



KERAGAMAN GENETIK DAN INDUKSI SENYAWA METABOLIT TANAMAN KELOR (*Moringa oleifera* Lam.) MELALUI PERLAKUAN KEKERINGAN

RIDWAN



**PROGRAM STUDI BIOLOGI TUMBUHAN
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2022**



@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 “Keragaman Genetik dan Induksi Senyawa Metabolit Tanaman Kelor (*Moringa oleifera* Lam.) melalui Perlakuan Kekeringan” 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, Januari 2023

Ridwan
G363184082



RINGKASAN

RIDWAN. Keragaman Genetik dan Induksi Senyawa Metabolit Tanaman Kelor (*Moringa oleifera* Lam.) melalui Perlakuan Kekeringan. Dibimbing oleh HAMIM, SUHARSONO, dan NURIL HIDAYATI.

Tanaman kelor (*Moringa oleifera* Lam.) merupakan salah satu tanaman yang memiliki kandungan gizi dan senyawa bioaktif yang cukup tinggi dan telah diketahui memiliki sifat farmakologis. Berbagai produk berbahan dasar kelor mulai banyak berkembang di masyarakat terutama di luar negeri, antara lain tepung daun kelor, teh kelor, ekstrak daun kelor, kosmetik, dan industri berbagai macam produk herbal. Tanaman kelor relatif mudah untuk dibudidayakan, dapat diperbanyak dengan stek batang ataupun perbanyak dari biji, dapat tumbuh baik pada berbagai jenis dan kondisi tanah, serta toleran terhadap kondisi kekurangan air sehingga dapat ditanam di daerah dengan curah hujan rendah. Untuk lebih memaksimalkan potensi tanaman kelor tersebut, bahan tanaman dari bibit terpilih dan teknik budidaya yang tepat untuk optimasi produksi dan kandungan senyawa bioaktif tanaman perlu dikembangkan. Kegiatan penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk pengembangan tanaman kelor melalui seleksi bibit dari berbagai aksesori di Indonesia yang memiliki potensi produksi biomassa dan kandungan senyawa bioaktif yang tinggi dan optimasi kandungan senyawa bioaktif tersebut dengan mengontrol pengairan sebelum panen. Kegiatan penelitian ini dilaksanakan dalam 2 tahap percobaan: 1) Studi keragaman genetik dan seleksi aksesori tanaman kelor dari beberapa pulau di Indonesia berdasarkan potensi produksi biomassa daun dan kandungan senyawa bioaktif yang tinggi; dan 2) Optimasi kandungan senyawa bioaktif tanaman kelor dengan perlakuan kekeringan. Kegiatan tahap 1 menggunakan 10 aksesori tanaman kelor, yaitu aksesori Sumatera, Jawa, Madura, Bali, Lombok, Sumbawa, Sumba, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua hasil koleksi dari Bidang Botani Pusat Penelitian Biologi LIPI. Kegiatan ini meliputi identifikasi keragaman tanaman kelor secara molekuler dan morfologi, serta seleksi aksesori tanaman kelor tersebut berdasarkan produksi biomassa dan kandungan senyawa bioaktif (flavonoid) serta aktivitas antioksidannya. Kegiatan tahap 2 merupakan kegiatan optimasi kandungan senyawa bioaktif tanaman kelor dengan perlakuan cekaman kekeringan (*Drought Stress*) menggunakan aksesori terpilih hasil kegiatan tahap 1. Kegiatan ini terdiri atas perlakuan cekaman kekeringan bertingkat yang diberikan dengan perbedaan interval pengairan (1, 3, dan 7 hari) dengan durasi yang berbeda (8, 16, 24, dan 32 hari sebelum panen) yang bertujuan untuk mendapatkan metode pengairan yang tepat dalam memproduksi senyawa bioaktif flavonoid tanpa menurunkan produksi biomassa yang terlalu besar. Selain itu, perubahan profil metabolit tanaman akibat perlakuan kekeringan juga diamati melalui studi metabolomik dengan metode LC-MS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelor Indonesia cukup beragam yang ditunjukkan oleh tingginya persentase polimorfik (81,40%) yang secara dominan disebabkan oleh perbedaan aksesori (54%). Aksesori Jawa merupakan aksesori yang paling berbeda dibandingkan aksesori-aksesori lain yang menunjukkan persebaran yang sempit. Perbedaan aksesori Jawa dengan aksesori lain utamanya berdasarkan jumlah anak daunnya yang paling banyak namun dengan ukuran yang kecil. Berdasarkan karakter biomassa, aksesori Sumatera dan Jawa adalah 2 aksesori tertinggi, namun berdasarkan kandungan senyawa flavonoid total dan aktivitas

