



EKSPRESI GEN EPSPS DAN PROFIL METABOLIT DUA BIOTIPE GULMA *Eleusine indica* (L.) Gaertn. PADA PEMBERIAN HERBISIDA GLIFOSAT

SAIFUL BACHRI



**PROGRAM STUDI BIOLOGI TUMBUHAN
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2025**



@Hak cipta milik 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.



PERNYATAAN MENGENAI TESIS DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis dengan judul “Ekspresi Gen EPSPS dan Profil Metabolit Dua Biotipe Gulma *Eleusine Indica* (L.) Gaertn. pada Pemberian Herbisida Glifosat” 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 tesis ini.

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

Bogor, Agustus 2025

Saiful Bachri
G3503211009

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

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.



RINGKASAN

SAIFUL BACHRI. Ekspresi Gen EPSPS dan Profil Metabolit Dua Biotipe Gulma *Eleusine indica* (L.) Gaertn. pada Pemberian Herbisida Glifosat. Dibimbing oleh MIFTAHUDIN, ARIS TJAHOLEKSONO, dan SOEKISMAN TJITROSEMITO.

Glifosat adalah herbisida sistemik yang umum digunakan untuk mengendalikan gulma yang tumbuh di dalam agroekosistem. Salah satu gulma yang dikenal sulit untuk dikendalikan adalah *Eleusine indica*, karena pertumbuhannya yang cepat, sebarannya yang luas dan sulit dikendalikan secara manual, sehingga pengendalian dengan menggunakan herbisida glifosat menjadi salah satu alternatif pengandalian yang utama.

Glifosat secara khusus menghambat aktivitas enzim 5-enolpyruvylshikimate -3-phosphate synthase (EPSPS), enzim kunci dalam jalur shikimat untuk mensintesis asam amino aromatik fenilalanin, tirosin, dan triptofan. Cara kerja molekul glifosat adalah dengan melakukan penghambatan pada enzim 5-enolpyruvylshikimate -3-fosfat synthase (EPSPS) (EC 2.5.1.19), enzim ini merupakan enzim kedua dari jalur pembentukan asam amino aromatik (jalur *shikimate*). Enzim ini mengkatalisis pembentukan EPSP dan fosfat anorganik dari fosfoenolpiruvat (PEP) dan shikimat-3-fosfat dalam reaksi transfer karboksivinil. Glifosat kemudian menjadi penghambat EPSPS yang berikatan dengan dengan PEP, dan berinteraksi dengan enzim kompleks *shikimate*-3-fosfat.

Tujuan penelitian ini untuk membandingkan respons molekuler dan metabolit dari dua biotipe *E. indica* yang berasal dari Sumatera Utara dan Bogor terhadap pemberian glifosat. Biji *E. indica* biotipe Sumatera Utara berasal dari perkebunan kelapa sawit sedangkan biji *E. indica* biotipe Bogor berasal dari lingkungan perumahan penduduk. Percobaan awal adalah melihat respons *E. indica* terhadap pemberian glifosat secara bertingkat. Bobot kering *E. indica* umur tiga minggu setelah pemberian glifosat, dianalisis menggunakan *analysis of variance* (ANOVA). Analisis data dilanjutkan dengan menggunakan regresi non linier dengan model logistik tiga parameter untuk menentukan dosis glifosat yang diperlukan dalam mengendalikan 50% populasi (*growth reduction* 50% atau GR50).

Biotipe Bogor memiliki GR50 sebesar 873,19 g bahan aktif (ba) ha^{-1} dan Sumatera Utara 273,41 g ba ha^{-1} . GR50 yang lebih besar menandakan biotipe tersebut lebih tahan terhadap herbisida glifosat. Ketahanan terhadap glifosat perbedaan GR50 antara biotipe Sumatera Utara dan biotipe Bogor tidak berkorelasi dengan ekspresi relatif dan jumlah salinan gen EPSPS. Biotipe Sumatera Utara dan biotipe Bogor memiliki ekspresi relatif dan salinan gen EPSPS yang tidak berbeda nyata.

Sampel *E. indica* diambil pada 24 jam setelah pemberian dosis glifosat 1080 g ba ha^{-1} glifosat untuk analisis profil metabolit menggunakan GC-MS. Hasil analisis menunjukkan bahwa glifosat mempengaruhi jalur metabolisme Diterpen, Steroid, dan Ubiquinone. Pemberian glifosat menyebabkan kerusakan klorofil yang ditunjukkan dengan adanya senyawa Phytol pada profil metabolit.

Kata kunci: GC-MS, GR50, jalur metabolisme, respon terhadap glifosat.



SUMMARY

SAIFUL BACHRI. EPSPS Gene Expression and Metabolite Profiles of Two Biotypes of *Eleusine indica* (L.) Gaertn. on Glyphosate Herbicide Application. Supervised by MIFTAHUDIN, ARIS TJAHJOLEKSONO, and SOEKISMAN TJITROSEMITO.

