

MANIPULASI SEL SOMATIK TANAMAN KELOR SECARA *IN VITRO* UNTUK MENGHASILKAN KLON UNGGUL TOLERAN CEKAMAN ALUMINIUM

RUDIYANTO



PROGRAM STUDI PEMULIAAN DAN BIOTEKNOLOGI TANAMAN
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

PERNYATAAN MENGENAI DISERTASI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa disertasi dengan judul “Manipulasi Sel Somatik Tanaman Kelor (*Moringa oleifera* Linn.) secara *in vitro* untuk Menghasilkan Klon Unggul Toleran Cekaman Aluminium” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir disertasi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Juli 2024

Rudiyanto
NIM. A263184102

- Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

RINGKASAN

RUDIYANTO. Manipulasi Sel Somatik Tanaman Kelor (*Moringa oleifera* Linn.) Secara *in vitro* untuk Menghasilkan Klon Unggul Toleran Cekaman Aluminium. Dibimbing oleh: AGUS PURWITO, DARDA EFENDI, ANDRI FADILLAH MARTIN.

Tanaman kelor (*Moringa oleifera* Linn.) merupakan tanaman yang memiliki banyak potensi diantaranya sebagai sumber pangan alternatif fungsional, pakan ternak maupun sebagai tanaman obat. Perbanyakkan konvensional pada tanaman kelor memiliki beberapa kendala diantaranya: terbatasnya sumber tanaman induk, lambatnya pertumbuhan akar, serta rentan serangan hama dan penyakit. Perbanyakkan melalui kultur *in vitro* memiliki beberapa keunggulan antara lain mampu menghasilkan bibit yang seragam, bebas hama dan penyakit, tidak tergantung musim dan dapat diproduksi dalam waktu relatif singkat.

Menurunnya luas lahan subur di Indonesia karena industrialisasi dan alih fungsi lahan menjadi tantangan dalam pengembangan tanaman kelor. Pemanfaatan lahan suboptimal bisa menjadi alternatif dalam pengembangan tanaman kelor di masa depan. Namun demikian, pemanfaatan lahan suboptimal ini dibatasi beberapa faktor abiotik, diantaranya pH tanah yang rendah serta kejenuhan Aluminium (Al) yang tinggi sehingga menyebabkan, proses fotosintesis dan pertumbuhan tanaman terhambat yang pada akhirnya mengurangi hasil panen tanaman kelor.

Pemanfaatan lahan suboptimal dapat dilakukan dengan menanam klon kelor unggul yang toleran terhadap cekaman abiotik. Untuk mendapatkan tanaman kelor unggul tersebut dapat dilakukan melalui seleksi dari berbagai genotipe tanaman kelor. Keragaman genetik pada tanaman *M. oleifera* dapat dihasilkan melalui introduksi, hibridisasi serta manipulasi sel somatik secara *in vitro* dengan iradiasi sinar Gamma. Perubahan genetik yang terjadi pada kultur *M. oleifera* yang telah diradiasi dapat di deteksi menggunakan marka ISSR.

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan keragaman genetik tanaman kelor melalui introduksi beberapa aksesori tanaman *M. oleifera* serta melalui iradiasi sinar gamma pada beberapa dosis radiasi sehingga didapatkan nilai LD₅₀. Konfirmasi terjadinya mutasi dilakukan dengan marka molekuler ISSR. Seleksi aksesori dan kandidat mutan yang toleran terhadap aluminium dilakukan secara *in vitro* dengan pemberian AlCl₃ dalam media kultur. Seleksi dilakukan untuk memilih kandidat aksesori dan kandidat mutan unggul dengan hasil tinggi dalam kondisi lingkungan tercekam Al. Kultur tanaman yg toleran dapat dilihat dari peubah pengamatan serta kandungan asam organik yang dihasilkan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk menghasilkan kandidat aksesori dan mutan kelor unggul yang toleran terhadap cekaman AlCl₃, sehingga ke depan, lahan suboptimal tanah masam yang masih potensial dapat dimanfaatkan sebagai lahan pengembangan tanaman *M. oleifera*.

