., & Zhang, S. (2022). Transcriptome analysis provides new ideas for studying the regulation of glucose - induced lignin biosynthesis in pear calli. *BMC Plant Biology*, 1–18. <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03658-x>
- Jing, H., Wilkinson, E. G., Sageman-furnas, K., & Strader, L. C. (2023). *Auxin and abiotic stress responses*. 74(22), 7000–7014.
- Kehutanan, D., & Nasional, B. S. (2004). Potensi hutan rakyat Indonesia 2003. *Pusat Inventarisasi dan Statistika Kehutanan. Deptan dan Direktorat Statistika Pertanian. Badan Statistika Nasional. Jakarta*.
- Khayatnezhad, M., & Gholamin, R. (2021). The Effect of Drought Stress on the Superoxide Dismutase and Chlorophyll Content in Durum Wheat Genotypes. *Advancements in Life Sciences*, 8(2), 119–123.
- Khoso, M. A., Hussain, A., Ritonga, F. N., Ali, Q., Channa, M. M., Alshegaihi, R. M., Meng, Q., Ali, M., & Zaman, W. (2022). *WRKY transcription factors (TFs): Molecular switches to regulate drought, temperature, and salinity stresses in plants*. November, 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1039329>
- Kliebenstein, D. J., Monde, R. A., & Last, R. L. (1998). Superoxide dismutase in *Arabidopsis*: an eclectic enzyme family with disparate regulation and protein localization. *Plant physiology*, 118(2), 637–650. <https://doi.org/10.1104/pp.118.2.637>
- Koonjul, P. K., Brandt, W. F., Farrant, J. M., & Lindsey, G. G. (1999). Inclusion of polyvinylpyrrolidone in the polymerase chain reaction reverses the inhibitory effects of polyphenolic contamination of RNA. 27(3), 915–916.
- Kooyers, N. J. (2015). The evolution of drought escape and avoidance in natural herbaceous populations. *Plant science*, 234, 155–162.
- Kuang, J., Yan, X., Genders, A. J., Granata, C., & Bishop, D. J. (2018). An Overview Of Technical Considerations When Using Quantitative Real-Time PCR Analysis Of Gene Expression In Human Exercise Research. *PloS one*, 13(5), e0196438. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196438>

- Kurowska, M. M., Wiecha, K., Gajek, K., & Szarejko, I. (2019). Drought stress and re-watering affect the abundance of TIP aquaporin transcripts in barley. *PLoS ONE*, 14(12), 1–16.
- Kusuma, R. B., Kaskoyo, H., & Qurniati, R. (2020). Efisiensi Pemasaran Kayu Sengon (*Falcataria moluccana*) Di Areal Hutan Rakyat Pekon Lengkokai, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung (Marketing Efficiency of Sengon (*Falcataria moluccana*) Wood in Lengkokai Village, Tanggamus District, Lampung Province). *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 17(2), 101–116. <https://doi.org/10.20886/jpht.2020.17.2.101-116>
- Leftley, N., Banda, J., Pandey, B., Bennett, M., & Voß, U. (2021). Uncovering How Auxin Optimizes Root Systems Stresses. *Cold Spring Harb Perspect Biol*, 1–16. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a040014>
- Li, G., Hu, F., Zhang, Y., Zhao, Y., Wang, H., Chen, T., & Cai, Y. (2021). Comparative genomic analysis of superoxide dismutase (SOD) genes in three Rosaceae species and expression analysis in *Pyrus bretschneideri*. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 27(1), 39–52. <https://doi.org/10.1007/s12298-021-00926-2>
- Li, R., Cui, K., Xie, Q., Xie, S., Chen, X., Zhuo, L., Cao, A., Shen, H., Jin, X., Wang, F., & Li, H. (2021). Selection of the reference genes for quantitative gene expression by RT-qPCR in the desert plant *Stipagrostis pennata*. *Scientific Reports*, 11(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-00833-2>
- Li, X., Guo, Y., Ling, Q., Guo, Z., Lei, Y., Feng, X., Wu, J., & Zhang, N. (2025). Advances in the Structure, Function, and Regulatory Mechanism of Plant Plasma Membrane Intrinsic Proteins. *Genes*, 16(1). <https://doi.org/10.3390/genes16010010>
- Liu, H., Wu, Y., Cai, J., Xu, L., Zhou, C., & Wang, C. (2025). Auxin Controls Root Gravitropic Response by Affecting Starch Granule Accumulation and Cell Wall Modification in Tomato. *Plants*, 14(1020).