Glyphosate is a systemic herbicide commonly used to control weeds growing within agroecosystems. One of the weeds that is known to be difficult to control is *Eleusine indica*, because of its rapid growth, wide distribution and difficult to control manually, the best control is using glyphosate herbicides as the main reliability alternatives.

Glyphosate specifically inhibits the activity of the enzyme 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPS), a key enzyme in the shikimic acid pathway to synthesize the aromatic amino acids phenylalanine, tyrosine, and tryptophan. The way the glyphosate molecule works is by inhibiting the enzyme 5-enolpyruvyl shikimate-3-phosphate synthase (EPSPS) (EC 2.5.1.19), which is the second enzyme of the aromatic amino acid formation pathway (the shikimate pathway). This enzyme catalyzes the formation of EPSP and inorganic phosphates from phosphoenolpyruvate (PEP) and shikimate-3-phosphate in carboxyl transfer reactions. Glyphosate then becomes an EPSPS inhibitor that binds to PEP, and interacts with the enzyme shikimate -3-phosphate complex.

The objective of this study was to compare the molecular and metabolite responses of two biotypes of *E. indica* originating from North Sumatra and Bogor to glyphosate. North Sumatra biotype *E. indica* seeds come from palm oil plantations while Bogor biotype *E. indica* seeds come from residential environments. The initial experiment was to look at the response of *E. indica* to the administration of glyphosate in different doses. Dry weight of *E. indica* at three weeks after glyphosate application was analyzed using analysis of variance (ANOVA). Data analysis was continued using nonlinear regression with a three-parameter log logistic model, to determine the dose of glyphosate required to control 50% of the population (*growth reduction* 50% or GR50).

Bogor Biotype has a GR50 of 873.19 g of active ingredients (ai) ha^{-1} , which is higher than North Sumatra (273.41 g ai ha^{-1}). The higher GR50 the more resistant to the herbicide glyphosate. The difference in GR50 between the North Sumatra biotype and the Bogor biotype did not correlate with the relative expression and gene copy number of the EPSPS. North Sumatra biotype had relative expression and copies of the EPSPS gene that were not significantly different with and Bogor biotype.

E. indica samples were taken at 24 hours after application of glyphosate dose at 1080 g of ai ha^{-1} for metabolite profile analysis using GC-MS. The results of the analysis showed that glyphosate affected the metabolic pathways of Diterpenes, Steroids, and Ubiquinone. The application of glyphosate causes chlorophyll damage which is indicated by the presence of Phytol compounds in the metabolite profile.

Keywords: GC-MS, GR50, metabolic pathways, response to glyphosate.



@Hak cipta milik 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2025
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.



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.



EKSPRESI GEN EPSPS DAN PROFIL METABOLIT DUA BIOTIPE GULMA *Eleusine indica* (L.) Gaertn. PADA PEMBERIAN HERBISIDA GLIFOSAT

SAIFUL BACHRI

Tesis
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Magister Sains pada
Program Studi Biologi Tumbuhan

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.



IPB University

Tim Penguji pada Ujian Tesis: Prof. Dr. Ir. Hamim. M.Si

@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.



Judul Tesis : Ekspresi Gen EPSPS dan Profil Metabolit Dua Biotipe Gulma *Eleusine indica* (L.) Gaertn. pada Pemberian Herbisida Glifosat
Nama : Saiful Bachri
NIM : G3503211009

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Ir. Miftahudin, M.Si.
NIP. 196204191989031001

Digital signature by:
Miftahudin
Date: 15 Agu 2025 14.48.10 WIB
Verify at disign.ipb.ac.id

Pembimbing 2:

Dr. Ir. Aris Tjahjoleksono, DEA.
NIP. 196111201987031005

Digital signature by:
Aris Tjahjoleksono
Date: 15 Agu 2025 14.53.26 WIB
Verify at disign.ipb.ac.id

Pembimbing 3:

Dr. Soekisman Tjitrosemito, M.Sc.

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Dr. Ir. Aris Tjahjoleksono DEA.
NIP. 196111201987031005

Digital signature by:
Aris Tjahjoleksono
Date: 15 Agu 2025 14.53.26 WIB
Verify at disign.ipb.ac.id

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam :

Dr. Berry Juliandi, S.Si., M.Si.
NIP. 197807232007011001

Digital signature by:
Berry Juliandi
Date: 15 Agu 2025 15.08.45 WIB
Verify at disign.ipb.ac.id

Tanggal Ujian: 4 Agustus 2025

Tanggal Lulus:



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.