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

antioksidannya, aksesori Sumatera merupakan aksesori tertinggi dibanding 9 aksesori yang lain, sehingga aksesori inilah yang digunakan pada penelitian selanjutnya. Pada percobaan kedua, dari semua kombinasi perlakuan yang diberikan, perlakuan cekaman kekeringan dengan interval pengairan 3 hari dengan durasi 16 hari merupakan perlakuan yang paling efektif dan efisien dalam meningkatkan kandungan flavonoid daun kelor yang ditunjukkan oleh nilai *Water Use Efficiency* berdasarkan kandungan flavonoid (WUE_f) yang tertinggi. Hasil analisis *fold change* juga menunjukkan bahwa perlakuan tersebut dapat meningkatkan kandungan flavonoid sekitar 2,0-2,5 kali lipat dibandingkan kontrol. Hasil analisis metabolomik menggunakan aksesori Sumatera yang diberi perlakuan interval pengairan 1, 3, dan 7 hari dan durasi perlakuan selama 24 hari sebelum panen menunjukkan bahwa terdapat 119 metabolit yang teridentifikasi yang terbagi menjadi 30 kelompok senyawa. Kelompok senyawa asam karboksilat dan turunannya, terpenoid, dan flavonoid merupakan 3 kelompok senyawa yang dominan dengan jumlah senyawa masing-masing sebanyak 20, 14, dan 11. Dari 119 senyawa tersebut, sebanyak 23 senyawa berbeda secara signifikan. Sebanyak 13 senyawa meningkat hanya pada cekaman ringan, 3 senyawa hanya meningkat pada cekaman parah, 4 senyawa meningkat pada kedua level cekaman, dan 3 senyawa menurun akibat cekaman kekeringan. Penelitian ini juga berhasil mendapatkan 3 senyawa indikator cekaman kekeringan pada tanaman kelor, yaitu arginina, N-Fructosil fenilalanina, dan apigenin 8-C-glucosida. Berdasarkan data tersebut, cekaman kekeringan yang ringan disinyalir menjadi perlakuan pengairan untuk akumulasi senyawa bioaktif daun kelor.

Kata Kunci: cekaman kekeringan, keragaman genetik, metabolomik, moringa, senyawa bioaktif.

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.



SUMMARY

RIDWAN. Genetic Diversity of Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) and Metabolite Compounds Induction through Drought Treatment. Supervised by HAMIM, SUHARSONO, and NURIL HIDAYATI.

Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) is a plant which contains high nutritional content and bioactive compounds with pharmacological properties. Various products made from Moringa are growing in the market, including international marketplace platform such as moringa leaf flour, moringa tea, moringa leaf extract, cosmetics, and other various herbal products. In Indonesia, Moringa are relatively easy to cultivate. It can be propagated by stem cuttings or seeds which can grow well in various types and soil conditions, and are tolerant of water shortage conditions so that they can be planted in low rainfall areas. To maximize the potential of Moringa, it is necessary to provide plant materials from selected genotypes and to apply appropriate cultivation techniques in order to optimize the production of bioactive compounds content. This research aimed to find potential genotype of Moringa through genotypes selection from various accessions based on the potential for biomass production as well as bioactive compounds, and to induce bioactive content through watering control before harvest. The research consisted of 2 experimental stages: 1) Genetic diversity and selection of Moringa accessions from several islands in Indonesia based on the potential for leaves biomass production and bioactive compounds content; and 2) Optimization of bioactive compound content of Moringa through drought stress treatment. The first stage used 10 accessions of Moringa, collection of Research Center for Biologi, Indonesian Institute of Sciences (LIPI), namely Sumatra, Jawa, Madura, Bali, Lombok, Sumbawa, Sumba, Kalimantan, Sulawesi, and Papua. This stage includes identification of molecular and morphological diversity, and selection of Moringa accessions based on biomass production, bioactive compounds (flavonoids), and antioxidant activity. The second stage aimed to optimize the bioactive compounds content through drought stress treatment on the selected accessions from the first stage. Drought stress treatments consisted of two factors, i.e watering intervals including 1, 3, and 7 days, and treatment durations including 8, 16, 24, and 32 days before harvest. In addition, in this experiment, plant metabolite changes due to drought stress treatment were also observed through metabolomics studies using the LC-MS method. The results showed that Indonesian Moringa was quite diverse as indicated by the high percentage of polymorphs (81,40%) which was dominated by differences in accessions (54%). Jawa is the most different accession compared to others with narrow distribution. The highest number of leaflet with the smallest in size were mainly distinct characters of Jawa than other accessions. Based on biomass character, Sumatra and Jawa were the best accessions, but based on the total flavonoid content and antioxidant activity, only Sumatra was the best compared to other accessions, which then this accession was used for further experiment. In the second experiment, the irrigation intervals of 3 days with a duration of 16 days (3.16) was the most effective and efficient treatment compared to others in increasing flavonoid content of Moringa leaves as indicated by the Water Use Efficiency value based on the highest flavonoid content (WUE_f). The analysis also showed that the treatment was able to increase flavonoid content about

@Hak Cipta IPB University

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

2,0-2,5 times compared to that in the control plants. Metabolomic analysis using Sumatra accession which was treated with watering intervals 1, 3, and 7 days, and treatment durations for 24 days before harvest obtained 119 metabolites of Moringa leaves which were divided into 30 groups of compounds. The group of carboxylic acid compounds and their derivatives, terpenoids, and flavonoids were among the 3 dominant groups with a total of 20, 14, and 11 compounds, respectively. Among the 119 compounds, 23 compounds were significantly different. A total of 13 compounds increased only in mild stress, 3 compounds increased only in severe stress, 4 compounds increased at both stress levels, and 3 compounds decreased due to drought stress. This study also succeeded in obtaining 3 drought stress compounds in Moringa, namely arginine, N-Fructosil phenylalanine, and apigenin 8-C-glucoside. Based on those data, mild water stress thought to be the best watering treatment to induce bioactive accumulation in Moringa leaves.

Keywords: bioactive compounds, genetic diversity, metabolomic, moringa, drought stress.

@Hak cipta milik IPB University

IPB University





@Hak cipta milik IPB University

© Hak Cipta Milik IPB, Tahun 2023
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

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.



**KERAGAMAN GENETIK DAN INDUKSI SENYAWA
METABOLIT TANAMAN KELOR (*Moringa oleifera* Lam.)
MELALUI PERLAKUAN KEKERINGAN**

RIDWAN

Disertasi
Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Doktor pada
Program Studi Biologi Tumbuhan

**PROGRAM STUDI BIOLOGI TUMBUHAN
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2022**



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.