Jenis dan kadar sitokinin mempengaruhi pertumbuhan tunas *M. oleifera* yang dikultur secara *in vitro* pada media DKW. Demikian pula jenis dan kadar auksin juga mempengaruhi pembentukan akarnya. Medium yang diberi tambahan Kinetin 1 mg L⁻¹ merupakan media terbaik untuk pertumbuhan tunas, jumlah tunas dan jumlah tangkai daun. Auksin IAA sebesar 1,0 dan 2,0 mg L⁻¹ menghasilkan jumlah akar dan panjang akar terbanyak. Penggunaan *Temporary Immersion*



System (TIS) dengan media DKW dengan penambahan 200 mg L⁻¹ asam amino proline dapat meningkatkan proliferasi kalus embrio somatic *M. oleifera* dengan hasil bobot kalus dan volume kalus tiga kali lipat daripada media padat dan sepuluh kali lipat dibandingkan dengan media cair.

Akresi Bogor dan Blora relatif lebih toleran terhadap perlakuan AlCl₃, hal ini ditunjukkan dengan jumlah tunas yang lebih tinggi meskipun mendapatkan perlakuan 100–250 mg L⁻¹ AlCl₃, dan tidak berbeda nyata jika dibandingkan dengan kontrol (tanpa perlakuan AlCl₃). Hasil analisa Py-GCMS menunjukkan bahwa terdapat 21 metabolit yang mempunyai korelasi positif dengan asam asetat yang 8 diantaranya menunjukkan korelasi yang sangat tinggi.

Iradiasi sinar Gamma pada kultur tunas kelor menghasilkan keragaman baru yang terlihat dari dendrogram marka molekular ISSR dimana perlakuan 10 dan 20 Gy memiliki keragaman genetik yang berbeda dengan *wildtypenya*. Nilai LD₅₀ kultur *M. oleifera* yang diradiasi dengan sinar Gamma terdapat pada dosis 15,38 Gy dan berada pada 1 klaster genotype yang sama pada dosis 10-20 Gy. Iradiasi sinar Gamma pada dosis 10 dan 20 Gy dapat menghasilkan mutan yang toleran terhadap perlakuan cekaman 100 dan 250 mg L⁻¹ AlCl₃ yang terlihat dari nilai peubah pengamatan dan kandungan asam organiknya. Kandungan asam sitrat, dan asam asetat yang tinggi pada kultur *M. oleifera* hasil iradiasi sinar gamma dapat digunakan sebagai penciri terhadap toleransi AlCl₃

Kata kunci: AlCl₃, asam organik, cekaman abiotik, iradiasi sinar gamma

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

SUMMARY

RUDIYANTO. *Somatic Cells Manipulation of Moringa oleifera on in vitro Culture to Produce Prominent Clones Tolerance to Aluminum Stress*. Supervised by: AGUS PURWITO, DARDA EFENDI, ANDRI FADILLAH MARTIN.

The drumstick plant (*Moringa oleifera* Linn.) has a lot of potential, including as a functional alternative food source, a provender, and a medicinal plant. Conventional propagation of Moringa plants has several obstacles, such as limited explant, lethargic growth, and susceptibility to various pests and diseases. Propagation through in vitro culture has numerous advantages, including the ability to generate uniforms that are free of pests and diseases, do not depend on the season, and can be produced in a relatively short timeframe.

The declining arable land in Indonesia due to industrialization and conversion has become a challenge in cultivating Moringa plants. Suboptimal land could be an alternative to developing Moringa plants in the future. However, suboptimal land is limited by several abiotic factors, including low-pH soil and high aluminum (Al) saturation, that inhibit the photosynthesis process and plant growth, ultimately reducing the yield of Moringa plants.

Suboptimal land can be used for cultivating prominent Moringa clones that are tolerant to abiotic stress. To obtain prominent Moringa plants, it can be done through selection from various genotypes of Moringa plants. Genetic diversity in *M. oleifera* plants can be generated through the introduction, hybridization, and manipulation of somatic cells in in vitro culture using gamma-ray irradiation. Genetic alterations that occur in *M. oleifera* cultures when irradiated can be detected using ISSR markers.