- Liu, L., Yahaya, B. S., Li, J., & Wu, F. (2024). Enigmatic role of auxin response factors in plant growth and stress tolerance. *June*, 1–24. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1398818>
- Ma, Y., Li, Y., Wang, F., Qing, Q., Deng, C., Wang, H., & Song, Y. (2025). Screening and Identification of Drought-Tolerant Genes in Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Based on RNA-Seq Analysis. *Plants*, 14(10), 1471. <https://doi.org/10.3390/plants14101471>
- Maurel, C., Reizer, J., Schroeder, J. I., & Chrispeels, M. J. (1993). The vacuolar membrane protein. *The EMBO*, 12(6), 2241–2247.
- Mazumdar, R., Konwar, S., Borgohain, T., Das, D., Das, S., Dutta, A. J., Doley, S., Dutta, P., & Rabha, F. (2024). Drought Stress in Plants: A Review on Morphological, Physiological and Biochemical alterations with special reference to drought stress tolerance strategies. *Eco. Env. & Cons*, 30(4). <https://doi.org/10.53550/EEC.2024.v30i04.089>
- Mechanisms, D., Sachdev, S., Ansari, S. A., Ansari, M. I., & Fujita, M. (2021). Abiotic Stress and Reactive Oxygen Species: Generation, . *Antioxidants*, 10(277).
- Meinke, H., & Hammer, G. L. (1995). A peanut simulation model: II. Assessing regional production potential. *Agronomy journal*, 87(6), 1093–1099.
- Melfian, N., Sutriyono, R., & Aji, I. (2014). Pengaruh Intensitas Cahaya Dan Interval Penyiraman Terhadap Semai Tanaman Sengon Laut (*Paraserianthes falcataria* L. Nielsen). *Jurnal Studi Kehutanan Universitas Mataram*, 1(1), 1–9.
- Mercuriani, Sartika, I. (2006). Isolasi Gen-Gen Pada Tanaman Yang Ekspresinya Diinduksi Oleh Cekaman Lingkungan. *Seminar Nasional MIPA*, 1, 56–70. [http://eprints.uny.ac.id/11905/1/Makalah Ixora UNY.pdf](http://eprints.uny.ac.id/11905/1/Makalah%20Ixora%20UNY.pdf)

- Minarsih, H., & Pambudi, J. (2020). *Analisis ko-ekspresi gen-gen regulasi upstream dari gen Dehydrin di tanaman tebu (Saccharum officinarum L .) pada kondisi cekaman kekeringan*. 88(2), 141–150.
- Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in plant science*, 7(9), 405–410.
- Mohamed, N. G., Ramadan, A. M., Amer, M., Morsy, Y., Mohamed, R. A., Said, O. A. M., Alnufaei, A. A., Ibrahim, M. I. M., Hassanein, S. E., & Eissa, H. F. (2024). RNA editing-induced structural and functional adaptations of NAD9 in Triticum aestivum under drought stress. *Front. Plant Sci*, November, 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1490288>
- Mousa, M. A. A., Asiry, K. A., & Al-qurashi, A. D. (2025). *Genotypic variation in yield , physiological traits , and drought tolerance of quinoa (Chenopodium quinoa Willd .) under arid conditions*. November, 1–22. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1679444>
- Mudhor, M. A., Dewanti, P., Handoyo, T., & Ratnasari, T. (2022). Pengaruh Cekaman Kekeringan Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Padi Hitam Provenance Jeliteng. *Agrikultura*, 33(3), 247. <https://doi.org/10.24198/agrikultura.v33i3.40361>
- Mukmin, R. P., Hadi, S. N., Martiansyah, I., & No, J. S. (2019). Optimization and Efficiency of RNA Isolation Techniques from Leaves and Roots of Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq). *Agrin*, 23(2), 144–154.