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Ujian Tertutup Disertasi:

- 1 Prof. Dr. Ir. Miftahudin, M.Si
- 2 Dr. Dra. Dwinita Wikan Utami, M.Si

Penguji Luar Komisi Pembimbing pada Sidang Promosi Terbuka Disertasi:

- 1 Prof. Dr. Ir. Miftahudin, M.Si
- 2 Dr. Dra. Dwinita Wikan Utami, M.Si



Judul Disertasi : Keragaman Genetik dan Induksi Senyawa Metabolit Tanaman Kelor (*Moringa oleifera* Lam.) melalui Perlakuan Kekeringan

Nama : Ridwan
NIM : G363184082

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

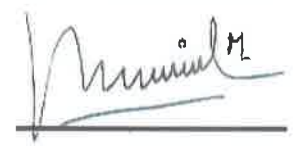
Pembimbing 1:
Prof. Dr. Ir. Hamim, M.Si



Pembimbing 2:
a.n. Prof. Dr. Ir. Suharsono, DEA (Alm)
Ketua Program Studi Biologi Tumbuhan

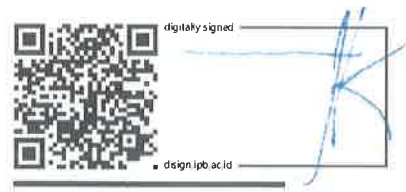


Pembimbing 3:
Prof. Dr. Ir. Nuril Hidayati, M.Sc



Diketahui oleh

Ketua Program Studi:
Prof. Dr. Ir. Hamim, M.Si
NIP 19650322 199002 1 001



Dekan FMIPA IPB:
Dr. Berry Juliandi, M.Si
NIP 19780723 200701 1 001



Tanggal Ujian:
(28 November 2022)

Tanggal pengesahan: 10 JAN 2023

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.



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penulisan karya ilmiah ini. Judul dari penelitian yang dilaksanakan sejak bulan April 2019 sampai bulan Desember 2021 ini ialah “Keragaman Genetik dan Induksi Senyawa Metabolit Tanaman Kelor (*Moringa oleifera* Lam.) melalui Perlakuan Kekeringan”.

Ucapan terima kasih kepada Badan Riset dan Inovasi Nasional yang telah memberikan beasiswa melalui program *Degree by Research* (DBR) sehingga penulis bisa melanjutkan studi pada jenjang doctoral. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional yang telah memberikan bantuan dana penelitian melalui skema penelitian disertasi doktor (PDD) pada tahun 2020-2021. Beberapa Karya ilmiah telah dipublikasikan selama menjadi mahasiswa doctoral di IPB. Artikel yang berjudul “*Drumstick (Moringa oleifera) variation in biomass and total flavonoid content in Indonesia*” telah terbit di Jurnal Biodiversitas (Q3) pada tahun 2021. Artikel yang berjudul “*Molecular and Morphological Analysis of Indonesian Drumstick Tree (Moringa oleifera Lam.)*” telah terbit di *Asian Journal of Plant Sciences* (Q3) pada tahun 2021. Artikel yang berjudul “*Induction of Flavonoid Content in Moringa (Moringa oleifera Lam.) Leaves by Water Stress Treatment*” telah diterima untuk diterbitkan di Jurnal Sains Malaysiana (Q2) pada bulan Januari 2023.

Terima kasih penulis ucapkan kepada para pembimbing, Prof. Dr. Ir. Hamim, M.Si, Prof. Dr. Ir. Suharsono, DEA, dan Prof. Dr. Ir. Nuril Hidayati, M.Sc yang telah membimbing, memotivasi, dan memberikan banyak masukan dan saran selama penelitian dan penulisan karya ilmiah ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh dosen Program Studi Biologi Tumbuhan, moderator seminar, dan penguji luar komisi pembimbing. Di samping itu, penghargaan penulis sampaikan kepada seluruh staf laboratorium dan tenaga lapangan yang telah membantu selama penelitian dan pengumpulan data. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada ayah, ibu, istri, mertua, anak-anak, serta saudara-saudara serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan, doa, dan kasih sayangnya. Kepada teman-teman seperjuangan sesama penerima beasiswa DBR tahun 2019, serta seluruh rekan mahasiswa S3 Program Studi Biologi Tumbuhan, terima kasih atas kerjasama, diskusi, dan semangat yang terus dipelihara bersama.