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas karunia dan rahmat-Nya, sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Januari 2023 hingga bulan Desember 2024 dengan judul “Ekspresi Gen EPSPS dan Profil Metabolit Dua Biotipe Gulma *Eleusine indica* (L.) Gaertn. pada Pemberian Herbisida Glifosat”. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Jajaran staf pengajar Program Studi Biologi Tumbuhan (BOT), Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) yang telah berkenan menerima penulis sebagai salah satu mahasiswa pascasarjana pada program studi Biologi Tumbuhan.
2. Komisi Pembimbing yang terdiri atas Prof. Dr. Ir. Miftahudin, M.Si., Dr. Ir. Aris Tjahjoleksono DEA., Dr. Soekisman Tjitrosemito M.Sc, serta Prof. Dr. Ir. Suharsono DEA (Alm), yang telah berkenan menerima dan memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis, dalam melaksanakan dan menyelesaikan sekolah di Biologi Tumbuhan.
3. Prof. Dr. Ir. Hamim M.Si yang telah berkenan menjadi penguji luar pada sidang tesis, memberikan banyak masukan terkait pengembangan penelitian resistansi gulma.
4. Dr. Nina Ratna Djuita M.Si yang telah berkenan menjadi Pimpinan Sidang Tesis dan membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.
5. Dr. Sri Sudarmiyati Tjitrosoedirdjo, M.Sc. dan Ir. Sri Widayanti, M.Si. yang selalu memberikan dukungan penuh kepada penulis dalam menyelesaikan seluruh rangkaian proses pembelajaran hingga tuntas.
6. Pendamping hidup Henni Eka Saputri, S.E. yang dengan sabar menemani dan memberikan motivasi dalam menyelesaikan sekolah di BOT, orang tua dan keluarga tercinta.
7. *Board of Directors (BOD)* dan *management level* SEAMEO BIOTROP atas dukungan izin serta bantuan finansial kepada penulis dalam menyelesaikan proses penelitian.
8. Dr. Arief Pambudi S.Si, M.Si. yang membantu proses penelitian, rekan diskusi dan saling menguatkan dalam menyelesaikan tugas akhir.
9. Staf Lab. Gulma dan Tumbuhan Asing Invasif dan Herbarium SEAMEO BIOTROP yang telah membantu penulis dalam pelaksanaan penelitian.

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

Bogor, Agustus 2025

Saiful Bachri



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.



| | DAFTAR ISI |
|---|------------|
| DAFTAR ISI | iii |
| DAFTAR TABEL | iv |
| DAFTAR GAMBAR | iv |
| DAFTAR LAMPIRAN | v |
| I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan | 3 |
| 1.4 Manfaat | 3 |
| 1.5 Ruang Lingkup | 3 |
| II TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| 2.1 Biologi dan Ekologi <i>Eleusine indica</i> | 5 |
| 2.2 Resistansi Herbisida Glifosat | 6 |
| 2.3 Jalur EPSPS | 8 |
| 2.4 Detoksifikasi Glifosat | 10 |
| III METODE | 12 |
| 3.1 Waktu dan Tempat | 12 |
| 3.2 Alat dan Bahan | 12 |
| 3.3 Prosedur Penelitian | 12 |
| 3.3.1 Koleksi dan Seleksi Biji <i>Eleusine indica</i> | 12 |
| 3.3.2 Percobaan Dosis Respons | 13 |
| 3.3.3 Analisis Data Dosis Respons | 13 |
| 3.3.4 Isolasi RNA Total | 14 |
| 3.3.5 Sintesis cDNA total | 14 |
| 3.3.6 Analisis Ekspresi Gen EPSPS | 14 |
| 3.3.7 Isolasi DNA | 15 |
| 3.3.8 Analisis <i>Copy number</i> dari gen EPSPS | 15 |
| 3.3.9 Analisis Metabolit Menggunakan GC-MS | 16 |
| IV HASIL DAN PEMBAHASAN | 18 |
| 4.1 Analisis Dosis Respons | 18 |
| 4.2 Isolasi RNA <i>Eleusine indica</i> | 21 |
| 4.3 Ekspresi dan Jumlah Salinan gen EPSPS | 21 |
| 4.4 Profil Metabolit <i>Eleusine indica</i> | 22 |
| V SIMPULAN DAN SARAN | 28 |
| 5.1 Simpulan | 28 |
| 5.2 Saran | 28 |
| DAFTAR PUSTAKA | 29 |
| LAMPIRAN | 33 |
| RIWAYAT HIDUP | 51 |

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.



| | |
|---|----|
| 1 Lokasi asal sampel dan status resistansi terhadap herbisida | 12 |
| 2 Primer yang digunakan untuk ekspresi gen EPSPS dan jumlah salinan gen EPSPS, Primer dirancang berdasarkan urutan DNA EPSPS (access No.: AY157642.1) (Li <i>et al.</i> 2022) | 12 |
| 3 Hasil Anova dua faktor dari percobaan respons dosis <i>E. indica</i> terhadap glifosat | 18 |
| 4 Nilai GR50 dan persamaan regresi untuk dosis respons pada <i>Eleusine indica</i> populasi Bogor (BG) dan Sumatera Utara (SU) | 19 |
| 5 Nilai Ekspresi relatif gen EPSPS dan jumlah salinan relatif dengan Bogor sebagai pembanding | 21 |

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.