- Myint, T., Ismawanto, S., Namasivayam, P., Napis, S., & Abdulla, M. P. (2015). *Expression Analysis of the ADH Genes in Arabidopsis Plants Exposed to PEG-induced Water Stress*. 3(2), 57–65. <https://doi.org/10.12691/wjar-3-2-4>
- Naemah, D., & Susilawati. (2015). Identifikasi Kesehatan Bibit Sengon (Paraserianthes falcata L.) di Persemaian. *Jurnal Hutan Tropis*, 3(9), 158–165.
- Nafisa, A. R., Sebastian, A., Wijayanti, P., & Dll. (2022). Optimasi Primer yang Menargetkan Gen OsAP2, OsERF3 dan OsEREBP2 menggunakan qPCR. *Bioeksperimen*, 8(1).
- Naikwade, P. V. (2023). Plant Responses to Drought Stress : Morphological, Physiological, Molecular Approaches, and Drought Resistance. In *Plant metabolites under environmental stress*.
- Nugroho, K., Widyajayantie, D., Ishtihaiyyah, S. A., & Apriliani, E. (2021). Pemanfaatan Teknologi Droplet Digital PCR (ddPCR) dalam Kegiatan Analisis Molekuler Tanaman. *Jurnal Bios Logos*, 11(1), 28. <https://doi.org/10.35799/jbl.11.1.2021.31101>
- Oktaviani, F., Sari, I. N., Handoyo, T., Siswoyo, T. A., & Ubaidillah, M. (2021). Pengaruh Cekaman Kekeringan Terhadap Ekspresi Gen Ketahanan *Oscata* dan *Osapx1* pada Padi Toleran Kekeringan. 8(July), 276–285.
- Osakabe, Y., Osakabe, K., & Shinozaki, K. (2014). *Response of plants to water stress*. 5(March), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00086>
- Paradisa, Y. B., Indrayani, S., Wibowo, H., Perdani, A. Y., Priadi, D., Deswina, P., Adi, E. B. M., Mulyaningsih, E. S., Sulistyowati, Y., Anggraheni, Y. G. D., & Nuro, F. (2022). Evaluasi 36 Genotipe Padi Gogo Terhadap Cekaman Biotik Dan Abiotik Pada Enam Lokasi Berbeda. *AGROSAINSTEK: Jurnal Ilmu Dan Teknologi Pertanian*, 6(1), 12–22. <https://doi.org/10.33019/agrosainstek.v6i1.286>
- Parihar, P., Jaiswal, J. P., Verma, A. K., & Francesca, S. (2025). *Sucrose synthase dynamics and its potential role in heat stress tolerance in cereals*. September, 1–22. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1652076>
- Perdana, K., Sukma, W., Agroteknologi, P., Pertanian, F., & Islam, U. (2015). *Mekanisme tumbuhan menghadapi kekeringan*. 3(6), 186–194.
- Pharmawati, M., Wirasiti, N. N., Wrasati, L. P., Biologi, S., Bukit, K., Bali, J., Pertanian, F. T., Udayana, U., & Jimbaran, K. B. (2017). Respon Morfologis dan Ekspresi Gen

- Aquaporin pada Padi IR 64 yang Mengalami Cekaman Kekeringan pada Fase Reproduksi. *JURNAL BIOS LOGOS*, 7(2), 60–66. <https://doi.org/https://doi.org/10.35799/jbl.7.2.2017.18579>
- Prijono, A., Rawana, Woosono, H. B., & Saputro, S. H. (2025). Pertumbuhan Tanaman Pokok Sengon Umur 30 Bulan pada Agroforestry Sederhana di Widodomartani Ngemplak Sleman Yogyakarta. *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*, 8, 119–123. <https://doi.org/10.30595/pspfs.v8i.1483>
- Putra, D. S. A., Lestari, D. A. H., & Affandi, M. I. (2015). Kelayakan Finansial Dan Prospek Pengembangan Agribisnis Sengon (*Albazia falcata*) Rakyat Di Kecamatan Kemiling Kota Bandar Lampung. *Jiia*, 3(4), 345–353.