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

Bogor, Januari 2023

Ridwan

DAFTAR ISI

DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	4
1.5 Ruang Lingkup	4
1.6 Kebaruan	4
II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Asal, Persebaran, Klasifikasi, dan Budidaya Tanaman Kelor (<i>Moringa oleifera</i> Lam.)	5
2.2 Keragaman Genetik Tanaman Kelor	6
2.3 Pemanfaatan Tanaman Kelor	7
2.4 Pengaruh Cekaman Kekeringan terhadap Fisiologi Tanaman	8
2.5 Perlakuan Kekeringan Meningkatkan Kandungan Metabolit Sekunder	9
2.6 Analisis Metabolomik Tanaman dan Kaitannya dengan Kekeringan	10
2.7 Senyawa Flavonoid: Biosintesis dan Induksi Biosintesis	10
2.8 Penelitian-Penelitian yang Telah Dilakukan pada Tanaman Kelor dari Aspek Budidaya	12
III KERAGAMAN GENETIK, POTENSI PRODUKSI BIOMASSA DAN KANDUNGAN SENYAWA BIOAKTIF BEBERAPA AKSESI TANAMAN KELOR INDONESIA	14
3.1 Abstrak	14
3.2 Pendahuluan	14
3.3 Metode	16
3.4 Hasil dan Pembahasan	21
3.5 Simpulan	34
IV OPTIMASI KANDUNGAN SENYAWA BIOAKTIF TANAMAN KELOR DENGAN PERLAKUAN KEKERINGAN	35
4.1 Abstrak	35
4.2 Pendahuluan	35
4.3 Metode	36
4.4 Hasil dan Pembahasan	41
4.5 Simpulan	51



V	PROFIL METABOLIT DAUN TANAMAN KELOR PADA CEKAMAN KEKERINGAN	52
5.1	Abstrak	52
5.2	Pendahuluan	52
5.3	Metode	54
5.4	Hasil dan Pembahasan	56
5.5	Simpulan	65
VI	PEMBAHASAN UMUM	66
VII	SIMPULAN UMUM DAN SARAN	72
	DAFTAR PUSTAKA	73
	LAMPIRAN	89
	RIWAYAT HIDUP	109

DAFTAR TABEL

2.1	Perbedaan sifat dari beberapa marka molekuler dominan yang sering digunakan dalam bidang biologi tumbuhan	7
2.2	Kandungan nutrisi tanaman kelor	7
3.1	Lokasi, koordinat, altitud, dan tipe iklim asal bahan tanaman kelor yang digunakan	16
3.2	Primer SRAP yang digunakan untuk amplifikasi DNA genomik tanaman kelor	18
3.3	Kunci deskripsi karakter kualitatif yang digunakan untuk karakterisasi daun dan batang tanaman kelor	18
3.4	Pasangan primer, jumlah <i>fragment</i> teramplifikasi, jumlah <i>fragment</i> polimorfik, <i>polimorphic information content</i> (PIC), dan ukuran <i>fragment</i> dari 10 aksesori tanaman kelor	21
3.5	Keragaman genetik 10 populasi/aksesori tanaman kelor Indonesia	22
3.6	Keragaman genetik total 10 populasi/aksesori tanaman kelor Indonesia	23
3.7	Hasil <i>analysis of molecular variance</i> (AMOVA) berdasarkan data SRAP pada 30 genotipe dari 10 aksesori tanaman kelor	23
3.8	Matrik jarak genetik Nei dari 10 aksesori tanaman kelor Indonesia	23
3.9	Karakter kualitatif dari 10 aksesori tanaman kelor Indonesia	25
4.1	Kombinasi perlakuan interval penyiraman dan durasi perlakuan	37
4.2	Pertumbuhan tajuk tanaman kelor aksesori Sumatera yang diberi perlakuan interval pengairan 1, 3, dan 7 hari dan durasi perlakuan 8, 16, 24, dan 32 hari	42
4.3	Pertumbuhan daun tanaman kelor aksesori Sumatera yang diberi perlakuan interval pengairan 1, 3, dan 7 hari dan durasi perlakuan 8, 16, 24, dan 32 hari	42
5.1	Dua puluh tiga senyawa yang berbeda nyata pada interval pengairan 1, 3, dan 7 hari	61