DAFTAR TABEL

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| 1 Kerangka penelitian | 4 |
| 2 <i>Eleusine indica</i> tumbuh liar pada area kebun (A), bunga (B), spikelet (C), glume (D), caryopsis (E) | 5 |
| 3 Herbisida berbahan aktif glifosat yang digunakan pada penelitian, glifosat termasuk grup 9 dengan cara kerja untuk menghambat pada metabolisme asam amino | 6 |
| 4 Peningkatan jenis gulma resisten terhadap glifosat secara global (Heap, 2025) | 7 |
| 5 Tahapan respon tanaman terhadap glifosat | 8 |
| 6 Glifosat menghambat EPSPS dalam mengkatalisis transfer bagian enolpiruvil dari fosfoenol piruvat (PEP) ke shikimate -3-fosfat (S3P) untuk membentuk produk EPSP (Pollegioni <i>et al.</i> 2011) | 9 |
| 7 Struktur interaksi molekul glifosat dengan EPSPS. Interaksi glifosat dengan EPSPS. A. Interaksi antara S3P dan glifosat (GLY) (garis putus-putus kuning) dalam domain katalitik EPSPS; B. Lokasi mutasi ganda TIPS dalam EPSPS yang tahan glifosat relatif terhadap kompleks S3P-glifosat. Leusin ditampilkan dalam warna merah muda, dan serine ditampilkan dalam warna abu-abu; dan C. Perubahan struktural yang diinduksi mutasi pada EPSPS. Mutasi menyebabkan pergeseran atom Ca Gly-96 ke bagian fosfonat glifosat dalam kompleks terner. Terlihat dalam enzim TIPS (merah muda) sehingga mempersempit situs pengikatan (jumlah residu untuk EPSPS dan setara dengan Gly-101, Thr-102, dan Pro-106 di dalam tanaman) (Funke <i>et al.</i> 2009). | 10 |
| 8 Jalur proses detoksifikasi molekul glifosat yang terjadi pada | 11 |
| 9 Bobot kering pada perlakuan dosis herbisida. biotipe Sumatera Utara dan untuk biotipe Bogor. Bar menunjukkan standar deviasi | 19 |



| | |
|---|----|
| 10 Kurva respons dosis dari dua populasi <i>E. indica</i> , Bogor (BG) dan Sumatera Utara (SU) terhadap dosis glifosat secara bertingkat. Kurva dihasilkan dari biomassa yang dipanen di atas permukaan tanah, tiga minggu setelah aplikasi | 20 |
| 11 Heatmap pengelompokan dengan menggunakan data konsentrasi persentase metabolit yang terdeteksi oleh GC-MS pada <i>E. indica</i> yang diberi perlakuan glifosat | 23 |
| 12 Grafik batang dari jumlah persentase senyawa yang dihasilkan dari gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) pada <i>E. indica</i> yang diberikan perlakuan herbisida glifosat sebanyak 1080 g ba ha ⁻¹ | 24 |
| 13 Kemungkinan jalur metabolit yang dipengaruhi oleh glifosat setelah diberikan aplikasi 1080 g b.a ha-1. Data dianalisis 24 jam setelah aplikasi | 25 |
| 14 Kandungan klorofil pada kedua biotipe setelah diberikan aplikasi glifosat 1080 g ba ha ⁻¹ | 26 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|----|
| 1 Data bobot kering percobaan dosis respons | 34 |
| 2 Perhitungan analisis of variance (ANOVA) dosis respons | 35 |
| 3 Perhitungan model log logistik dengan 3 parameter untuk menentukan GR50 | 36 |
| 4 Konsentrasi RNA hasil isolasi menggunakan reagent TRIZOL (Thermoscientific, USA) | 38 |
| 5 Nilai Ct dari gen EPSPS dan reference gen ALS dari hasil qPCR untuk analisis ekspresi gen | 39 |
| 6 Nilai Ct dari gen EPSPS dan reference gen ALS dari hasil qPCR untuk analisis copy number | 40 |
| 7 Senyawa metabolit hasil analisis menggunakan GC-MS | 41 |
| 8 Jalur Biosintesis Ubiquinone dan Terpenoid-quinone | 47 |
| 9 Jalur Biosintesis Terpenoid | 48 |
| 10 Jalur lintasan Biosintesis Steroid | 49 |
| 11 Hasil analisis klorofil | 50 |