- PUTRANTO, R. A., KUSWANHADI, ., & MONTORO, P. (2016). Respons molekuler *Hevea brasiliensis* ethylene response factors (HbERFs) sebagai marka ekspresi gen terhadap stimulasi ethephon pada klon-klon tanaman karet Molecular response of *Hevea brasiliensis* ethylene response factors (HbERFs) as expression marker ge. *E-Journal Menara Perkebunan*, 82(2). <https://doi.org/10.22302/ppbbi.jur.mp.v82i2.22>
- Putri, Y. A., Purwoko, B., & Meilasari, F. (2013). Studi Reklamasi Lahan Bekas Tambang Ballclay (Tanah Lempung) Dengan Sistem Perataan Tanah Dan Sistem Pot Pt . Clayindo Cakra Jaya. *Teknik Tambang*, 3(4), 149–160.
- Rao, M. J., Duan, M., Zhou, C., Jiao, J., Cheng, P., Yang, L., Wei, W., Shen, Q., Ji, P., Yang, Y., Conteh, O., Yan, D., Yuan, H., Rauf, A., Ai, J., & Zheng, B. (2025). Antioxidant Defense System in Plants: Reactive Oxygen Species Production, Signaling, and Scavenging During Abiotic Stress-Induced Oxidative Damage. *Horticulturae*, 11(5), 477. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11050477>
- Rini, D. S., Budiarjo, B., Gunawan, I., Agung, R. H., & Munazar, R. (2020). Mekanisme Respon Tanaman Terhadap Cekaman Kekeringan. *Berita Biologi*, 19(3B). <https://doi.org/10.14203/beritabiologi.v19i3b.4025>
- Ritha Lusian Karuwal. (2021). Analisis Kualitas Dan Kuantitas RNA Total Varietas Kacang Tunggak (*Vigna unguiculata* L. Walp) Asal Kabupaten Maluku Barat Daya. *BIOPENDIX: Jurnal Biologi, Pendidikan Dan Terapan*, 7(2), 102–108.
- Rowe, J. H., Topping, J. F., Liu, J., Lindsey, K., & Lindsey, K. (2016). Absciscic acid regulates root growth under osmotic stress conditions via an interacting hormonal network with cytokinin , ethylene and auxin. *New Phytologist*, 225–239.
- Roychoudhry, S., & Kepinski, S. (2022). Auxin in Root Development. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 14(4), 1–22. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a039933>
- Ruiz-villalba, A., Pelt-verkuil, E. Van, Gunst, Q. D., & Ruijter, J. M. (2017). Biomolecular Detection and Quanti fi cation Ampli fi cation of nonspeci fi c products in quantitative polymerase chain reactions (qPCR). *Biomolecular Detection and Quantification*, 14, 7–18. <https://doi.org/10.1016/j.bdq.2017.10.001>
- Sadowski, I., Bogutz, A., & Sadowski, I. (2020). Management of inadvertent template contamination in production of oligonucleotide qPCR reagents. *BioTechniques*, 69(6), 401–403. <https://doi.org/10.2144/btn-2020-0129>
- Safitri, B., Wahyudi, W., & Christophoros. (2020). DISTRIBUSI DIAMETER TANAMAN SENGON (*Paraserianthes falcata*) SEBAGAI INDIKATOR PERTUMBUHAN NORMAL. *Hutan Tropika*, 15(1), 43–50. <https://doi.org/10.36873/jht.v15i1.1713>
- Salehin, M., Li, B., Tang, M., Katz, E., Song, L., Ecker, J. R., Kliebenstein, D. J., & Estelle, M. Auxin-sensitive Aux/IAA proteins mediate drought tolerance in Arabidopsis by regulating glucosinolate levels. *Nature communications* 10(1), 4021 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12002-1>
- Satrio, R.D. et al. (2019). *Identifikasi gen responsif kekeringan pada padi*. IPB Repository.

- Shi, H., Liu, W., Yao, Y., Wei, Y., & Chan, Z. (2017). Alcohol dehydrogenase 1 (ADH1) confers both abiotic and biotic stress resistance in Arabidopsis. *Plant science : an international journal of experimental plant biology*, 262, 24–31. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.05.013>
- Shi, G., Liu, G., Liu, H., Xu, N., Yang, Q., Song, Z., Ye, W., & Wang, L. (2023). WRKY Transcriptional Factor II WRKY70 from *Iris laevigata* Enhances Drought and Salinity Tolerances in *Nicotiana tabacum*. *Molecular Sciences*, 24(16174).