This research was carried out to obtain the genetic diversity of Moringa plants through the introduction of several *M. oleifera* plant accessions and through gamma ray irradiation at several radiation doses so that the LD₅₀ value could be obtained. Confirmation of the mutation was carried out using the ISSR marker. Selection of accessions and candidate mutants that are tolerant to aluminum was carried out in vitro by adding AlCl₃ to the culture medium. Selection was carried out to select accession candidates and prominent mutant candidates with high yields in Al-stressed conditions. Tolerant plant cultures can be seen from the observed variables and the organic acid content produced. The results of this research will be useful for producing prominent Moringa accession and mutant candidates that are tolerant to AlCl₃ stress. In the future, suboptimal land with acidic soils can be used for developing *M. oleifera* plants.

The type and concentration of cytokinins influence the growth of *M. oleifera* shoots in vitro cultured on DKW medium. On the other hand, the type and level of auxin also affect root formation. Medium supplemented with 1 mg L⁻¹ Kinetin is the best medium for shoot growth, number of shoots, and number of petioles. Auxin IAA, at 1.0 and 2.0 mg L⁻¹, produced the highest number of roots and root length. The application of the Temporary Immersion System (TIS) with DKW media supplemented with 200 mg L⁻¹ of proline increased the proliferation of the *M. oleifera* somatic embryo callus. The callus weight and volume produced were three times higher than in solid media and ten times higher than in liquid media.



The Bogor and Blora accessions were relatively tolerant to AlCl_3 , as indicated by a higher number of shoots even though they were cultured on medium with 100–250 mg L^{-1} AlCl_3 treatment. These variable values were not significantly different from the control media (without AlCl_3 treatment). The Py-GCMS analysis results show that there are 21 metabolites that have a positive correlation with acetic acid, of which 8 indicate a high correlation.

Gamma-ray irradiation on *M. oleifera* shoot cultures produced new genetic diversity that was represented by the ISSR marker dendrogram, which showed the 10 and 20 Gy had different genetic cluster from the wild type. The LD_{50} value of *M. oleifera* culture irradiated with gamma rays was 15.38 Gy, which was in the same genotype cluster as 10–20 Gy. Gamma-ray irradiation at doses of 10 and 20 Gy can produce candidate mutants that are tolerant to 100 and 250 mg L^{-1} AlCl_3 , as seen from the observed variable values and organic acid content. The high content of citric acid and acetic acid in *M. oleifera* cultures resulting from gamma irradiation can be used as an indicator of AlCl_3 tolerance.

Keywords: AlCl_3 , organic acid, abiotic stress, gamma ray radiation



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2024
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

MANIPULASI SEL SOMATIK TANAMAN KELOR SECARA *IN VITRO* UNTUK MENGHASILKAN KLON UNGGUL TOLERAN CEKAMAN ALUMINIUM

RUDIYANTO

Disertasi
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Pemuliaan dan Bioteknologi Tanaman

**PROGRAM STUDI PEMULIAAN DAN BIOTEKNOLOGI TANAMAN
FAKULTAS PERTANIAN
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2024**



@Hak cipta milik IPB University

IPB University

Promotor Luar Komisi pada Ujian Tertutup:

1. Dr. Ir. Diny Dinarti, M.Si.
(Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, IPB University)
2. Dr. Dyah Retno Wulandari, S.Si., M.Si.
(Pusat Riset Botani Terapan ORHL BRIN)

Promotor Luar Komisi pada Sidang Promosi:

1. Dr. Muhammad Imam Surya, SP., M.Si.
(Plt. Kepala Pusat Riset Botani Terapan ORHL BRIN)
2. Dr. Ir. Diny Dinarti, M.Si.
(Departemen Agronomi dan Hortikultura, Fakultas Pertanian, IPB University)

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



Judul Disertasi: Manipulasi Sel Somatik Tanaman Kelor (*Moringa oleifera* Linn.)
Secara *in vitro* untuk Menghasilkan Klon Unggul Toleran
Cekaman Aluminium

Nama : Rudyanto
NIM : A263184102

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Disetujui oleh

Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Agus Purwito, MSc.Agr.



Pembimbing 2:
Prof. Dr. Ir. Darda Efendi, M.Si.

Pembimbing 3:
Dr. Andri Fadillah Martin, S.Si., M.Si.