DAFTAR GAMBAR

1.1	Bagan alir dan tahap kegiatan penelitian	3
2.1	Jalur umum biosintesis flavonoid pada tanaman. Sumber: Saito <i>et al.</i> (2013)	11
3.1	Tata letak dan kondisi tanaman kelor percobaan sebelum pemangkasan (a), saat pemangkasan (b), dan setelah pemangkasan (c)	17
3.2	Profil hasil elektroforesis 10 aksesori tanaman kelor menggunakan kombinasi pasangan primer SRAP me2F dan em1R (a), me1F dan em4R (b), me1F dan em1R (c), dan me2F dan em2R (d). Kolom pertama dari kiri adalah pita (100 bp DNA ladder), kolom kedua sampai sebelas adalah aksesori Sumatera, Jawa, Madura, Bali, Lombok, Sumbawa, Sumba, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua	21
3.3	Dendrogram UPGMA 10 aksesori tanaman kelor berdasarkan jarak genetik Nei (A) dan hasil analisis PCA berdasarkan data SRAP menggunakan program <i>Metaboanalyst</i> 4.0 (B). Sm (Sumatera), J (Jawa), M (Madura), B (Bali), L (Lombok), Sbw (Sumbawa), S (Sumba), K (Kalimantan), Si (Sulawesi), P (Papua)	24

3.4	Tinggi tanaman (a), diameter kanopi (b), diameter batang utama (c), jumlah cabang (d) kelor aksesori Sumatera (Sm), Jawa (J), Madura (M), Bali (B), Lombok (L), Sumbawa (Sbw), Sumba (S), Kalimantan (K), Sulawesi (Si), dan Papua (P) pada umur 2, 4, dan 6 bst	26
3.5	Jumlah daun majemuk (a), panjang daun majemuk (b), lebar daun majemuk (c), persentase daun majemuk senesen (c) jumlah anak daun (e), dan luas anak daun (f) kelor aksesori Sumatera (Sm), Jawa (J), Madura (M), Bali (B), Lombok (L), Sumbawa (Sbw), Sumba (S), Kalimantan (K), Sulawesi (Si), dan Papua (P) pada umur 2, 4, dan 6 bulan setelah tanam (bst)	27
3.6	Daun majemuk dan anak daun 10 aksesori tanaman kelor dari berbagai pulau di Indonesia	28
3.7	Jumlah akar umbi (a), panjang akar umbi (b), diameter akar umbi (c), dan panjang akar total (d) tanaman kelor aksesori Sumatera (Sm), Jawa (J), Madura (M), Bali (B), Lombok (L), Sumbawa (Sbw), Sumba (S), Kalimantan (K), Sulawesi (Si), dan Papua (P) pada umur 6 bulan setelah tanam	29
3.8	Perakaran 10 aksesori tanaman kelor dari berbagai pulau di Indonesia	29
3.9	PCA-2D (a) dan PCA-Biplot (b) menggunakan <i>Metaboanalyst</i> 4.0. berdasarkan karakter morfologi kuantitatif dan kualitatif 10 aksesori tanaman kelor dari Sumatera (Sm), Jawa (J), Madura (M), Bali (B), Lombok (L), Sumbawa (Sb), Sumba (S), Kalimantan (K), Sulawesi (Si), dan Papua (P)	30
3.10	Bobot kering daun (a), bobot kering batang (b), bobot kering akar (c), dan bobot kering total (d) tanaman kelor aksesori Sumatera (Sm), Jawa (J), Madura (M), Bali (B), Lombok (L), Sumbawa (Sb), Sumba (S), Kalimantan (K), Sulawesi (Si), dan Papua (P) sampai dengan umur 6 bulan setelah tanam	32
3.11	Kandungan flavonoid total (a) dan aktivitas antioksidan (b) tanaman kelor aksesori Sumatera (Sm), Jawa (J), Madura (M), Bali (B), Lombok (L), Sumbawa (Sbw), Sumba (S), Kalimantan (K), Sulawesi (Si), dan Papua (P)	33
4.1	Korelasi antara kelembapan tanah dengan interval pengairan (a) dan durasi perlakuan (b)	41
4.2	Bobot kering daun (a), bobot kering batang (b), bobot kering akar (c), dan bobot kering total (d) tanaman kelor aksesori Sumatera yang diberi perlakuan interval pengairan 1, 3, dan 7 hari dan durasi perlakuan 8, 16, 24, dan 32 hari.	43
4.3	Rasio akar/tajuk (a), rasio pertumbuhan tajuk (b), dan rasio pertumbuhan akar (c) tanaman kelor aksesori Sumatera yang diberi perlakuan interval pengairan 1, 3, dan 7 hari dan durasi perlakuan 8, 16, 24, dan 32 hari	44
4.4	Potensial air daun (a), <i>Relative Water Content</i> daun (b), klorofil a (c), klorofil b (d), klorofil total (e), dan kandungan prolina (f) tanaman kelor aksesori Sumatera yang diberi perlakuan interval pengairan 1, 3, dan 7 hari dan durasi perlakuan 8, 16, 24, dan 32 hari	45
4.5	Kandungan flavonoid kuersetin (a) dan kaemferol (b) tanaman kelor aksesori Sumatera yang diberi perlakuan interval pengairan 1, 3, dan 7 hari dan durasi perlakuan 8, 16, 24, dan 32 hari.	46
4.6	<i>Boxplot</i> hasil analisis <i>fold change</i> kandungan flavonoid tanaman kelor aksesori Sumatera yang diberi perlakuan interval pengairan 3 hari dengan	