- Shinozaki, K., & Yamaguchi-shinozaki, K. (2007). *Gene networks involved in drought stress response and tolerance*. 58(2), 221–227. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl164>
- Sihag, N., Singh, T., Sheoran, S., Singh, O., Malik, R., Kumar, L., & Singh, J. (2024). Role of RNA interference in drought stress management : physiological , biochemical and molecular approach. *Crop & Pasture Science*, 75. <https://doi.org/10.1071/CP23183>
- Siregar, I. Z., Yunanto, T., & Ratnasari, J. (2008). Kayu Sengon (Prospek Bisnis, Budidaya, Panen dan Pasca Panen). *Penebar Swadaya. Jakarta*.
- Song, F., Zhou, J., Quan, M., Xiao, L., Lu, W., Qin, S., Fang, Y., Wang, D., Li, P., Du, Q., El-Kassaby, Y. A., & Zhang, D. (2022). Transcriptome and association mapping revealed functional genes respond to drought stress in *Populus*. *Frontiers in Plant Science*, 13(July), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.829888>
- Song, J., Zeng, L., Chen, R., Wang, Y., & Zhou, Y. (2018). *In silico identification and expression analysis of superoxide dismutase (SOD) gene family in Medicago truncatula*. *Biotech* 8 (8): 348. <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1373-1>
- Spence, A., Ph, D., & Kim, W. (2016). Application Note 88 Plant / Fungi Sample Preparation Optimizing Bead Homogenization of Plant Tissues for DNA and RNA Isolation. *Norgen Biotek*, 4–7.
- Stein, O., & Granot, D. (2019). An overview of sucrose synthases in plants. *Frontiers in Plant Science*, 10(February), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00095>
- Su, W., Ren, Y., Wang, D., Su, Y., Feng, J., Zhang, C., Tang, H., Xu, L., Muhammad, K., & Que, Y. (2020). The alcohol dehydrogenase gene family in sugarcane and its involvement in cold stress regulation. *BMC Genomics*, 21(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s12864-020-06929-9>
- Su, X., Zhao, M., Zhou, R., Xu, C., Zhang, R., Li, R., & Wang, T. (2025). The Mulberry WRKY Transcription Factor *MaWRKYIIc7* Participates in Regulating Plant Drought Stress Tolerance. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(4), 1714. <https://doi.org/10.3390/ijms26041714>
- Sudhakar, C. (2018). A Novel WRKY Transcription Factor , MuWRKY3 (*Macrotyloma uniflorum* Lam . Verdc .) Enhances Drought Stress Tolerance in Transgenic Groundnut (*Arachis hypogaea* L .) Plants. *Frontiers in Plant Science*, 9(346), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00346>
- Sudhakaran, S., Mandlik, R., Kumawat, S., Raturi, G., Gupta, S. K., Shivaraj, S. M., Patil, G., Deshmukh, R., Sharma, T. R., & Sonah, H. (2024). Analisis evolusioner protein intrinsik tonoplas (TIP) mengungkap peran TIP3 dalam pengembangan benih tanaman. *Fisiologi tanaman dan biokimia: PPB*, 215, 109022. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.109022>
- Sun, X., Zhang, T., Zhang, S. *et al.* (2025). Transcriptional regulation and functional research of sucrose synthase in plant development. *Planta* 262, 65. <https://doi.org/10.1007/s00425-025-04786-y>
- Sytykiewicz, H. (2014). Differential expression of superoxide dismutase genes in aphid-stressed maize (*Zea mays* L.) seedlings. *PLoS One*, 9(4), e94847. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094847>
- Tang, Y., & Xia, P. (2025). WRKY transcription factors: Key regulators in plant drought

- tolerance. *Plant science : an international journal of experimental plant biology*, 359, 112647. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2025.112647>
- Tang, Y., & Xia, P. (2025). WRKY transcription factors: Key regulators in plant drought tolerance. *Plant science : an international journal of experimental plant biology*, 359, 112647. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2025.112647>
- Thomas, A., & Beena, R. (2024). Sucrose Metabolism in Plants under Drought Stress Condition : A Review. *Indian Journal of Agricultural Research*, 58(November), 943–952. <https://doi.org/10.18805/IJARE.A-5805.Submitted>
- Tian, X., Wang, H., Liu, J., Huang, L., Zheng, X., Li, Y., Sun, S., Ma, C., Zhao, H., & Zhao, P. (2025). Genome-Wide Identification of Luffa Sucrose Synthase Genes Reveals *LaSUS1*-Mediated Sugar Metabolism Boosting Drought Tolerance. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(12), 5675. <https://doi.org/10.3390/ijms26125675>
- Triyaningsih, T., Rini Nuringtyas, T., Purwestri, Y. A., & Sebastian, A. (2022). Optimasi Suhu Annealing qRT-PCR Gen WRKY45 Sebagai Deteksi GenKetahanan Terhadap Infeksi *Xanthomonas oryzae* pv. *oryzae* pada Padi Hitam Cempo Ireng. *Jurnal ILMU DASAR*, 23(1), 23–28.