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Dr. Ir. Yudiwanti Wahyu E.K., M.S.
NIP 196311071988112001

Dekan Fakultas Pertanian:
Prof. Dr. Ir. Suryo Wiyono, M.Sc.Agr.
NIP 196902121992031003



Tanggal Ujian Tertutup: 9 Juli 2024
Tanggal Sidang Promosi: 25 Juli 2024

Tanggal Lulus: 06 AUG 2024

PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Tema yang dipilih dalam penelitian yang dilaksanakan sejak bulan Oktober 2021 sampai bulan Desember 2022 ini ialah bagian dari Disertasi, dengan judul “Manipulasi Sel Somatik Tanaman Kelor (*Moringa oleifera* Linn.) Secara *in vitro* untuk Menghasilkan Klon Unggul Toleran Cekaman Aluminium”.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing: Prof. Dr. Ir. Agus Purwito, MSc.Agr, Prof. Dr. Ir. Darda Efendi, M.Si. dan Dr. Andri Fadillah Martin, S.Si., M.Si. yang telah banyak memberikan saran serta masukan dalam kegiatan penelitian, penulisan KTI maupun penyusunan Disertasi ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Dr. Ir. Diny Dinarti, MSi dan Dr. Dyah Retno Wulandari, S.Si., M.Si. selaku penguji luar komisi pembimbing. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada Manajemen Talenta BRIN yang telah memberikan support pendanaan dan beasiswa by Riset dan (Almh) Dr. Ir. Tri Muji Ermayanti (BRIN) selaku Pembimbing Institusi yang telah banyak memberikan bimbingan dan pendampingan, baik dalam pelaksanaan kegiatan penelitian maupun penyusunan proposal dan KTI. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayahanda Bpk Supari dan Almh. Ibu Rumiya serta seluruh keluarga: Rini Dwi Kusuma Astuti, S.Pd. (istri), Muhammad Sa'id As-Tsaqif, Fathimah Ashfiya dan Almh. Afifah Nur Azizah (anak) yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya selama penulis menjalankan studi S3.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Juli 2024

Rudiyanto



DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	ii
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR LAMPIRAN	iv
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	4
1.6 Kebaruan (Novelty)	6
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tanaman kelor (<i>Moringa oleifera</i> Linn.)	7
2.2 Cekaman Aluminium	9
2.3 Kultur Kalus <i>M. oleifera</i> secara in vitro	10
2.4 Manipulasi Sel Somatik Melalui Iradiasi Sinar Gamma	11
2.5 Deteksi Mutan dengan Marka Molekular	12
2.6 Seleksi Tanaman Toleran AlCl ₃ dan Analisis Asam Organik	13
METODE	14
3.1 Optimasi Pertumbuhan Tunas secara <i>in vitro</i>	14
3.2 Induksi dan Proliferasi Kalus Embrio Somatik	15
3.3 Induksi Mutasi Menggunakan Iradiasi Sinar Gamma	17
3.4 Seleksi Toleransi terhadap Cekaman Aluminium (AlCl ₃)	19
HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Optimasi Pertumbuhan Tunas <i>M. oleifera</i> secara <i>in vitro</i>	21
4.2 Induksi dan Proliferasi Kalus Embrio Somatik <i>M. oleifera</i>	30
4.3 Induksi Mutasi Menggunakan Iradiasi Sinar Gamma dan Konfirmasi Terjadinya Mutasi Menggunakan Marka ISSR	40
4.4 Uji Toleransi Aluminium pada Empat Aksesori <i>M. oleifera</i> Linn Terhadap Cekaman Aluminium (AlCl ₃) pada Kultur <i>in vitro</i>	43
4.5 Uji Toleransi Aluminium Pada Kultur <i>M. oleifera</i> Hasil Iradiasi Sinar Gamma Secara <i>in vitro</i>	49
4.6 Pembahasan Umum	53
SIMPULAN DAN SARAN	58
5.1 Simpulan	58
5.2 Saran	58
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	69
RIWAYAT HIDUP	72