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

	durasi 16 hari sebelum panen (3.16) dibandingkan dengan kontrol (1.16). Kuersetin (a) dan kaemferol (b)	46
4.7	<i>Water Use Efficiency</i> berdasarkan kandungan flavonoid kuersetin (a) dan kaemferol (b) tanaman kelor aksesori Sumatera yang diberi perlakuan interval pengairan 1, 3, dan 7 hari dan durasi perlakuan 8, 16, 24, dan 32 hari	47
4.8	Korelasi pearson (a) dan analisis sidik lintas (b) beberapa variabel agronomi tanaman kelor aksesori Sumatera yang diberi perlakuan interval pengairan 1, 3, dan 7 hari dan durasi perlakuan 8, 16, 24, dan 32 hari. TT (tinggi tunas), DBT (diameter batang tunas), DK (diameter kanopi), LAD (luas anak daun), BKD (bobot kering daun), Sns (senesen), dan Abs (absisi)	48
4.9	<i>Principle Component Analysis</i> (PCA) (a) dan analisis biplot (b) berdasarkan variabel agronomi, fisiologi, dan kandungan flavonoid kuersetin dan kaemferol. TT (tinggi tunas), DK (diameter kanopi), DBT (diameter batang tunas), JDM (jumlah daun majemuk), LAD (luas anak daun), BKD (bobot kering daun), WP (potensial air), RWC (kandungan air relatif daun), Chl (klorofil), Pro (prolina), Sns (senesen), Abs (absisi), Q (kuersetin), K (kaemferol)	50
5.1	Pertumbuhan tanaman kelor aksesori Sumatera pada interval pengairan 1, 3, dan 7 hari. Tinggi tunas (a), diameter batang tunas (b), diameter kanopi (c), dan jumlah daun majemuk (d)	57
5.2	Respon fisiologi tanaman kelor aksesori Sumatera terhadap perlakuan interval pengairan 1, 3, dan 7 hari. Kandungan klorofil (a), konsentrasi H ₂ O ₂ (b), konsentrasi MDA (c), dan kebocoran elektrolit (d)	57
5.3	Profil senyawa metabolit daun tanaman kelor aksesori Sumatera yang diberi perlakuan interval pengairan 1, 3, dan 7 hari	58
5.4	Kelompok senyawa metabolit daun tanaman kelor aksesori Sumatera yang diberi perlakuan interval pengairan 1, 3, dan 7 hari	59
5.5	Profil senyawa metabolit berdasarkan 3 kelompok senyawa terbesar yang dikandung daun tanaman kelor aksesori Sumatera yang diberi perlakuan interval pengairan 1, 3, dan 7 hari. (a) Kelompok asam karboksilat dan turunannya; (b) Kelompok terpenoid; dan (c) Kelompok flavonoid	60
5.6	Profil 23 metabolit daun tanaman kelor aksesori Sumatera yang berbeda nyata akibat perlakuan interval pengairan 1, 3, dan 7 hari selama 24 hari sebelum panen	62
5.7	PLSDA <i>Score Plot</i> (a) dan <i>VIP Score</i> (b) 23 metabolit daun tanaman kelor yang berbeda nyata akibat perlakuan interval pengairan 1, 3, dan 7 hari	63
5.8	Korelasi pearson antara variabel fisiologi dan 3 senyawa potensial sebagai indikator cekaman kekeringan pada interval pengairan 3 hari (a) dan 7 hari (b)	64
6.1	Respon tanaman kelor terhadap cekaman kekeringan pada level cekaman ringan dan berat	70