- Tyagi, S., Shumayla, Singh, S.P., Upadhyay, S.K. (2019). Role of Superoxide Dismutases (SODs) in Stress Tolerance in Plants. In: Singh, S., Upadhyay, S., Pandey, A., Kumar, S. (eds) *Molecular Approaches in Plant Biology and Environmental Challenges. Energy, Environment, and Sustainability*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0690-1_3
- Utami, J. L., Kristanto, B. A., & Karno. (2020). Aplikasi silika dan penerapan cekaman kekeringan terkendali dalam upaya peningkatan produksi dan mutu simplisia binahong (*Anredera cordifolia*). *J. Agro Complex*, 4(1)(1), 69–78. <http://ejournal2.undip.ac.id/index.php/joac>
- Vennapusa, A. R., Somayanda, I. M., Doherty, C. J., & Jagadish, S. V. K. (2020). OPEN A universal method for high - quality RNA extraction from plant tissues rich in starch , proteins and fiber. *Scientific Reports*, 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73958-5>
- Verma, S., Negi, N. P., Pareek, S., & Mudgal, G. (2022). *Auxin response factors in plant adaptation to drought and salinity stress*. February. <https://doi.org/10.1111/ppl.13714>
- Vignesh, M.R., Palanisamy, S. Aquaporin and its effect on foliar uptake to overcome drought stress in plants. *Plant Physiol. Rep.* 26, 193–199 (2021). <https://doi.org/10.1007/s40502-021-00567-3>
- Wang, X., Mao, Z., Zhang, J., Hemat, M., Huang, M., Cai, J., ... & Jiang, D. (2019). Osmolyte accumulation plays important roles in the drought priming induced tolerance to post-anthesis drought stress in winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 166, 103804.
- Wang, Y., Zhao, W., Li, P., Zhao, J., Yang, Z., Huang, C., Huang, G., Xu, L., Liu, J., Zhao, Y., Zhang, Y., Deng, Z., & Zhao, X. (2025). Lignin Biosynthesis Driven by *CAD* Genes Underpins Drought Tolerance in Sugarcane: Genomic Insights for Crop Improvement. *Plants*, 14(17), 2735. <https://doi.org/10.3390/plants14172735>
- Wardhani, I. A. (2010). *PENGARUH SENGON (Paraserianthes falcataria) TERHADAP SIFAT-SIFAT BIOLOGI TANAH DI DESA SLAMPAREJO KABUPATEN MALANG*. Universitas Brawijaya.
- Warisno, K. D. (2009). *Investasi Sengon*. PT Gramedia Pustaka Utama
- Widyasari, W. B., Sugiharto, B., Ismayadi, C., Wahjudi, K., & Murdiyatmo, U. (2004). Isolasi Dan Analisis Gen Yang Responsif Terhadap Cekaman Kekeringan Pada Tebu. *Berkala Penelitian Hayati*, 9(2), 69–73. <https://doi.org/10.23869/bphjbr.9.2.20042>

- Wijayanto, N., & Nurhayati, N. (2022). Pertumbuhan Sengon Lokal (*Paraserianthes falcata* L. Nielsen) dan Produktivitas Padi Gogo (*Oryza sativa* L.) Provenance Inpago LIPI Go2 dalam Sistem Agroforestri. *Journal of Tropical Silviculture*, 13(02), 148–154. <https://doi.org/10.29244/j-siltrop.13.02.148-154>
- Wrzesińska, B., Kościelniak, K., Frąckowiak, P., Praczyk, T., & Obrepalska-Stęplowska, A. (2021). The analysis of reference genes expression stability in susceptible and resistant *Apera spica-venti* populations under herbicide treatment. *Scientific Reports*, 11(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-01615-6>
- Wu, Z., Liu, M., Xing, X., Wang, H., Li, D., Fei, X., Yang, D., Zeng, P., & Yang, W. (2025). A WRKY Transcription Factor, ZmWRKY82, Conferred Enhanced Drought Stress Tolerance in Maize.