DAFTAR TABEL

1	Primer yang digunakan untuk mengamplifikasi ISSR dari DNA sampel <i>M. oleifera</i>	18
2	Hasil Anova perlakuan media dasar yang dikombinasikan dengan aksesori terhadap tinggi tunas, jumlah tunas, jumlah tangkai daun, jumlah akar, bobot basah dan bobot kering kultur Kelor (<i>M. oleifera</i>) umur 6 minggu	22
3	Rata-rata tinggi tunas, jumlah tunas, jumlah tangkai daun dan jumlah akar empat aksesori kultur Kelor (<i>M. oleifera</i>) umur 6 minggu pada berbagai media dasar	22
4	Rata-rata bobot basah dan bobot kering empat aksesori kultur Kelor (<i>M. oleifera</i>) umur 6 minggu pada berbagai media dasar	23
5	Analisis sidik ragam (ANOVA) pada peubah tinggi tunas, jumlah tunas, jumlah tangkai daun, dan jumlah akar <i>M. oleifera</i> yang dikultur pada media DKW dengan penambahan BAP, Kinetin, 2-iP dan Zeatin umur 6 MSK	25
6	Nilai rata-rata tinggi tunas, jumlah tunas, jumlah tangkai daun, dan jumlah akar <i>M. oleifera</i> yang dikultur pada media DKW dengan penambahan 0,0, 0,5, 1,0 dan 2,0 mg L ⁻¹ BAP, Kinetin, 2-iP dan Zeatin umur 6 MSK.	26
7	Analisis ragam pada peubah tinggi tunas, jumlah tunas, jumlah tangkai daun, jumlah akar dan panjang akar <i>M. oleifera</i> yang dikultur pada media DKW dengan penambahan IAA, IBA dan NAA umur 6 minggu setelah dikultur	27
8	Nilai rata-rata tinggi tunas, jumlah tunas, jumlah tangkai daun, jumlah akar dan panjang akar <i>M. oleifera</i> yang dikultur pada media DKW dengan penambahan 0,0, 0,5, 1,0 dan 2,0 mg L ⁻¹ IAA, IBA dan NAA umur 6 minggu	28
9	Anova pada perlakuan media DKW dengan penambahan BAP yang dikombinasikan dengan Pikloram pada diameter kalus, bobot kalus dan volume kalus umur 6 minggu	32
10	Rata-rata diameter kalus, bobot dan volume kalus <i>M. oleifera</i> pada perlakuan media DKW dengan penambahan BAP yang dikombinasikan dengan Pikloram kalus umur 6 minggu	33
11	Anova pada media DKW dengan penambahan asam amino (Proline, Glutamine, Cysteine) dengan konsentrasi 0; 50; 100; 150 dan 200 mg L ⁻¹ diameter kalus, bobot kalus dan volume kalus umur 6 minggu	35
12	Rata-rata diameter kalus, bobot kalus dan volume kalus perlakuan media DKW dengan penambahan Asam Amino (Proline, Glutamine, Cysteine) dengan konsentrasi 0.0; 50; 100; 150 dan 200 mg L ⁻¹ umur 6 minggu	36
13	Rata-rata bobot kalus dan volume kalus perlakuan media DKW dengan penambahan 0.0 dan 200 mg L ⁻¹ Proline pada metode perbanyakan media padat, cair dan TIS	36
14	Data warna kalus, jumlah kalus, dan kondisi kalus <i>M. oleifera</i> pada perlakuan media DKW dengan penambahan Asam Amino (Proline, Glutamine, Cysteine) dengan konsentrasi 0.0; 50; 100; 150 dan 200 mg L ⁻¹ umur 6 minggu	38

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



15	Rekapitulasi jumlah amplifikasi pita DNA pada kultur tunas <i>M. oleifera</i> yang diradiasi dengan sinar Gamma: 0, 5, 10 dan 20 Gy dengan marka ISSR	42
16	Rata-rata tinggi tunas, jumlah tunas, jumlah tangkai daun, dan jumlah akar <i>M. oleifera</i> yg diradiasi dengan sinar Gamma 0, 5, 10 dan 20 Gy dengan perlakuan 0, 50, 100, 250, dan 500 mg L ⁻¹ AlCl ₃ umur 6 minggu	50
17	Rata-rata kandungan asam sitrat, asam oxalat dan asam asetat pada kultur <i>M. oleifera</i> yg diradiasi dengan sinar Gamma 0, 5, 10 dan 20 Gy dengan perlakuan 0, 50, 100, 250, dan 500 mg L ⁻¹ AlCl ₃ umur 6 minggu	51