DAFTAR LAMPIRAN

1	Dua puluh lima pasang primer yang dikembangkan oleh Li dan Quiros (2001) yang di- <i>screening</i> untuk mendapatkan 10 primer	90
2	Hasil elektroforesis dari 30 individu tanaman kelor dari 10 aksesori menggunakan 10 primer SRAP	91
3	Rekapitulasi hasil analisis ragam variabel morfologi kuantitatif pada percobaan 1 umur 2 bulan setelah tanam	92
4	Rekapitulasi hasil analisis ragam variabel morfologi kuantitatif pada percobaan 1 umur 4 bulan setelah tanam	93
5	Rekapitulasi hasil analisis ragam variabel morfologi kuantitatif pada percobaan 1 umur 6 bulan setelah tanam	94
6	Rekapitulasi hasil analisis ragam variabel perakaran pada percobaan 1 umur 6 bulan setelah tanam	95
7	Rekapitulasi hasil analisis ragam variabel produksi biomassa pada percobaan 1 umur 2, 4, dan 6 bulan setelah tanam	96
8	Rekapitulasi hasil analisis ragam variabel total flavonoid dan aktivitas antioksidan pada percobaan 1 umur 4 bulan setelah tanam	97
9	Rekapitulasi hasil analisis ragam variabel pertumbuhan pada percobaan 2 umur 4 bulan setelah tanam	98
10	Rekapitulasi hasil analisis ragam variabel produksi biomassa pada percobaan 2 umur 4 bulan setelah tanam	99
11	Rekapitulasi hasil analisis ragam rasio akar tajuk, rasio pertumbuhan tajuk, dan rasio pertumbuhan akar pada percobaan 2 berdasarkan akumulasi produksi biomassa umur 2, 4, dan 6 bulan setelah tanam	100
12	Rekapitulasi hasil analisis ragam variabel fisiologi pada percobaan 2 umur 4 bulan setelah tanam	101
13	Rekapitulasi hasil analisis ragam variabel kandungan kuersetin dan kaemferol serta nilai <i>Water Use Efficiency</i> untuk produksi flavonoid (WUE_f) pada percobaan 2 umur 4 bulan setelah tanam	102
14	Senyawa-senyawa metabolit yang terdeteksi dengan LC-MS	103
15	Kromatogram tanaman kontrol, interval pengairan 3 hari, dan interval pengairan 7 hari	108

@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 mengumumkannya dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.