- Xing, L., Zhang, Y., Xing, Y., Ge, M., Miao, H., & Huo, X. (2025). Reference genes selection and validation in yam by real-time quantitative polymerase chain reaction. *Scientific Reports*, 15(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-92244-w>
- Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z., & Chen, S. (2021). *Response Mechanism of Plants to Drought Stress*.
- Yu, H., Lv, H., Lu, F., Yang, Q., Duan, H., Li, W., & Fu, F. (2025). Expression evaluation of exogenous and endogenous alcohol dehydrogenase genes in transgenic *Arabidopsis*. *January*, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1476754>
- Zameer, R., Fatima, K., Azeem, F., ALgwaiz, H. I. M., Sadaqat, M., Rasheed, A., Batool, R., Shah, A. N., Zaynab, M., Shah, A. A., Attia, K. A., AlKahtani, M. D. F., & Fiaz, S. (2022). Genome-Wide Characterization of Superoxide Dismutase (SOD) Genes in *Daucus carota*: Novel Insights Into Structure, Expression, and Binding Interaction With Hydrogen Peroxide (H₂O₂) Under Abiotic Stress Condition. *Frontiers in Plant Science*, 13(June), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.870241>
- Zang, Y., Chen, J., Li, R., Shang, S., & Tang, X. (2020). Genome-wide analysis of the superoxide dismutase (SOD) gene family in *Zostera marina* and expression profile analysis under temperature stress. *PeerJ*, 8, e9063. <https://doi.org/10.7717/peerj.9063>
- Zhang, G., Ding, Q., & Wei, B. (2021). Genome-wide identification of superoxide dismutase gene families and their expression patterns under low-temperature, salt and osmotic stresses in watermelon and melon. *3 Biotech*, 11(4), 194. <https://doi.org/10.1007/s13205-021-02726-7>
- Zhang, Q., Gong, M., Xu, X., Li, H., & Deng, W. (2022). Roles of Auxin in the Growth, Development, and Stress Tolerance of Horticultural Plants. *Cells*, 11(17). <https://doi.org/10.3390/cells11172761>
- Zhang, X., Zhang, L., Chen, Y., Wang, S., Fang, Y., Zhang, X., ... & Xue, D. (2021). Genome-wide identification of the SOD gene family and expression analysis under drought and salt stress in barley. *Plant growth regulation*, 94(1), 49-60. <https://doi.org/10.1007/s10725-021-00695-8>
- Zhakypbek, Y., Belkozhaev, A. M., Kerimkulova, A., Kossalbayev, B. D., Murat, T., Tursbekov, S., Turyzbekova, G., Tursunova, A., Tastambek, K. T., & Allakhverdiev, S. I. (2025). MicroRNAs in Plant Genetic Regulation of Drought Tolerance and Their Function in Enhancing Stress Adaptation. *Plants*, 14(3), 410. <https://doi.org/10.3390/plants14030410>
- Zhou, J., Wang, X., & Li, Q. (2021). Transcriptome analysis reveals molecular mechanisms of drought response in *Populus trichocarpa*. *Tree Physiology*, 41(9), 1607–1620. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpaa165>
- Zhu, Q., Han, Y., Yang, W., Zhu, H., Li, G., Xu, K., & Long, M. (2023). Genome-wide identification and characterization of ADH gene family and the expression under

different abiotic stresses in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Frontiers in Genetics*, 14(September), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fgene.2023.1186192>

Zou, Z., Zheng, Y., Chang, L., Zou, L., Zhang, L., Min, Y., & Zhao, Y. (2024). TIP aquaporins in *Cyperus esculentus* : genome- wide identification , expression profiles, subcellular localizations , and interaction patterns. *BMC Plant Biology*, 24(298), 1–13.