DAFTAR GAMBAR

1	Diagram/ alur penelitian manipulasi sel somatik tanaman kelor (<i>Moringa oleifera</i>) secara <i>in vitro</i> untuk menghasilkan klon unggul toleran cekaman aluminium (Percobaan 1-4)	5
2	Tanaman <i>M. oleifera</i> , serta potensi yang dimiliki pada dari setiap bagian tanamannya.	7
3	Performa kultur tunas Kelor (<i>M. oleifera</i>) umur 6 minggu pada media MS, WPM, DKW, NN, dan B5 (Gamborg) dari Aksesori Bogor (A), Pekalongan (B), Bima (C), dan Blora (D).	24
4	Performa kultur <i>M. oleifera</i> pada media DKW yang dikombinasikan dengan 0,0, 0,5, 1,0 dan 2,0 mg L ⁻¹ BAP (A), Kinetin (B), 2-iP (C), dan Zeatin (D) pada umur 6 MSK	27
5	Performa kultur tunas <i>M. oleifera</i> pada media DKW dengan penambahan 0,0, 0,5, 1,0 dan 2,0 mg L ⁻¹ IAA, IBA dan NAA umur 6 minggu setelah kultur	29
6	Rata-rata persentase eksplan kelor (<i>M. oleifera</i>) membentuk kalus umur 1-6 minggu dengan perlakuan 0; 0.5; 1 dan 2 mg L ⁻¹ Picloram yang dikombinasikan dengan A. 0 mg L ⁻¹ BAP B. 0.5 mg L ⁻¹ BAP C. 1 mg L ⁻¹ BAP dan D. 2 mg L ⁻¹ BAP.	31
7	Rata-rata diameter kalus eksplan kelor (<i>M. oleifera</i>) membentuk kalus umur 1-6 minggu dengan perlakuan 0; 0.5; 1 dan 2 mg L ⁻¹ Picloram yang dikombinasikan dengan A. 0 mg L ⁻¹ BAP B. 0.5 mg L ⁻¹ BAP C. 1 mg L ⁻¹ BAP dan D. 2 mg L ⁻¹ BAP	31
8	Performa kultur kalus Kelor (<i>M. oleifera</i>) umur 6 minggu pada perlakuan media dasar DKW dengan penambahan 0.0; 0.5; 1.0 dan 2.0 mg L ⁻¹ BAP dan Picloram.	34
9	Perbanyakan kalus <i>M. oleifera</i> dengan Temporary Immersion System (TIS)	37
10	Pengamatan mikroskop kalus embriogenik <i>M. oleifera</i> pada media DKW dengan penambahan asam amino proline konsentrasi 200 mg L ⁻¹ (A), asam amino glutamine konsentrasi 50 mg L ⁻¹ (B), dan asam amino cysteine konsentrasi 50 mg L ⁻¹ (C).	39
11	Kalus embriogenik <i>M. oleifera</i> pada perlakuan media DKW dengan penambahan asam amino cysteine konsentrasi 150 mg L ⁻¹ (A) dan penambahan asam amino cysteine dengan konsentrasi 50 mg L ⁻¹ (B).	39

12	Persentase kematian kultur tanaman kelor (<i>M. oleifera</i>) yang di radiasi dengan 0, 5, 10, 20, 40, 60, 80 dan 100 Gy umur 1-6 minggu. Mortality rate (A) Persamaan regresi dan nilai LD ₅₀ (B)	40
13	Pola pita DNA marka ISSR kultur <i>M. oleifera</i> yg diradiasi dengan sinar Gamma 0, 5, 10 dan 20 Gy. Keterangan: L (Ladder), Kontrol (1), Radiasi 5 Gy (2), Radiasi 10 Gy (3), Radiasi 20 Gy (4), Kontrol – (5)	41
14	Dendogram koefisien similaritas tunas <i>M. oleifera</i> yang diradiasi dengan sinar Gamma: 0, 5, 10 dan 20 gy berdasarkan penanda ISSR, Hierarchical cluster analysis menggunakan software originpro 2022	43
15	Survival rate dan persentase mortality 4 aksesori tanaman kelor (<i>M. oleifera</i>) yang di uji dengan pemberian cekaman AlCl ₃ dengan konsentrasi 0, 50, 100, 250, dan 500 mg L ⁻¹ umur 1-6 minggu.	43
16	Analisis Boxplot pada peubah tinggi tunas pada empat aksesori <i>M. oleifera</i> (Blora, Bogor, Bima dan Enrekang) yang dikultur pada media DKW dengan penambahan 0, 50, 100, 250, dan 500 mg L ⁻¹ AlCl ₃ umur 6 minggu setelah kultur	44
17	Analisis Boxplot pada peubah jumlah tunas pada empat aksesori <i>M. oleifera</i> (Blora, Bogor, Bima dan Enrekang) yang dikultur pada media DKW dengan penambahan 0, 50, 100, 250, dan 500 mg L ⁻¹ AlCl ₃ umur 6 minggu setelah kultur	45
18	Analisis Boxplot pada peubah jumlah tangkai daun pada empat aksesori <i>M. oleifera</i> (Blora, Bogor, Bima dan Enrekang) yang dikultur pada media DKW dengan penambahan 0, 50, 100, 250, dan 500 mg L ⁻¹ AlCl ₃ umur 6 minggu setelah kultur	45
19	Analisis Boxplot pada peubah jumlah akar pada empat aksesori <i>M. oleifera</i> (Blora, Bogor, Bima dan Enrekang) yang dikultur pada media DKW dengan penambahan 0, 50, 100, 250, dan 500 mg L ⁻¹ AlCl ₃ umur 6 minggu setelah kultur	46
20	Performa empat aksesori <i>M. oleifera</i> (Blora, Bogor, Bima, dan Enrekang) yang dikultur pada media DKW dengan penambahan 0, 50, 100, 250, dan 500 mg L ⁻¹ AlCl ₃ umur 6 minggu setelah kultur.	47
21	Analisis korelasi metabolit empat aksesori <i>M. oleifera</i> (Bima, Blora, Bogor dan Enrekang) yang dikultur pada medium DKW umur 6 minggu setelah kultur (A). Asam organik asam asetat yang berfungsi sebagai indikator toleransi AlCl ₃ berkorelasi dengan 25 metabolit (B).	48
22	Partial Least Squares Discriminant Analysis (PLS-DA) (A) dan Principal Component Analysis (PCA) antar senyawa metabolit pada empat aksesori <i>M. oleifera</i> (Bima, Blora, Bogor dan Enrekang) yang dikultur pada media DKW umur 6 minggu setelah kultur pada 6 WAC.	49
23	Klaster antar peubah pengamatan: tinggi tunas, jumlah tunas, jumlah tangkai daun, jumlah akar, bobot basah, bobot kering, asam sitrat, asam oxalat dan asam asetat pada kultur <i>M. oleifera</i> yg diradiasi dengan sinar Gamma 0, 5, 10 dan 20 Gy dengan perlakuan 0, 50, 100, 250, dan 500 mg L ⁻¹ AlCl ₃ umur 6 minggu	52
24	Analisa antar peubah pengamatan pada kultur <i>M. oleifera</i> yg diradiasi dengan sinar Gamma 0, 5, 10, dan 20 Gy dengan perlakuan 0, 50, 100, 250, dan 500 mg L ⁻¹ AlCl ₃ umur 6 minggu. <i>Partial Least Squares</i>	



<i>Discriminant Analysis (PLS-DA) (A) dan Principal Component Analysis (PCA)</i>	53
--	----

DAFTAR LAMPIRAN

1	Komposisi media MS, WPM, DKW, NN dan B5 yang digunakan dalam percobaan kultur <i>in vitro</i> <i>M. oleifera</i>	70
2	Box plots dan kernel density plots hasil analisa Py-GCMS sebelum dan setelah dilakukan normalisasi. Boxplots menunjukkan 50 metabolit utama yang terdeteksi. Plots density pada seluruh sampel yg diuji	71

@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.